



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS
DE DESEMPEÑO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 2.0 PE
SERIE MAZDA CONTROLADO A TRAVÉS DEL SISTEMA SKYACTIV-G**

AUTOR: ZURITA GUATO, MARÍA ESTEFANIA

DIRECTOR: MSC: LAVERDE ERAZO, WASHINGTON GERMAN

LATACUNGA

2018



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, ***“INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 2.0 PE SERIE MAZDA CONTROLADO A TRAVÉS DEL SISTEMA SKYACTIV-G”*** realizado por la señorita ***MARÍA ESTEFANIA ZURITA GUATO***, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software antiplagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señorita ***MARÍA ESTEFANIA ZURITA GUATO*** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 6 de agosto del 2018

MSC. Washington Germán Erazo Laverde



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **MARÍA ESTEFANIA ZURITA GUATO**, con cédula de identidad N°1715885727 declaro que este trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 2.0 PE SERIE MAZDA CONTROLADO A TRAVÉS DEL SISTEMA SKYACTIV-G”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 6 de agosto del 2018

María Estefanía Zurita Guato

C.C 1715885727



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Yo, **MARÍA ESTEFANIA ZURITA GUATO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 2.0 PE SERIE MAZDA CONTROLADO A TRAVÉS DEL SISTEMA SKYACTIV-G”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 6 de agosto del 2018

María Estefanía Zurita Guato
C.C 1715885727

DEDICATORIA

Este es el primer peldaño de una interminable escalera de metas y sueños, por lo que se lo dedico de todo corazón a seres maravillosos que marcaron mi vida por primera vez:

Mi primer amor, Dios

La primera persona que sintió mi existencia, mi madre Alicia

El primer padre que conocí, mi tío Raúl

Mi primer y único hermano, Bryan

Mi primer amigo, mi primo Diego

Mi primera amiga, mi prima Katty

Mi primera mediadora de vida, mi tía Fanny

Mi primera escuela de valores, mi tía Elsa

Mi primer promotor de estudios, mi abuelito Clemente

Mi primer ejemplo de empatía, mi abuelita Aurora

Mi compañero incondicional de estudio universitario, Marco Antonio

Mi primer sentimiento de maternidad, mi primito Matías

Mi primer ejemplo de dulzura, mi primito Diego Francisco

Mi primera promesa de amor, mi primita Amelia

Mi primer instinto de protección, Luciano

Mi primera ayuda idónea y compañero de vida, Cristian

Mi primer ejemplo de profesionalismo, mi tutor Germán Erazo

Por cada segundo que me han regalado.

Estefanía Zurita Guato

AGRADECIMIENTO

Gracias mi Dios por ponerme en el camino correcto y porque todo ha sido a tu tiempo, gracias por la vida, por cada momento, por las fuerzas y por las pruebas a lo largo de esta carrera universitaria.

Gracias a mi madre Alicia Guato, mi tío Raúl Guato y mi abuelito Clemente Guato quienes fueron el sustento económico para poder cursar mis estudios.

Gracias a mi familia materna por el apoyo emocional y por la confianza depositada en mí durante mi preparación académica.

Gracias a mi compañero incondicional, mi mascota Marco Antonio quien con su amor puro acompañó noche tras noche mi periodo de estudio, siempre a mi lado.

Gracias a mi compañero de vida Cristian por compartir cada una de las etapas del desarrollo de esta investigación y no dejar que jamás desmaye hasta culminarlo, gracias por hacerme sentir admirada y capaz.

Gracias a la Sra. Jenny por sus consejos y apoyo emocional en los momentos difíciles de mi vida. Gracias a mis amigos y amigas que siempre compartieron conmigo palabras de fuerza y aliento, mis compañeros de aula, mis compañeros de entrenamiento.

Gracias a mis profesores que siempre moldearon el mejor de los futuro profesional en mí.

Gracias a mis compañeros de trabajo de Corporación Maresa Karlita López, Carlitos Jácome, Juanito Granda, Julito Daqui, Diego Tello y Pablo Viteri por el apoyo brindado para culminar este proceso.

Gracias a Corporación Maresa que me permitió ausentarme en horas laborables para hacer posible mi crecimiento académico mediante el desarrollo de mi proyecto de investigación, adicionalmente gracias por compartir información relevante para la elaboración de la investigación.

Por cada segundo que me han regalado.

Estefanía Zurita Guato

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	I
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	II
AUTORIZACIÓN	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XIX
RESUMEN.....	XXI
ABSTRACT.....	XXII
CAPÍTULO I	1
INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 2.0 PE SERIE MAZDA CONTROLADO A TRAVÉS DEL SISTEMA SKYACTIV-G.....	1
1. Generalidades.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Descripción resumida del proyecto	5
1.4 Justificación e importancia	6
1.5 Objetivos	7
1.5.1 Objetivo general	7
1.5.2 Objetivos específicos	8

1.6	Metas del proyecto.....	9
1.7	Hipótesis	9
1.8	Variables de la investigación.....	9
1.8.1	Variable independiente	9
1.8.2	Variable dependiente	11
1.9	Metodología de la investigación.....	12
1.9.1	Método Inductivo.....	13
1.9.2	Método deductivo.....	14
1.9.3	Método analítico.....	14
1.9.4	Método experimental.....	14
1.9.5	Método comparativo.....	15
1.9.6	Método de medición.....	15
1.9.7	Método de matematización	16
	Glosario del capítulo.....	19
	Conclusiones del capítulo.....	20
	CAPÍTULO II	21
	MARCO TEÓRICO	21
2.	Ciclo termodinámico Otto.....	21
2.1	Ciclo Real.....	22
2.2	Ciclo Ideal	24
2.3	Cálculos de los tiempos del motor	27
2.3.1	Admisión	27
a)	Temperatura de admisión	27
b)	Presión de admisión.....	28
a)	Temperatura de compresión	28
b)	Presión de compresión	29
2.3.2	Expansión	30
a)	Temperatura de expansión	31
b)	Presión de expansión.....	32

2.3.3	Escape	33
a)	Temperatura de escape	33
b)	Presión de escape	34
2.4	Parámetros característicos	35
2.4.1	Torque o par motor.	35
2.4.2	Potencia	36
2.4.3	Potencia indicada.....	37
2.4.4	Trabajo indicado por ciclo	37
2.4.5	Presión media correspondiente a pérdidas mecánicas.....	38
2.4.6	Presión media efectiva.....	40
2.4.7	Rendimiento mecánico.....	40
2.4.8	Gasto específico indicado de combustible	41
2.4.9	Gasto de combustible	41
2.4.10	Rendimiento efectivo.....	42
2.5	Sistema SKYACTIV-G de Mazda.....	42
2.5.1	Objetivos del sistema	43
2.5.2	Problemas a vencer con el rediseño de Mazda	44
a)	Pérdida de potencia debido al golpeteo	44
b)	Mejora de la resistencia a golpes por combustión rápida	46
c)	Mejora de la resistencia de golpes por vapor latente de vaporización de combustible.....	47
d)	Mejora del volumen de carga (par) y la resistencia a los golpes mediante el efecto de barrido.....	48
e)	Robustez frente a pre-ignición	50
f)	Tecnología de reducción de emisiones.....	50
g)	Eficiencia de combustible.....	52
h)	Efecto del aumento de CR (incluido el efecto de reducir la pérdida de impulso)	52
i)	Reducción en la resistencia mecánica	54
2.5.3	Motor ciclo Miller	56
2.5.4	Diagrama de mando (sistema de distribución).....	57

2.5.5	Árbol de levas	58
2.5.6	Sincronización de la válvula o diagrama de mando	59
2.5.7	Variaciones electrónicas en el motor	60
a)	Sensores.....	64
b)	Actuadores.....	68
2.5.8	Sistema de alimentación motor Skyactiv-g	70
2.5.9	Estructura del sistema de alimentación.....	71
2.5.10	Inyección directa sistema Skyactiv-g	75
2.5.11	Ventajas y desventajas de la inyección directa	77
2.5.12	Diagnóstico a bordo del motor Skyactiv-g OBD II	78
a)	Autoprueba de diagnóstico KOEO (Key ON, Engine Off)	79
b)	Autoprueba de diagnóstico KOER (Key ON, Engine Running)	79
2.5.13	Condiciones normales de funcionamiento de los elementos de la PCM del motor Skyactiv-g	80
2.5.14	Ventajas del sistema Skyactiv-g en comparación con el motor de gasolina	
	2.0 LF antiguo	81
a)	Ahorro de combustible	82
b)	Mejora del par	82
c)	Mejora el rendimiento del motor	83
	Glosario del capítulo	84
	Conclusiones del capítulo	86
	CAPÍTULO III	87
	PROTOCOLO DE PRUEBAS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR	87
3.	Vehículos y motores para el análisis	87
3.1	Mazda 3 4X2 sin sistema SKYACTIV-G	87
3.1.2	Características del Motor PE 2.0 Mazda (sin sistema SKYACTIV-G)	88
3.2	Mazda 3 4X2 SKYACTIV-G	89
3.2.1	Características del Motor PE 2.0 Mazda (SKYACTIV-G).....	91
3.3	Equipos de medición.....	92

3.3.1	Dinamómetro de chasis LPS 3000 MAHA	92
3.3.2	Analizador de gases MGT5 4/5.....	94
3.3.3	Cánister externo.....	97
3.4	Protocolo de Pruebas.....	98
3.4.1	Torque y Potencia.....	98
a)	ISO 1585.....	98
b)	Accesorios que se deben colocar	98
c)	Accesorios que se deben retirar.....	101
d)	Condiciones de ensayo.....	101
3.4.2	Procedimiento y tiempos de pruebas	103
3.4.3	Consumo de Combustible.....	112
a)	Protocolo IM 240.....	112
3.4.4	Procedimiento de pruebas	113
3.4.5	Emisiones estáticas	118
a)	Norma NTE 2203:2000	118
3.4.6	Procedimiento y tiempos de pruebas estáticas.....	119
	Glosario del capítulo.....	124
	Conclusiones del capítulo.....	125
	CAPÍTULO IV.....	126
	MATEMATIZACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS	126
4.	Registro de Mediciones.....	126
4.1	Torque y potencia	126
4.2	Parámetros termodinámicos de desempeño con los motores Mazda.....	146
4.2.1	Cálculo Térmico del motor convencional Mazda 3 2.0 LF.....	146
a)	Composición del combustible.....	146
b)	Cálculo de la cantidad total de aire	147
c)	Los productos de la combustión para $\alpha=1$	147
d)	La cantidad excedente de aire fresco es:.....	147
e)	La cantidad total de los productos de combustión es igual a:	148

f)	El coeficiente teórico de variación molecular	148
	Cálculos del Motor convencional Mazda 3 2.0	148
a)	Cálculo de la presión media del ciclo	148
b)	Cálculo del rendimiento térmico	149
c)	Calor del poder extraído.....	149
d)	Cálculo del consumo másico de combustible.....	149
e)	Cálculo de consumo específico de combustible.....	150
4.2.2	Cálculos del Motor Skyactiv-g 2.0 PE	150
a)	Cálculo de la presión media del ciclo	150
b)	Cálculo del rendimiento térmico	150
c)	Calor del poder extraído.....	151
d)	Cálculo del consumo másico de combustible.....	151
e)	Cálculo de consumo específico de combustible.....	151
4.3	Consumo de Combustible	155
4.4	Emisiones Estáticas	157
4.5	Cálculos termodinámicos ideales del motor	164
4.5.1	Presión de Admisión	164
4.5.2	Temperatura de Admisión	165
4.5.3	Presión de Compresión.....	165
4.5.4	Temperatura de Compresión	165
4.5.5	Temperatura de expansión	166
4.5.6	Presión de Expansión	166
4.5.7	Presión de Escape	167
4.5.8	Temperatura de Escape.....	167
4.5.9	Representación gráfica del ciclo teórico.....	167
4.5.10	Presión de Admisión	169
4.5.11	Temperatura de Admisión	170
4.5.12	Presión de Compresión.....	170
4.5.13	Temperatura de Compresión	170
4.5.14	Temperatura de expansión	170

4.5.15 Presión de Expansión	171
4.5.16 Presión de Escape	171
4.5.17 Temperatura de Escape.....	172
4.6 Matriz de comparación de resultados	173
4.6.1 Comparación de valores de los parámetros de desempeño del motor entre valor especificado y medido.....	173
4.6.2 Comparación de valores de los parámetros de desempeño del motor convencional y Skyactiv-g.....	175
4.7 Análisis de los diagramas de mando de los motores Mazda 2.0	176
4.8 Análisis de las señales de los sensores y actuadores de los motores Mazda 2.0.....	178
4.9 Análisis del tiempo de inyección y señal de pulso se los inyectores	190
Conclusiones del capítulo	191
CAPÍTULO V.....	192
MARCO ADMINISTRATIVO	192
5.1 Recursos.....	192
5.1.2 Recursos humanos	192
5.1.3 Recursos tecnológicos.....	193
5.1.4 Recursos materiales	194
5.2 Presupuesto.....	194
CAPÍTULO VI.....	196
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	196
6.1 CONCLUSIONES	196
6.2 RECOMENDACIONES	200
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	202
NETGRAFÍA.....	205
NORMAS.....	206

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de la variable independiente (Sistema SKYACTIV-G)	9
Tabla 2 Operacionalización de la variable dependiente (parámetros característicos de desempeño del motor de combustión interna).....	11
Tabla 3 Metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevó a cabo la investigación.	16
Tabla 4 Factores de las pérdidas mecánica A-B de los motores	39
Tabla 5 Ángulos de apertura y cierre de válvulas	60
Tabla 6 Sensores del motor con Skyactiv-g.....	64
Tabla 7 Actuadores que intervienen en la inyección	69
Tabla 8 Sistema de Alimentación motor Skyactiv-g	72
Tabla 9 Ventajas y desventajas de la GDI	78
Tabla 10 Valores de funcionamiento correcto motor con Skyactiv-g.....	80
Tabla 11 Relación de compresión máxima en otras marcas.....	83
Tabla 12 Especificaciones técnicas características del vehículo	88
Tabla 13 Especificaciones y parámetros del motor Mazda 2.0 convencional	89
Tabla 14 Especificaciones Técnicas y características del vehículo Mazda 3 Skyactiv-g	90
Tabla 15. Especificaciones técnicas motor 2.0 Skyactiv-g.....	91
Tabla 16 Características del dinamómetro MAHA LPS 3000.....	94
Tabla 17 Especificaciones técnicas del Analizador de gases MGT5 4/5.....	95
Tabla 18 Rango de medición del analizador de gases MGT5 4/5.....	96
Tabla 19 Especificaciones técnicas del cánister externo Jetcleanplus	97
Tabla 20 Accesorios que se deben colocar para comprobar en el automóvil	99
Tabla 21 Condiciones de ensayo de torque y potencia bajo ISO 1585.....	101
Tabla 22 Procedimiento ensayo de torque y potencia en el CCICEV	103
Tabla 23 Verificaciones para la realización del ensayo.....	118
Tabla 24 Procedimiento para medición de la prueba de emisiones estáticas	120

Tabla 25	<i>Prueba No. 1 torque y potencia motor convencional.....</i>	127
Tabla 26	<i>Prueba No. 1 torque y potencia motor Skyactiv-g</i>	129
Tabla 27	<i>Prueba No. 2 torque y potencia motor convencional.....</i>	132
Tabla 28	<i>Prueba No. 2 torque y potencia motor Skyactiv-g</i>	135
Tabla 29	<i>Prueba No. 3 torque y potencia motor convencional.....</i>	138
Tabla 30	<i>Prueba No. 3 torque y potencia motor skyactiv-g.....</i>	140
Tabla 31	<i>Resultados de la medición de torque y potencia del vehículo MAZDA 3 sin Skyactiv-g.....</i>	143
Tabla 32	<i>Resultados de la medición de torque y potencia del vehículo MAZDA 3 Skyactiv-g</i>	144
Tabla 33	<i>Resultados del ensayo de torque y potencia en los motores Mazda 3.....</i>	144
Tabla 34	<i>Datos técnicos de motor Mazda convencional</i>	152
Tabla 35	<i>Datos técnicos de motor Mazda con skyactiv-g</i>	153
Tabla 36	<i>Resumen de parámetros característicos.....</i>	153
Tabla 37	<i>Resultados de la medición de consumo de combustible del vehículo MAZDA 3 convencional</i>	155
Tabla 38	<i>Resultados de la medición de consumo de combustible del vehículo MAZDA 3 SKYACTIV - G.....</i>	155
Tabla 39	<i>Rendimiento de consumo de los motores Mazda 3 convencional y con Skyactiv-g</i>	156
Tabla 40	<i>Valores de los gases medidos en MAZDA 3 convencional</i>	157
Tabla 41	<i>Valores de los gases medidos en MAZDA 3 Skyactiv-g.....</i>	158
Tabla 42	<i>Resumen de medición de parámetros de emisiones estáticas</i>	158
Tabla 43	<i>Datos y consideraciones tomadas en los cálculos del motor convencional ..</i>	164
Tabla 44	<i>Resumen del ciclo Otto ideal calculado.....</i>	168
Tabla 45	<i>Datos y consideraciones tomadas en el cálculo del motor con Skyactiv-g... </i>	169
Tabla 46	<i>Resumen del ciclo Miller no alimentado (Otto).....</i>	172
Tabla 47	<i>Matriz de comparación medido vs indicado.....</i>	174
Tabla 48	<i>Matriz de parámetros de desempeño del motor convencional vs Skyactiv-g</i>	176

Tabla 49	<i>Análisis de los diagramas de mando de los motores de los Mazda 3 2.0</i>	177
Tabla 50	<i>Sensores que monitorean directamente el comportamiento funcional del motor</i>	187
Tabla 51	<i>Análisis comparativo de los valores medidos en sensores</i>	187
Tabla 52	<i>Presupuesto invertido en el desarrollo de la investigación</i>	194

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	<i>Metodología para la Investigación</i>	13
Figura 2.	<i>Ciclo Otto real sobrepuesto al teórico</i>	22
Figura 3.	<i>Ciclo otto ideal en movimiento del émbolo.....</i>	25
Figura 4.	<i>Diagrama P-V ciclo otto ideal.....</i>	26
Figura 5.	<i>Área del ciclo ideal y real.....</i>	38
Figura 6.	<i>Curva de potencia con diferentes ϵ.....</i>	44
Figura 7.	<i>Temperatura del cilindro vs. Relación de compresión</i>	45
Figura 8.	<i>Pistón sistema Skyactiv-g.....</i>	46
Figura 9.	<i>Inyección por seis orificios</i>	47
Figura 10.	<i>Múltiple de escape largo 4-2-1.....</i>	48
Figura 11.	<i>Múltiple de escape skyativ-g.....</i>	49
Figura 12.	<i>Onda de barrido de escape</i>	49
Figura 13.	<i>Relación del control de la combustión con la temperatura del catalizador ..</i>	51
Figura 14.	<i>Gasto de combustible en NEDC</i>	52
Figura 15.	<i>Tiempo de cierre de la válvula de admisión.....</i>	53

Figura 16. Diferencia de pérdidas mecánicas.....	54
Figura 17. Variación de pérdidas mecánicas en la distribución	55
Figura 18. Variación de pérdidas mecánicas en la lubricación	55
Figura 19. Variación de pérdidas mecánicas en la refrigeración	56
Figura 20. Ciclo miller	57
Figura 21. Sistema de distribución skyactiv-g.....	58
Figura 22. Árbol de levas de escape y admisión	59
Figura 23. Diagrama de mando motor con sistema skyactiv-g	60
Figura 24. Ubicación de los sensores en el motor skyactiv-g	61
Figura 25. Flujo del PCM	63
Figura 26. Diagrama del sistema de combustible	71
Figura 27. Referencia del ahorro de combustible motor Skyactiv-g vs. Motor convencional de Mazda	82
Figura 28. Mejora de par motor Skyactiv-g vs motor convencional de Mazda.....	83
Figura 29. Efectividad del motor con Skyactiv-g	84
Figura 30. Mazda 3 sin convencional XBY0893	87
Figura 31. Motor Mazda 2.0 sin Skyactiv-g.....	88
Figura 32. Mazda 3 Skyactiv 3MZBM4276FM105339	90
Figura 33. Motor Mazda 2.0 Skyactiv-g	91
Figura 34. Equipos del dinamómetro MAHA LPS 300	93
Figura 35. Analizador de gases MAHA MGT5	95
Figura 36. Línea de conducción del protocolo IM240	113

Figura 37. Resultados de la prueba No. 1 de torque y potencia motor sin Skyactiv-g.....	128
Figura 38. Resultados de la prueba No. 1 de torque y potencia motor sin Skyactiv-g	129
Figura 39. Resultados de la prueba No. 1 de torque y potencia motor Skyactiv-g	131
Figura 40. Resultados de la prueba No. 2 de torque y potencia motor convencional .	134
Figura 41. Gráfica de la prueba No. 2 de torque y potencia motor Skyactiv-g.....	136
Figura 42. Resultados de la prueba No. 2 de torque y potencia motor Skyactiv-g	137
Figura 43. Mediciones prueba No. 3 de torque y potencia motor convencional.....	139
Figura 44. Mediciones de la prueba No. 3 de torque y potencia motor sin skyactiv-g	140
Figura 45. Resultados de la prueba No. 3 de torque y potencia motor Skyactiv-g	142
Figura 46. Resumen estadístico de la potencia del motor Mazda 2.0 convencional y con Skyactiv-g	145
Figura 47. Resumen estadístico de la potencia del motor Mazda 2.0 convencional y con Skyactiv-g	145
Figura 48. Influencia del potencial energético en contraste de los motores Mazda 3..	152
Figura 49. Representación gráfica del rendimiento térmico de los motores 2.0 Mazda.....	154
Figura 50. Consumo másico del combustible de los motores 2.0 Mazda	154
Figura 51. Rendimiento del combustible en los motores 2.0 Mazda.....	156
Figura 52. Comparación gráfica emisión de CO	159
Figura 53. Comparación gráfica emisión de CO2	160
Figura 54. Comparación gráfica emisión de HC	161
Figura 55. Comparación gráfica emisión de O2.....	162

Figura 56. Comparación gráfica emisión de Lambda	163
Figura 57. Diagrama de presión vs volumen ciclo ideal Otto	168
Figura 58. Contraste de los parámetros medidos versus los indicados en el motor convencional Mazda	174
Figura 59. Contraste de parámetros medidos versus indicados en el motor Skyactiv-g.....	175
Figura 60. Análisis del diagrama de mando de los motores Mazda Skyactiv-g y convencional.....	177
Figura 61. Interfaz IDS Mazda vehículo Mazda 3 convencional puerto OBD II	179
Figura 62. Curvas y valores de funcionamiento de los sensores y actuadores del motor Mazda convencional en tiempo real	180
Figura 63. Curvas y valores de funcionamiento de los sensores y actuadores del motor Mazda convencional en tiempo real	181
Figura 64. Curvas y valores de funcionamiento de los sensores y actuadores del motor Mazda convencional en tiempo real	182
Figura 65. Interfaz IDS Mazda vehículo Mazda 3 Skyactiv-g puerto OBD II.....	183
Figura 66. Pulsaciones y valores de funcionamiento de los sensores y actuadores del motor Mazda Skyactiv-g en tiempo real.....	184
Figura 67. Pulsaciones y valores de funcionamiento de los sensores y actuadores del motor Mazda Skyactiv-g en tiempo real	184
Figura 68. Pulsaciones y valores de funcionamiento de los sensores y actuadores del motor Mazda Skyactiv-g en tiempo real	185
Figura 69. Análisis del aumento de ítems que monitorean y controlan el motor	186

Figura 70. Oscilograma del pulso de inyección del inyector N°1190

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1.</i> Temperatura de compresión.....	29
<i>Ecuación 2.</i> Temperatura de compresión en función de r (ϵ)	29
<i>Ecuación 3.</i> Presión de compresión	30
<i>Ecuación 4.</i> Presión de compresión en función de volúmenes.....	30
<i>Ecuación 5.</i> Presión de compresión en función de r (ϵ).....	30
<i>Ecuación 6.</i> Temperatura de expansión en función del calor aportado	31
<i>Ecuación 7.</i> Temperatura de expansión	31
<i>Ecuación 8.</i> Calor de entrada en función de entalpía	32
<i>Ecuación 9.</i> Presión de expansión	32
<i>Ecuación 10.</i> Presión de expansión en función de volúmenes.....	33
<i>Ecuación 11.</i> Relación de volúmenes y volúmenes relativos	34
<i>Ecuación 12.</i> Relación de volúmenes relativos y r (ϵ)	34
<i>Ecuación 13.</i> Presión de escape	34
<i>Ecuación 14.</i> Torque o par motor	35
<i>Ecuación 15.</i> Potencia en función de trabajo.....	36
<i>Ecuación 16.</i> Potencia en función del par.....	36
<i>Ecuación 17.</i> Potencia indicada.....	37
<i>Ecuación 18.</i> Trabajo indicado	38
<i>Ecuación 19.</i> Presión media	39
<i>Ecuación 20.</i> Velocidad media del pistón	39

<i>Ecuación 21.</i> Presión media efectiva.....	40
<i>Ecuación 22.</i> Rendimiento mecánico.....	40
<i>Ecuación 23.</i> Gasto específico indicado de combustible.....	41
<i>Ecuación 24.</i> Gasto de combustible	41
<i>Ecuación 25.</i> Rendimiento efectivo	42

RESUMEN

La concepción de Mazda nació en su estudio de proyección donde predice que para el año 2020 el motor de combustión interna seguirá presentando un alto porcentaje de motores de automóviles. En virtud de esto, la ingeniería de Mazda da prioridad a la eficiencia del motor de combustión interna, ya que representa el mayor impacto ambiental en los vehículos que son cuidadosos con el medio ambiente, en el mercado actual. En opinión de Mazda, el motor ideal que se aspira es uno que funciona con diesel o gasolina. Por lo que se han adoptado las ventajas de un motor diésel para una gasolina y viceversa, mejorando las resistencias de cada uno. Es por eso que Mazda desarrolló un motor de gasolina Skyactiv-g 2.0 y un motor diésel Skyactiv-d 2.2. Hoy en día, los vehículos de rango medio-alto con motor de gasolina 2.0 Skyactiv-g se están comercializando en América del Sur y aún más precisamente en Ecuador, de donde nació el tema de investigación. Indagando sobre los cambios que se desarrollaron directamente en el motor convencional de Mazda, se sometieron a pruebas de par, potencia, consumo y emisiones dos vehículos Mazda 3, uno con tecnología Skyactiv-g y el otro convencional con el mismo valor de cilindraje nominal. La comparación de ambas versiones de Mazda 3 tiene valores bastante distantes en términos de rendimiento mecánico del motor y la reingeniería del motor convencional es algo compleja.

PALABRAS CLAVE:

- **TECNOLOGÍA SKYACTIV**
- **INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA**
- **MOTOR MAZDA 3- TORQUE**

ABSTRACT

The conception of Mazda was born in its projection study where it predicts that by the year 2020 the internal combustion engine will continue to present a high percentage of automobile engines. By virtue of this, the engineering of Mazda gives priority to the efficiency of the internal combustion engine, since it represents the greatest environmental impact in the vehicles that are careful with the environment, in the current market. In Mazda's opinion, the ideal engine that is aspired is one that runs on diesel or gasoline. So they have adopted the advantages of a diesel engine for a gasoline and vice versa, improving the resistances of each. That's why Mazda developed a Skyactiv-g 2.0 gasoline engine and a Skyactiv-d 2.2 diesel engine. Today, medium-high-range vehicles with 2.0 Skyactiv-g gasoline engine are being marketed in South America and even more precisely in Ecuador, where the research topic was born. Inquiring about the changes that were developed directly in the conventional Mazda engine, two Mazda 3 vehicles were subjected to torque, power, consumption and emission tests, one with Skyactiv-g technology and the other conventional with the same nominal cylinder value. The comparison of both versions of Mazda 3 has quite distant values in terms of mechanical performance of the engine and the reengineering of the conventional engine is somewhat complex.

KEYWORDS:

- **SKYACTIV TECHNOLOGY**
- **GASOLINE DIRECT INJECTION**
- **MAZDA 3 ENGINE-TORQUE**

CAPÍTULO I

INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 2.0 PE SERIE MAZDA CONTROLADO A TRAVÉS DEL SISTEMA SKYACTIV-G

En este capítulo se detalla los antecedentes y se delimita el problema de la investigación partiendo de esto como base para establecer la justificación e importancia de la misma, la cual permite plantear los objetivos a desarrollarse a través de la investigación, para lograr con éxito la comparación y conclusión de los parámetros característicos de desempeño en el MCI controlado por el sistema SKYACTIV de Mazda y sin dicho sistema, ampliando las opciones de elección de las nuevas tecnologías amigables con el ambiente y el usuario.

1. Generalidades

1.1 Antecedentes

Más del 95% del mundo utiliza motores de combustión interna para los medios de transporte terrestre; el combustible fósil se ha convertido en la principal fuente de energía para su funcionamiento y aun en los próximos años a pesar del esfuerzo por proporcionar otras alternativas a la gasolina y el diésel se seguirán utilizando en un 90%, por lo que el sector automotriz trabaja en mejoras sobre esta condición principal de funcionamiento para el motor. (Mazda Colombia, 2012).

Las principales fuentes de contaminación por parte de un vehículo son las emisiones de escape, las emisiones por evaporación, las pérdidas de reabastecimiento y las pérdidas del cárter. De las cuatro, las emisiones de gases de escape representan alrededor del 60% de la contaminación vehicular, teniendo entre sus componentes al monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NOx) e hidrocarburos no quemados (HC). Las emisiones del cárter representan en cambio aproximadamente el 20% y la evaporación del tanque y de la alimentación representa la parte restante del porcentaje de contaminación. (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SMARN], 2009, p.25-27)

En la mayoría de países los combustibles derivados del petróleo representan un gasto significativo dentro del presupuesto familiar, siendo este un bienpreciado en sitios que no poseen reservas para el abastecimiento local; siendo así un ingreso económico o la fuente principal de la economía de naciones exportadoras de la materia prima fósil. (Estrada & Hernández, 2009, p.22)

Con la visión de hacer más eficiente al motor de combustión interna reduciendo las emisiones de gases contaminantes y el consumo así como aumentando la potencia, el sector automotriz ha llegado a la experimentación y creación de nuevos sistemas, cambios geométricos en los componentes del tren alternativo. (Fonseca, 2012, p. 58)

Para (Goto, Yamakawa, Isobe, & Nishida, 2011), Mazda con un alto manejo del desarrollo tecnológico y electrónico en cuanto al comportamiento del motor de

combustión interna ha puesto al alcance de los usuarios el sistema SKYACTIV-G, el cual presenta re ingenios en el sistema de alimentación, la geometría de los pistones y la disposición del colector de gases de escape (p. 42)

La relación de compresión de un ciclo ideal Otto es de 14,7:1, Mazda pone a disposición una relación casi ideal aumentando de 11,2 de un sistema convencional a 14,0 aprovechando de mejor manera la energía del combustible, gracias a la implementación de sus innovaciones tecnológicas. (Mazda Electronic Service Information, 2011, Noticias)

1.2 Planteamiento del problema

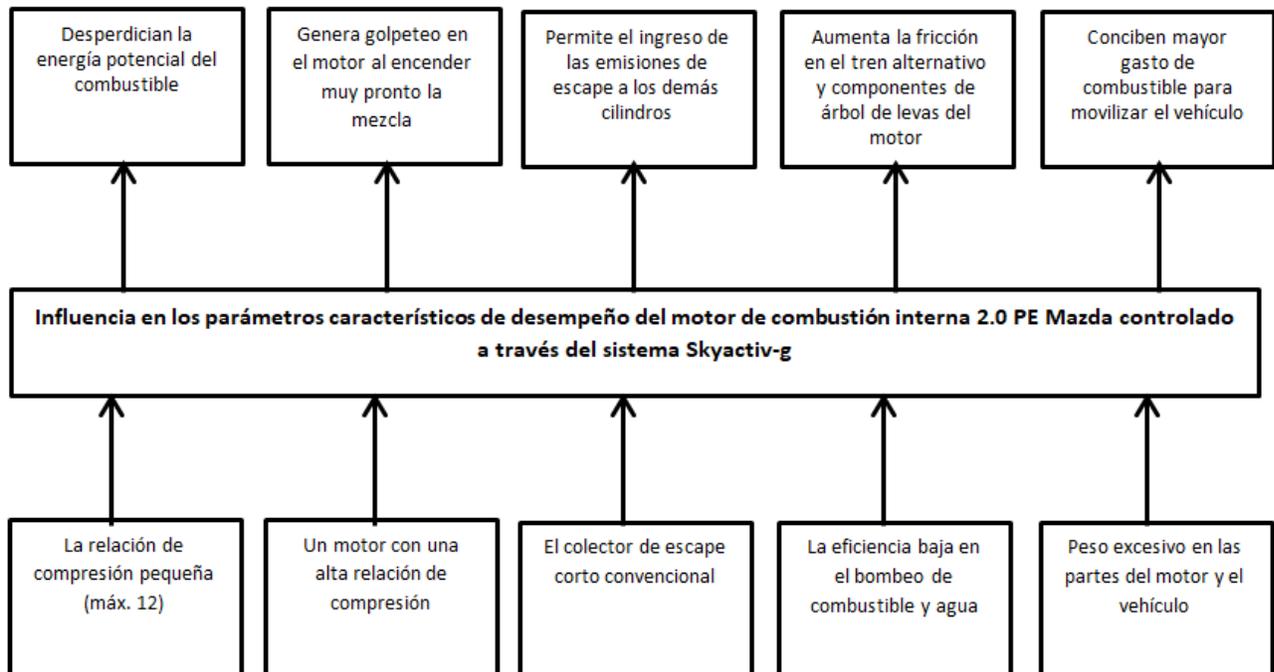


Figura 1: Árbol de planteamiento de los problemas

Una relación de compresión pequeña convencional ($\epsilon \approx 12$) representa una pérdida elevada de la energía en el motor, ya que en cuanto más se comprime la mezcla aire combustible mayor energía se puede conseguir en la combustión. Adicional a ello la geometría estándar del tren alternativo del motor no aporta a disminuir el espacio en la cámara de combustión. (Escobar & Vaca, 2010, p. 3)

En el estudio de (Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil, 2008), para evitar el auto-encendido de la mezcla, la relación de compresión máxima en un MEP operando con gasolina debe estar en el entorno de 12, ya que por el alta temperatura y la presión a la que se encuentra expuesta la mezcla en el cilindro hace que exista detonaciones antes de que el pistón llegue al punto superior y sea encendido por la chispa de la bujía. (p. 16)

Los gases de escape residuales debido a los avances y/o retrasos de los tiempos de dinamismo de las válvulas del motor y a la configuración del colector de escape, ingresan a los cilindros causando aumento en la temperatura del cabezote acrecentando la posibilidad de auto-detonación. (Mazda Colombia, 2012)

La pérdida de energía en el trascurso a los transmisores de movimiento del vehículo se da por la baja eficiencia del bombeo del combustible de alimentación y el agua de refrigeración, lo que hace que aumente la fricción entre los componentes móviles del motor y estos presenten pesadez en su transmisión de movimientos, al igual que el conjunto de válvulas. (Mazda Colombia, 2012)

Entre mayor sea el peso a vencer (inercia) del motor y en sí del vehículo mayor esfuerzo tendrá que generar para avanzar, por lo que relaciona al consumo de combustible haciéndolo prácticamente proporcional debido al trabajo que este necesita generar. (MAZDA Skyactiv – Español, 2016)

1.3 Descripción resumida del proyecto

La investigación se llevó a cabo inicialmente con recopilación de información relevante de fuentes confiables de bases digitales, repositorios académicos que posean publicaciones de artículos científicos y libros.

Se analizó las características de operación de un motor de cilindraje 2.0 marca Mazda modelo Mazda 3 con y sin sistema SKYACTIV a través de protocolos de pruebas establecidos así para determinar torque y potencia ISO 1585, consumo de combustible IM-240 y emisiones en condiciones normales NTE INEN 2203:200.

Se investigó los parámetros de funcionamiento y elementos en aplicación para el desarrollo del sistema SKYACTIV-G, a través de una inspección técnica-funcional con un escáner IDS y manuales técnicos del fabricante. (MESI, 2011)

Se desarrolló pruebas de desempeño mecánico, torque y potencia bajo la norma ISO 1585, consumo con el protocolo IM-240 y pruebas de emisiones de escape estáticas

con la guía de la norma NTE INEN 2203:2000, esto en el motor convencional y en el motor con tecnología SKYACTIV-G.

Con los datos técnicos, y medidas tomadas se matematizó los parámetros de desempeño mecánico térmico del motor de combustión interna con la tecnología SKYACTIV-G, para luego analizar los diferentes resultados dados y comparar los elementos de aplicación y los parámetros de desempeño mecánico térmico de ambos motores en contraste.

1.4 Justificación e importancia

El aumento del consumo de productos derivados petrolíferos y los altos estándares de normas mundiales de emisiones desde la aparición de los motores de combustión interna como fuerza motriz de los medios de transporte terrestre, han llevado a los ingenieros diseñadores de motores al desarrollo del motor hacia la tecnología notable, cuyos objetivos han apuntado a la reducción del consumo de combustible al ingreso, contaminantes y emisiones con ruido a la salida.

El motor de inyección directa es el nuevo desarrollo en la tecnología de las fábricas automotrices, donde la gasolina se añade directamente en el cilindro y se enciende con chispa.

La investigación se sustenta en las variaciones tecnológicas que brinda el sistema SKYACTIV-G de Mazda en sus nuevos motores, a través del cual modifica su protocolo de alimentación de combustible, trabajando con una nueva inyección directa, además de un cambio de geometría de los pistones y permitiendo en conjunto que la relación de compresión aumente a 14,0 (Goto, et al., 2011, p. 42)

Los datos medidos y calculados a través de la norma ISO 1585 que priorizan estabilidad en los ítems de medición y factores de corrección, además de un proceso marcado de la toma de datos, al igual que el protocolo IM-240 que traza un proceso para el desarrollo de pruebas, permitió marcar una comparación técnica de los parámetros de desempeño mecánico térmico de un motor convencional y un motor con la nueva tecnología de Mazda, haciendo énfasis de las implementaciones del motor que nos entregan porcentajes con mejoras significantes a razón de dar apertura a investigaciones futuras dentro y/o fuera del país, con el objetivo de indagar desarrollos de otras tecnologías. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación ([SMARN], 2009, p. 8)

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Investigar los parámetros característicos de desempeño del motor de combustión interna 2.0 PE serie Mazda controlado a través del sistema SKYACTIV-G.

1.5.2 Objetivos específicos

- Indagar información relevante de fuentes confiables de bases digitales, repositorios académicos que posean publicaciones de artículos científicos y libros.
- Analizar las características de operación de un motor de cilindraje 2.0 marca Mazda a través de protocolos de pruebas establecidos para determinar los parámetros de desempeño.
- Investigar los parámetros de funcionamiento, mecánicos, electrónicos y de operación del sistema SKYACTIV-G.
- Desarrollar en un laboratorio especializado pruebas de desempeño mecánico (torque, potencia, consumo, dinámica de emisiones y estática de emisiones) en el motor con sistema convencional, bajo protocolos pre establecidos como ISO 1585, IM-240, NTE 2203:2000.
- Desarrollar pruebas de desempeño mecánico (torque, potencia, consumo, dinámica de emisiones y estática de emisiones) en el motor con sistema SKYACTIV-G, bajo protocolos pre-establecidos como ISO 1585, IM-240, NTE 2203:2000.
- Matematizar a partir de los datos técnicos y medidas, los parámetros de desempeño mecánico-térmico del motor con sistema SKYACTIV-G.
- Analizar los resultados obtenidos y comparar el motor con sistema convencional y el motor con sistema SKYACTIV-G.

1.6 Metas del proyecto

- Localizar y señalar las variaciones relevantes en los elementos de operación mecánico y electrónico entre un motor de combustión interna convencional Mazda y un motor con sistema SKYACTIV-G.
- Ubicar y señalar los elementos coincidentes que permanecen entre el motor convencional Mazda y el motor de combustión con tecnología SKYACTIV-G
- Determinar las mejoras en porcentajes de los parámetros de desempeño mecánico-térmico del motor de combustión interna Mazda con sistema SKYACTIV-G.

1.7 Hipótesis

¿El sistema SKYACTIV-G permite mejorar los parámetros característicos de desempeño de los motores MAZDA serie PE 2.0?

1.8 Variables de la investigación

1.8.1 Variable independiente

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente (Sistema SKYACTIV-G)

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
		Velocidad del Motor	<i>rpm</i>	Medición	Protocolo guía de pruebas
		Temperatura del Refrigerante	°C	Medición	Protocolo guía de pruebas

CONTINÚA 

(ECT)

**Desarrollo
tecnológico
o de Mazda
en su
modificado
motor de
gasolina
con
inyección
directa de
alta
eficiencia y
una
relación de
compresión
de 14,0 a
1**

Variaciones
Operacionales
del motor

Temperatura del Aire de ingreso al motor (IAT)	°C	Medición	Protocolo guía de pruebas
Vibraciones (KS)	$M\Omega$	Medición	Protocolo guía de pruebas
Presión Absoluta (MAP)	v, kPa	Medición	Protocolo guía de pruebas
posición del acelerador (TP)	v	Medición	Protocolo guía de pruebas
Posición del pedal de aceleración (APP)	v	Medición	Protocolo guía de pruebas
relación aire/combustible (A/F)	mA	Medición	Protocolo guía de pruebas
Posición del Cigüeñal (CKP)	v	Medición	Protocolo guía de pruebas
Posición del Árbol de levas (CMP)	v	Medición	Protocolo guía de pruebas
Resistencia del Inyector	Ω	Medición	Protocolo guía de pruebas
Conmutador de Embrague	v	Medición	Protocolo guía de pruebas
Tiempo de Inyección	ms	Medición	Protocolo guía de pruebas

1.8.2 Variable dependiente

Tabla 2

Operacionalización de la variable dependiente (parámetros característicos de desempeño del motor de combustión interna)

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
Valores para evaluar y valorar el funcionamiento de un motor ciclo de combustión interna Mazda.	Parámetros Mecánicos	Potencia	kW	Medición	Norma ISO 1585 Protocolo guía de pruebas
		Torque	Nm	Medición	Norma ISO 1585 Protocolo guía de pruebas
		Consumo de Combustible	$\frac{Km}{Gal}$	Medición	Protocolo IM-240 Protocolo guía de pruebas
	Emisiones	CO ₂	%v	Medición	Norma NTE 2203:2000 Protocolo guía de pruebas
		CO	%v	Medición	Norma NTE 2203:2000 Protocolo guía de pruebas
		O ₂	%v	Medición	Norma NTE 2203:2000

CONTINÚA 

				Protocolo guía de pruebas
	HC	<i>ppm</i>	Medición	Norma NTE 2203:2000
				Protocolo guía de pruebas
	Lambda	%	Cálculo por Instrumento	Norma NTE 2203:2000
				Protocolo guía de pruebas
Parámetros Mecánico-	Rendimiento Mecánico	%	Cálculo	Protocolo guía de pruebas
	Térmico			
	Rendimiento Térmico	%	Cálculo	Protocolo guía de pruebas
	Rendimiento Volumétrico	%	Cálculo	Protocolo guía de pruebas

1.9 Metodología de la investigación

Bajo la descripción del Método científico y sus etapas, se ha identificado las metodologías necesarias con las que se trabajó en esta investigación para llegar a la conclusión final de la investigación.

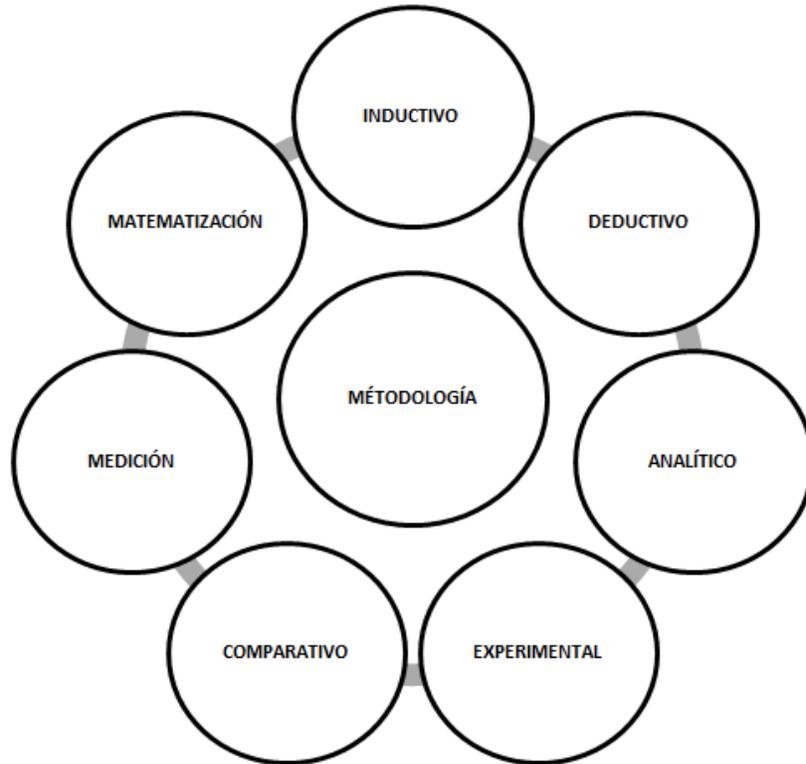


Figura 1. Metodología para la Investigación

1.9.1 Método Inductivo

La investigación partió desde una hipótesis con el objetivo de analizar el motor de combustión Mazda con y sin tecnología SKYACTIV-G llegando a comparar los diferentes parámetros característicos de desempeño por medio de la ejecución de pruebas en los dos motores de combustión interna, después de hacer una clasificación y análisis de los datos obtenidos se puede concluir si la investigación respalda la mejora de los parámetros característicos de desempeño del motor. (Ruiz, 2017, p.17)

1.9.2 Método deductivo

Según desarrollos tecnológicos previos realizados por la fábrica el motor de combustión interna Mazda consta con mejoras en los parámetros de desempeño a diferencia de su motor común, esta investigación fue deductiva porque se analizó según resultados obtenidos de las pruebas a las que se sometieron los motores, para deducir si el motor con SKYACTIV-G es la mejor opción de movilidad. (Ruiz, 2017, p.20)

1.9.3 Método analítico

Partiendo del concepto de que el sistema SKYACTIV-G mejora los parámetros de desempeño del motor la investigación fue analítica debido a que se analizó cada uno de los componentes y parámetros que comprenden la idea general de la misma, desde el estudio de conceptos como trabajo, potencia, consumo y emisiones; el uso de datos obtenidos de las pruebas en un laboratorio que cumplan normas INEN de ensayos vehiculares, hasta el uso de fórmulas matemáticas con los datos obtenidos de las pruebas de los dos motores para concluir si el nuevo motor posee mejores parámetros de desempeño. (Ruiz, 2017, p.14)

1.9.4 Método experimental

También fue experimental debido a las pruebas y mediciones que se realizó en los dos motores recreando fenómenos generando experimentos en el laboratorio, desde la

medición de valores de los componentes de control del motor con Scanner IDS Mazda y Osciloscopio, hasta las pruebas de los parámetros de desempeño del motor bajo los diferentes protocolos y en bancos como el LPS 3000 MAHA y MTG5 4/5. (Ruiz, 2017, p.33)

1.9.5 Método comparativo

Comparativo debido a que las pruebas de los parámetros de desempeño del motor de combustión interna se llevaron a cabo con dos motores del mismo cilindraje y marca pero con componentes y principios diferentes o adicionales de funcionamiento, por lo cual se obtuvo diferentes valores de torque, potencia, consumo y cantidades de emisiones de escape. Además también se desarrolló comparaciones de subsistemas y tecnologías a partir de mediciones realizadas a los componentes de estos. (Ruiz, 2017, p.33)

1.9.6 Método de medición

Fue de medición en las dimensiones de las variables de las pruebas que se llevaron a cabo en los laboratorios, al momento de tomar los valores de los parámetros de funcionamiento, se lo realizó con equipos y herramientas necesarias existentes en los diferentes laboratorios, al momento que se midió el torque y la potencia se lo hizo bajo la ISO 1585 con el banco LPS 3000 MAHA, la medida de consumo se tomó a partir del protocolo IM-240 en un laboratorio certificado con el banco LPS 3000 MAHA y un

cánister externo, y las emisiones de escape con la norma NTE 2203:2000 y el equipo MGT5 4/5. (De la Ossa, 2011, p.16)

1.9.7 Método de matematización

Se utilizó la matematización debido a que los resultados obtenidos de las pruebas de los parámetros de desempeño deben ser respaldados por cálculos realizados con el uso de fórmulas matemáticas, todos los resultados obtenidos y confirmados por medio de los cálculos son representados gráficamente para mayor comprensión de los cambios obtenidos en: Potencia, Torque, Consumo y Emisiones. (Ruiz, 2017, p.21)

En la tabla 3 se puede visualizar en resumen la metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevará a cabo el proyecto de investigación.

Tabla 3

Metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevó a cabo la investigación.

Táctica / Método	Descripción	Instrumento / Equipo	Laboratorio
Método Inductivo	La hipótesis tuvo como objetivo analizar el motor de combustión Mazda con y sin tecnología SKYACTIV-G para comparar los diferentes parámetros de desempeño por medio	<ul style="list-style-type: none"> Dinamómetro de Chasis LPS 3000 marca MAHA Analizador de emisiones 	<ul style="list-style-type: none"> Laboratorios del CICCEV Laboratorios Maresa Service

CONTINÚA 

	de pruebas, para concluir si mejoran de los parámetros característicos de desempeño del motor.	s MGT5 MAHA	<ul style="list-style-type: none"> • Manual de mantenimiento Mazda
Método deductivo	Esta investigación fue deductiva para analizar según resultados obtenidos de las pruebas a las que fueron sometidos los motores, para deducir si el motor con SKYACTIV-G es la mejor opción de movilidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamómetro de Chasis LPS 3000 marca MAHA • Analizador de emisiones MGT5 MAHA • Manual de mantenimiento Mazda 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorios del CICCEV • Laboratorios Maresa Service
Método analítico	Fue analítica por que estudió cada uno de los componentes y parámetros que comprenden la idea general de la misma, desde el estudio de conceptos como Trabajo, Potencia, Consumo y Emisiones; el uso de datos obtenidos de las pruebas, hasta el uso de fórmulas matemáticas para concluir si el nuevo motor posee mejores parámetros de	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamómetro de Chasis LPS 3000 marca MAHA • Analizador de emisiones MGT5 MAHA • Manual de mantenimiento Mazda 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorios del CICCEV • Laboratorios Maresa Service

	desempeño.		
Método experimental	Fue experimental debido a las pruebas y mediciones que se le realizó en los dos motores, se desarrolló ensayos de laboratorio desde la medición de valores de los componentes de control del motor, hasta las pruebas de los parámetros de desempeño del motor.	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamómetro de Chasis LPS 3000 marca MAHA • Analizador de emisiones MGT5 MAHA • Manual de mantenimiento Mazda • Osciloscopio • Escaner IDS Mazda 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorios del CICCEV • Laboratorios Maresa Service
Método comparativo	Comparativo debido a que las pruebas de los parámetros de desempeño del motor de combustión interna se llevaron a cabo con dos motores del mismo cilindraje y marca pero con algunos elementos diferentes o adicionales de funcionamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamómetro de Chasis LPS 3000 marca MAHA • Analizador de emisiones MGT5 MAHA • Manual de mantenimiento Mazda • Osciloscopio • Escaner IDS Mazda 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorios del Taller Maresa 10 de Agosto • Laboratorios del CICCEV
Método de medición	Fue de medición en las dimensiones de las variables de las pruebas que se llevaron a cabo en los laboratorios, al	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamómetro de Chasis LPS 3000 marca MAHA • Analizad 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorios del Taller Maresa 10 de Agosto • Laboratorios

CONTINÚA 

	momento de medir los parámetros de funcionamiento se lo hizo con los equipos y herramientas necesarias existentes en los diferentes laboratorios.	or de emisione s MGT5 MAHA	del CICCEV
Método de matematización	Los resultados obtenidos fueron certificados por los cálculos realizados con el uso de fórmulas matemáticas y poder representarse gráficamente para mayor comprensión de los cambios obtenidos.	• Laptop	• Laboratorios del Taller Maresa 10 de Agosto • Laboratorios del CICCEV

Glosario del capítulo

- **IM-240:** Extracto del ciclo FTP-75 de medición determinado por la Agencia de protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA).
- **IDS:** Equipo de diagnóstico OBD II (escáner) específico de la marca Mazda.
- **MCI:** Motor de combustión interna.

Conclusiones del capítulo

- Delimitado el problema de la investigación se instauró los parámetros a ser investigados tales como objetivos, metas y desarrollo del proyecto.
- Para definir el objetivo general y los objetivos específicos del proyecto se utilizó metodologías como el inductivo, deductivo, analítico, experimental, comparativo, de medición y de matematización con enfoque en los procesos para cumplir los objetivos y metas establecidas.
- Se justifica la utilidad de la investigación ya que cada punto a realizarse a lo largo de la misma acerca a cumplir la meta trazada.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se ejecuta la investigación bibliográfica de libros, repositorios digitales, artículos científicos, revistas de carácter investigativo, páginas web de fuentes confiables, normas, manuales, entre otros, para sustentar la diferencia que marca el sistema SKYACTIV-G en los parámetros de desempeño de los motores a gasolina de los vehículos Mazda.

2. Ciclo termodinámico Otto

Según Cengel y Boles la clasificación en su texto de Termodinámica el ciclo Otto se encuentra dentro de los ciclos de potencia correspondiente a los gases y es el ciclo termodinámico ideal para máquinas encendidas por chispa. (2011, p.496)

Una clasificación diferente bajo (Urrecheaga & Malaver, 2013) de los ciclos termodinámicos es llamarlos cerrados o abiertos dependiendo de que la sustancia de trabajo regrese a su estado inicial al final del ciclo y recircule o la sustancia de trabajo se remueve al final de cada ciclo sin recircular. Y los motores de automóviles llamados máquinas de combustión interna, funcionan en ciclo abierto ya que los gases de combustión se escapan y son reemplazados por la nueva mezcla de aire combustible al final del ciclo (p.138)

La mayoría de las máquinas térmicas de encendido por chispa el mecanismo del embolo forma cuatro tiempos completos (dos ciclos mecánicos) dentro del cilindro (cámara), y el cigüeñal completa dos revoluciones por cada ciclo termodinámico. (Urrecheaga et al., 2003, p.139)

2.1 Ciclo Real

El ciclo Otto real parametriza las condiciones verídicas de funcionamiento de un motor de combustión interna y su trabajo se identifica con el diagrama de las presiones medidas en el cilindro versus el volumen en el mismo, las cuales corresponden a las diferentes posiciones que adopta del pistón (PMS o PMI) en cada tiempo del ciclo. (Giacosa, 1988, p. 68)

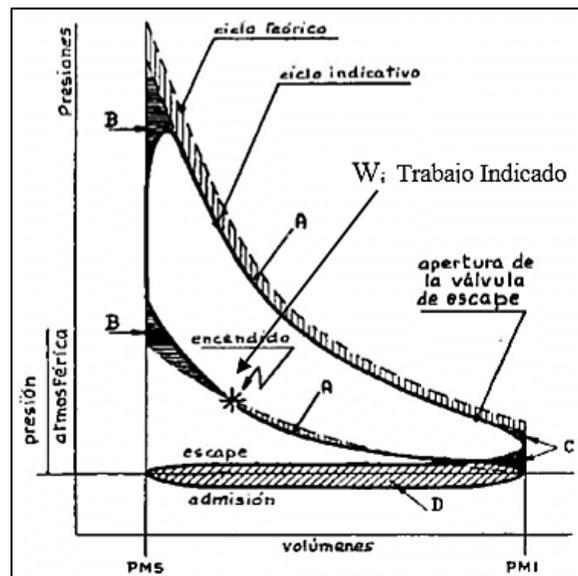


Figura 2. Ciclo Otto real sobrepuesto al teórico
Fuente: (Giacosa, 1988, p. 77)

El ciclo real del motor es determinado experimentalmente mediante algunos aparatos indicadores (sensores) capaces de plasmar el diagrama presión en función del volumen en el cilindro. Este diagrama refleja la curva real del ciclo y por lo tanto toma en cuenta pérdidas (Giacosa, 1988, p. 68)

Las diferencias de forma del ciclo indicado con respecto al teórico consisten en un diferente recorrido seguido por las curvas de expansión y de compresión. Las causas de estas diferencias se dan recurrentemente por:

- a)** Las pérdidas de calor del ciclo teórico son nulas pero en el ciclo real son considerables.
- b)** El ciclo Otto teórico supone que la combustión es instantánea (volumen constante), en el ciclo real se requiere un cierto espacio de tiempo.
- c)** La apertura de la válvula de escape teórica presume que la extracción de calor también es súbito coincidiendo con el pistón en el P.M.I, en el ciclo real la válvula debe abrirse anticipadamente para dar tiempo a los gases de escape a salir del antes que el pistón este en el P.M.I
- d)** Tanto el calor específico a presión constante c_p , como el a volumen constante c_v , de un gas real aumentan con la temperatura, por lo que los valores de la presión y de la temperatura máxima resultan siempre inferiores a los obtenibles en el caso de que los calores específicos fueran constantes.
- e)** Durante la carrera de admisión la presión en el cilindro es inferior a la que se tiene durante la carrera de escape. Salvo casos particulares, donde se crea un área

negativa correspondiente a trabajo perdido y se denomina como trabajo perdido por rozamiento. (Giacosa, 1988, p. 92)

El estudio de los ciclos de los motores de combustión interna es complicado debido a la presencia de fenómenos como los antes mencionados que no permiten establecer condiciones termodinámicas en equilibrio. Para hacer manejable el análisis de un ciclo se utiliza algunas simplificaciones (volumen constante e isentropía), en cada fase del ciclo termodinámico. Cuando al ciclo real se le eliminan todos los problemas complejos internos de estudio existe un ciclo con procesos reversibles y cuando esto sucede el ciclo de Otto se transforma en un ciclo ideal (Giacosa, 1988, p. 72)

2.2 Ciclo Ideal

Por a la complejidad de estudio que representa este ciclo de potencia, los analistas se vieron en la necesidad de trabajar con modelos termodinámicos idealizados, por lo que se han de establecido las siguientes suposiciones de aire estándar:

- a)** El aire es la sustancia de trabajo, circula de modo continuo en un circuito cerrado y se parametriza como un gas ideal.
- b)** Los procesos del ciclo son reversibles.
- c)** El tiempo de combustión se representa con un proceso de adición térmica de fuente externa.

d) Así también el proceso de escape se sustituye por un proceso de eliminación térmica (Giacosa, 1988, p. 74)

Por lo que los valores de los calores específicos (c_p y c_v) son constantes ya que corresponden a los del aire en las condiciones normales, es decir de temperatura 15 °C (290 °K) y 101,3 kPa (1 atmósfera) de presión (Giacosa, 1988, p. 74) Los procesos (tiempos del ciclo) termodinámicos que tienen lugar durante el ciclo son:

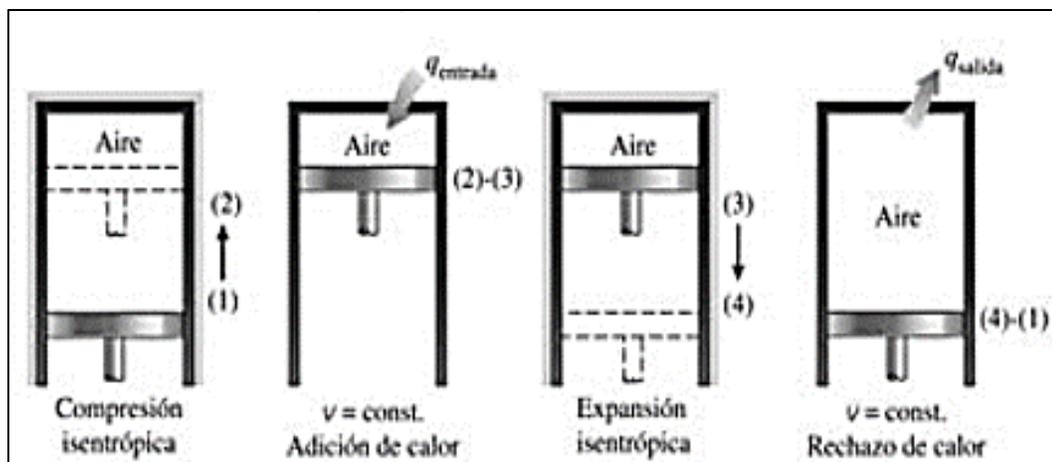


Figura 3. Ciclo otto ideal en movimiento del émbolo
Fuente: (Cengel et al, 2011)

- a) Compresión:** 1→2. Condiciones adiabáticas o isentrópicas en el cilindro (sin transferencia de calor con el exterior): el del fluido de trabajo se comprime por la presión del émbolo, corresponde al trabajo W_1 realizado por el pistón.
- b) Explosión:** 2→3. Se considera en el cilindro que a la mezcla en volumen constante la fuente introduce de manera instantánea el calor al sistema Q_1 .

c) **Expansión:** 3→4. Condiciones adiabáticas o isentrópicas, se produce una expansión realizada por el fluido de trabajo, correspondiente al trabajo W_2 .

d) **Escape:** 4→1. A volumen constante se extrae de manera instantánea el calor Q_2
(Urrecheaga et al, 2003, p. 14)

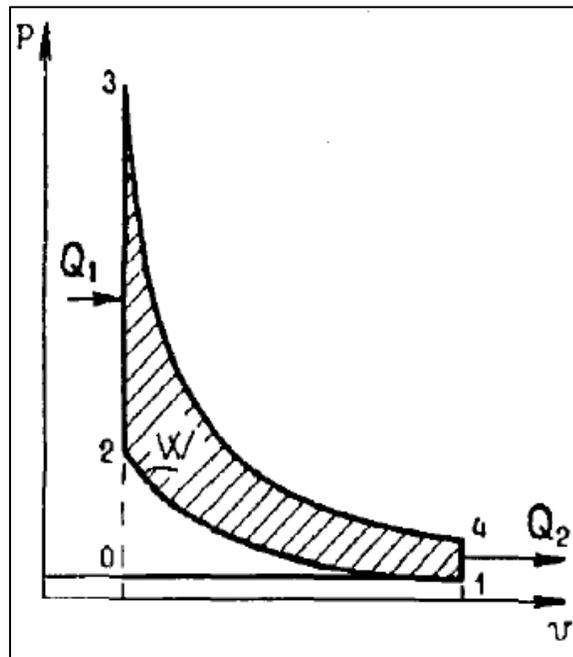


Figura 4. Diagrama P-V ciclo otto ideal
Fuente: (Giacosa, 1988)

En realidad en los motores de 4 tiempos la extracción del calor se produce durante la carrera de escape 1→0 y el fluido es introducido en el motor en la carrera de admisión 0→1 (Urrecheaga et al, 2003, p. 14)

2.3 Cálculos de los tiempos del motor

2.3.1 Admisión

El pistón en su descenso al P.M.I. genera aspiración del fluido al cilindro. En el momento adecuado la válvula de admisión se apertura para dar paso a la entrada mezcla gaseosa de combustible. La válvula empieza a abrirse antes del comienzo de la carrera del émbolo y se cierra al completar la carrera (Giacosa, 1988, p. 68)

a) Temperatura de admisión

La temperatura T_1 con la que el aire ingresa al cilindro y como se indicó está considerada como estándar en el ciclo ideal pero se puede determinar con aparatos térmicos de medición o se puede encontrar en tablas dependiendo de la ubicación.

No es un valor que comúnmente calculable sino más bien un dato que se considera o que se toma, y en nuestro proyecto de investigación es importante conocer: (Giacosa, 1988, p. 68)

$$T_1 = 290 \text{ }^\circ K$$

(Aire estándar ciclo ideal según Cengel)

Donde T_1 , es la temperatura de admisión en $^\circ K$

b) Presión de admisión

La presión de admisión P_1 es la presión con la que ingresa el aire (fluido de trabajo) al cilindro y de igual manera como se indica en el punto 2.2.1.1 se puede medir o encontrar en tablas (Giacosa, 1988, p. 68)

$$P_1 = 100 \text{ kPa}$$

(Aire estándar ciclo ideal según Cengel)

Donde P_1 , es la presión de admisión en kPa

2.3.2 Compresión

Con la válvula de admisión cerrada en la carrera de ascenso del pistón la mezcla es comprimida en la cámara de combustión hasta un valor máximo que se logra en el P.M.S. En este instante el volumen de la carga (V_1) se ha reducido a una fracción del volumen (V_2) que tenía al comienzo del recorrido; esta fracción es el inverso de la relación de compresión (Giacosa, 1988, p. 68)

a) Temperatura de compresión

Temperatura que posee el fluido de trabajo cuando la mezcla es comprimida dentro del cilindro y por lo general es mayor a la T_1 . En el cálculo de la temperatura de compresión T_2 , por condiciones termodinámicas (isontrópicas) el valor se encuentra

relacionado con las variables de volumen de admisión y compresión o a su vez con la relación de compresión, como se indica en las siguientes ecuaciones: (Giacosa, 1988, p. 68)

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}$$

Ecuación 1

$$\frac{T_1}{T_2} = r^{\gamma-1}$$

Ecuación 2

Donde γ , es la relación de calores específicos $\frac{c_p}{c_v}$

T_1 , es la temperatura de admisión

T_2 , es la temperatura de compresión

V_1 , es el volumen de admisión

V_2 , es el volumen de compresión

r , es la relación de compresión

b) Presión de compresión

La presión P_2 es la existente dentro del cilindro y a la que está sometido el fluido antes de adicionarse calor. Al presumir como un gas ideal a la mezcla se trabaja con la ecuación de los gases ideales para poder determinar el valor de esta presión, por lo que se tiene: (Cengel et al, 2011, p. 502)

$$\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_1 V_1}{T_1}$$

Ecuación 3

$$P_2 = P_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \left(\frac{V_1}{V_2} \right)$$

Ecuación 4

$$P_2 = P_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^r$$

Ecuación 5

Donde P_2 , es la presión de compresión

P_1 , es la presión de admisión

V_1 , es el volumen de admisión

V_2 , es el volumen de compresión

T_1 , es la temperatura de admisión

T_2 , es la temperatura de compresión

Todos los valores son conocidos y P_2 puede calcularse.

2.3.2 Expansión

Un poco antes del fin de la carrera del émbolo al P.M.S en su tiempo de compresión se produce el encendido (adición de calor) de la mezcla por medio de una chispa eléctrica. El valor de la presión después del encendido aproximadamente aumenta de dos a cuatro veces en relación al inicial, por lo que el pistón es empujado hacia el P.M.I. Antes que el recorrido de trabajo del émbolo se haya completado comienza a

aperturarse la válvula de escape y los gases combustionados, comienzan a salir del cilindro (Giacosa, 1988, p. 68)

a) Temperatura de expansión

En el proceso de expansión se suministra calor al sistema, el mismo que es correspondiente al poder calorífico del combustible q_e y el de la gasolina es de 48983,157 kJ/kg. Cuando menos masa se necesita para liberar la energía requerida de un combustible se dice que tiene mayor poder calorífico (Qumibita & Guallichico, 2017, p. 86)

La temperatura de expansión T_3 se encuentra ligada a este suministro y al calor específico a volumen constante c_v (Cengel et al, 2011, p. 502)

$$q_e = c_v(T_3 - T_2)$$

Ecuación 6

$$T_3 = \frac{q_e}{c_v} + T_2$$

Ecuación 7

Donde q_e , el calor introducido

c_v , calor específico a volumen constante

T_3 , temperatura de expansión

T_2 , es la temperatura de compresión

Así como también este puede relacionarse con entalpía del fluido, en el caso de poseer o necesitar valores termodinámicos para la resolución de la investigación.

$$q_e = (u_3 - u_2)$$

Ecuación 8

Donde q_e , el calor introducido

u_3 , entalpía en la expansión

u_2 , entalpía en la compresión

Sin embargo se debe tomar en cuenta que a partir de la temperatura de compresión se puede conocer otras propiedades del fluido.

b) Presión de expansión

La presión de expansión es el valor que simboliza la acción con la que el émbolo sale despedido hacia el P.M.I y se la puede determinar a partir de la ecuación de los gases gracias a las suposiciones termodinámicas tomadas para el ciclo. (Cengel & Boles, 2012)

$$\frac{P_3 V_3}{T_3} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Ecuación 9

$$P_3 = P_2 \left(\frac{T_3}{T_2} \right) \left(\frac{V_2}{V_3} \right)$$

Ecuación 10

Donde: P_2 , es la presión de compresión

V_2 , es el volumen de compresión

T_2 , es la temperatura de compresión

P_3 , es la presión de expansión

V_3 , es el volumen de expansión

T_3 , es la temperatura de expansión

2.3.3 Escape

Durante su movimiento alternativo en su trayectoria de regreso hacia el P.M.S. el émbolo expulsa los gases combustionados a través de la válvula de escape. Al final de la carrera, o poco después, se vuelve a cerrar la válvula de escape; mientras tanto se ha abierto nuevamente la de admisión y comienza un nuevo ciclo (Giacosa, 1988, p. 68)

a) Temperatura de escape

Esta temperatura en el análisis termodinámico tiene correspondencia con la relación de compresión y a su vez con los volúmenes relativos específicos de explosión y escape. Por lo que conociendo el valor de T_3 se puede encontrar en tablas v_{r3} y con ello v_{r4} , así mismo T_4 (Cengel et al, 2011, p.502)

$$\frac{v_{r4}}{v_{r3}} = \frac{V_4}{V_3} = r$$

Ecuación 11

$$v_{r4} = r v_{r3}$$

Ecuación 12

$T_4 @ v_{r4} \rightarrow$ *Tabla Anexo A* (Cengel et al, 2011, p. 934)

Donde: v_{r4} , es el volumen específico relativo de escape

V_4 , es el volumen de escape

v_{r3} , es el volumen específico relativo de explosión

V_3 , es el volumen de explosión

r , es la relación de compresión

b) Presión de escape

La presión P_4 es la presión de escape o la presión al final de la expansión del ciclo y se encuentra ligada a la relación de compresión y al coeficiente politrópico n_2 y que para motores gasolina se encuentra entre 1,23 y 1,30 (Mena, 2011, p.17)

$$P_4 = \frac{P_3}{r^{n_2}}$$

Ecuación 13

Donde: P_4 , es la presión de escape

P_3 , es la presión de expansión

r , es la relación de compresión

n_2 , coeficiente politrópico

2.4 Parámetros característicos

2.4.1 Torque o par motor.

En la técnica se entiende por torque o par a la acción rotatoria de una fuerza sobre un cuerpo fijado (mecanismo biela manivela) de modo que puede girar. En los motores de combustión aparece siempre un momento de rotación, debido a que la presión de gas origina fuerza sobre el pistón (Kindler & Kynast, 1986, p. 147)

El par motor aumenta con la cilindrada y con la presión media del combustible (Kindler et al, 1986, p. 147) El torque es determinado como un dato indicado por lo fabricantes ya que tiene relación con la fuerza de la manivela del cigüeñal y sobre la biela.

$$T = F_b \times r$$

Ecuación 14

La fuerza F_b que produce el torque es variable, en un motor de 4 tiempos es máxima en la combustión y posterior expansión en el cilindro, siendo negativo el torque en las demás fases. (Castillo, Rojas, & Martínez, 2017, p. 2)

2.4.2 Potencia

La potencia N se define como el trabajo realizado por el motor en una unidad de tiempo determinado t (Castillo et al, 2017, p. 2)

$$N = \frac{W}{t}$$

Ecuación 15

Donde W , el trabajo en julios (J)

N , la potencia en watos (W)

t , es el tiempo en segundos (s)

$$N = M \times \omega$$

Ecuación 16

Donde M , es el par motor (N.m)

N , la potencia en watos (W)

ω , es la frecuencia angular en (rad/s)

La potencia obtenida a partir del freno dinamométrico del banco de pruebas se conoce como potencia efectiva del motor N_e a un determinado régimen y carga del motor, siendo la potencia útil en el cigüeñal (Gonzales, 2015, p. 44)

2.4.3 Potencia indicada

La potencia indicada de un motor está determinada por la presión media del ciclo por la cilindrada del motor (Erazo, 2016, p.51)

$$N_i = \frac{P_i \times V_h \times n}{30 \tau}$$

Ecuación 17

Donde P_i , presión media indicada del ciclo

V_h , volumen del cilindro unitario

n , frecuencia de rotación del cigüeñal

$\tau = 4$, Número de tiempos del motor (Jovaj, 1982, p. 175)

2.4.4 Trabajo indicado por ciclo

El diagrama ideal así como el indicado encierran entre las líneas de compresión, combustión, explosión e inicio de escape un área entregado por el motor. El trabajo generado en el diagrama real se llama trabajo indicado W_i , al revisar los diagramas real

versus ideal se puede observar que el área es mayor en el ciclo ideal (Gonzales, 2015, p. 33)

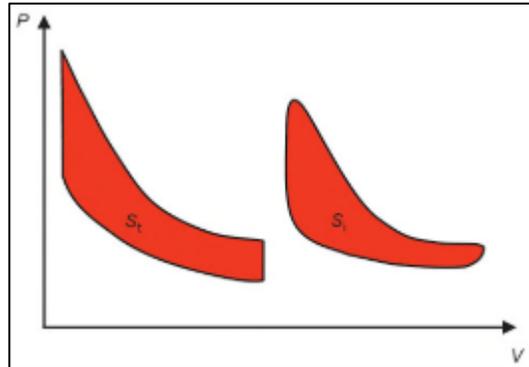


Figura 5. Área del ciclo ideal y real
Fuente: (Gonzales, 2015)

$$W_i = P_i \times V_h$$

Ecuación 18

Dónde P_i , la presión media indicada del ciclo

V_h , volumen del cilindro unitario

2.4.5 Presión media correspondiente a pérdidas mecánicas

Se refieren a parámetros que relacionan la energía mecánica existente en el pistón con la final en el cigüeñal a la salida del motor. Estas pérdidas tienen tres orígenes marcados (Jovaj, 1982, p. 176)

- Por fricción.

- Accionamiento de auxiliares.
- Por de bombeo.

$$P_m = A + B v_{mp}$$

Ecuación 19

De donde: v_{mp} , velocidad media del pistón

$A - B$, factores delimitados en la tabla 1

Tabla 4

Factores de las pérdidas mecánica A-B de los motores

Motor encendido por chispa	A	B
Si $D > 1$	0,05	0,0155
Si $D < 1$	0,04	0,0135

Fuente: (Jovaj, 1982, p. 212)

$$v_{mp} = 2 \times s \times rpm$$

Ecuación 20

De donde: s , la carrera del pistón

rpm , régimen de giro (Gonzales, 2015, p. 53)

2.4.6 Presión media efectiva

Si se conoce la potencia media efectiva N_e se puede determinar la presión media efectiva pme del ciclo e con la expresión (Muñoz & Payri, 1994, p.19)

$$pme = P_i - P_m$$

Ecuación 21

De donde: s , la carrera del pistón

rpm , régimen de giro (Gonzales, 2015, p. 53)

2.4.7 Rendimiento mecánico

El rendimiento mecánico η_m es la relación de la potencia efectiva del motor y la indicada (Jovaj, 1982, p. 178)

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$$

Ecuación 22

Dónde: N_i , potencia indicada del motor

N_e , potencia efectiva del motor

2.4.8 Gasto específico indicado de combustible

Indica la eficiencia que tiene un motor para quemar carburante y convertirlo en energía mecánica; se expresa como la cantidad de combustible que hay que consumir, para obtener una determinada cantidad de potencia, durante una hora (Jovaj, 1982, p. 179)

$$g_i = \frac{3600 \times \eta_v \times \rho_0}{P_i \times \alpha \times l_0}$$

Ecuación 23

Dónde: η_v , coeficiente de llenado

ρ_0 , densidad de la carga de Admisión (kg/m³)

P_i , presión media indicada del ciclo real

α , coeficiente de exceso de aire

l_0 , cantidad teórica de aire necesaria para la combustión de 1 kg.

2.4.9 Gasto de combustible

Es la relación que se tiene entre el gasto específico indicado por el ciclo en relación al rendimiento mecánico del motor (Jovaj, 1982, p. 174-175)

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m}$$

Ecuación 24

Dónde: g_i , gasto específico indicado de combustible

η_m , rendimiento mecánico

2.4.10 Rendimiento efectivo

La porción del calor que se transforma en trabajo efectivo del motor para el movimiento de su ciclo se aprecia por el rendimiento efectivo, que relaciona el poder calorífico del combustible y el consumo de este (Jovaj, 1982, p. 177-178)

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \times g_e}$$

Ecuación 25

Donde g_e , gasto de combustible

H_u , poder calorífico del combustible

2.5 Sistema SKYACTIV-G de Mazda

Skyactiv-g es un término genérico para las tecnologías de la nueva generación de Mazda que se desarrollan para lograr tanto el placer de conducir como el desempeño ambiental y de seguridad. De esta tecnología se enfatiza el desarrollo del nuevo motor de gasolina de inyección directa de alta eficiencia de Mazda que alcanza una relación de compresión de 14.0 a 1. (Goto et al, 2011, p.40)

2.5.1 Objetivos del sistema

El primer paso para Mazda con Skyactiv-G para semejarse a un motor de combustión interna ideal era corregir sus desventajas con relación a un motor diesel, es decir, la compresión relación (r), pérdida por bombeo, y para fortalecer su ventaja con respecto a la resistencia mecánica. (Goto, et al., 2011, p. 41)

A luz de esto Mazda estableció como objetivo general del Skyactiv-G, una contribución del 15% a la mejora en el consumo de combustible del modo NEDC (Nuevo ciclo de conducción europeo) y un aumento del 15% en la potencia del motor de combustión interna en todo el régimen en comparación con el motor de inyección de combustible de puerto. Para lograr esto los objetivos técnicos que Mazda estableció para la tecnología Skyactiv-g son los siguientes: (Goto, et al., 2011, p. 41)

- Aumentar la Relación de compresión (r) a 14.0
- Prevenir el aumento en la duración de la combustión incluso con un CR alto de 14
- Reducir la pérdida de bombeo en un 20%
- Reducir la pérdida mecánica en un 30%
- Aumentar la eficiencia en un 10% (Goto, et al., 2011, p. 42)

2.5.2 Problemas a vencer con el rediseño de Mazda

Desarrollar un motor con alta compresión crea dos problemas principales. Una menor resistencia al golpeteo conduce a un retardo en el tiempo de encendido a alta carga y esto a su vez reduce el par del motor. Así también existe una sensibilidad superior a la pre-ignición debido al ambiente caliente en el cilindro y al número de octano de combustible. Por lo tanto resistir a las combustiones anormales (golpeteo, pre-encendido) fue el desafío a superar. (Goto, et al., 2011, p. 42)

a) Pérdida de potencia debido al golpeteo

Muestra la pérdida de potencia vista en un motor de inyección directa en la fase de desarrollo inicial cuando el CR se incrementó de 11.2 a 14 con tecnología convencional. (Goto, et al., 2011, p. 41)

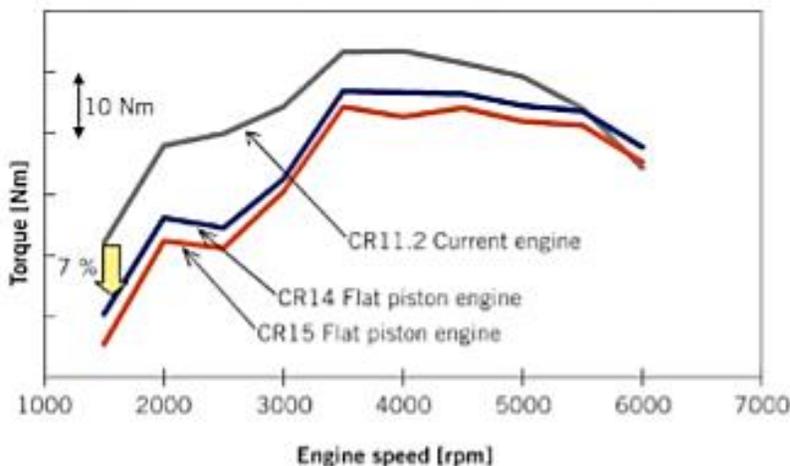


Figura 6. Curva de potencia con diferentes ϵ
Fuente: (Goto, et al., 2011)

Dejando el tiempo de ignición significativamente a 1500 rpm, da como resultado una pérdida de par del 7%. Los análisis revelaron que las reacciones exotérmicas débiles tuvieron lugar antes de la ignición debido al CR incrementado, y esto recortó la disminución del torque. (Goto, et al., 2011, p. 41)

Mazda tomo como hipótesis un alto par incluso con un motor de alta compresión, si se resuelven los problemas de golpeteo. El deterioro de la resistencia a golpes se relaciona con la temperatura y la elevación de presión del gas en los cilindros. Cuando la CR crece de 11.2 a 14 a 1500 rpm, la resistencia al golpe se puede asegurar si la temperatura inicial del cilindro cae en 35 °K. La clave para enfriar eficientemente la temperatura inicial del gas en el cilindro es reducir la temperatura del gas de trabajo por el calor latente de la vaporización del combustible como la cantidad de gas residual caliente. (Goto, et al., 2011, p. 41)

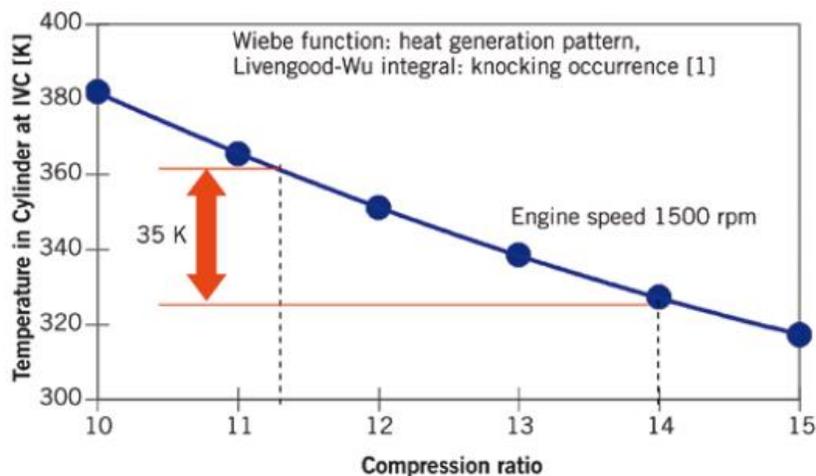


Figura 7. Temperatura del cilindro vs. Relación de compresión
Fuente: (Goto, et al., 2011)

b) Mejora de la resistencia a golpes por combustión rápida

Al inicio, se usaba en los motores convencionales una forma de pistón plano convencional. Para aumentar el CR, la parte superior del pistón se elevó en forma trapezoidal. Con este pistón, se logró una eficiencia térmica incluso menor. Se cree que el frente de la llama inicial golpeó el pistón, lo que incrementó la pérdida de enfriamiento e inhibió la propagación correcta de la llama. Para resolver esto, se implementó en la parte superior de la cabeza del pistón una cavidad hemisférica para que la llama inicial crezca adecuadamente. (Goto, et al., 2011, p. 42)

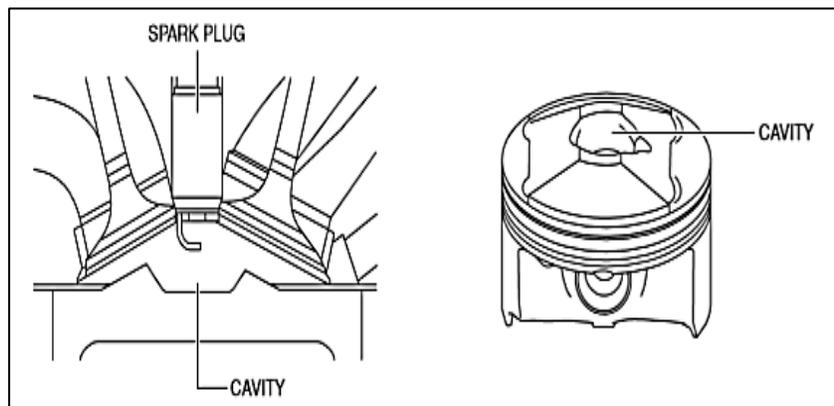


Figura 8. Pistón sistema Skyactiv-g
Fuente: (Goto, et al., 2011)

Con esto la duración de la combustión (relación de combustión másica del 10-90%) se redujo en 1 ° CA a 1500 rpm y se mejoró la resistencia a los golpes, por lo que el torque aumenta de aproximadamente 2%. (Goto, et al., 2011, p. 42)

Para adicionar mejora a la duración de la combustión, el ángulo de ingreso al puerto de admisión y el del filete de la válvula se optimizaron para acrecentar el flujo en el cilindro. Los diámetros de los cilindros se hicieron más pequeños que los del antiguos Mazda 2.0-l de 87,5 a 83.5 mm, para acortar la duración de la combustión. Esto redujo la duración de la combustión en 2 ° CA y mejora el par en un 4%. (Goto, et al., 2011, p. 42)

c) Mejora de la resistencia de golpes por vapor latente de vaporización de combustible

Para enfriar la temperatura del gas por el calor latente de la vaporización de combustible, la presión de este a 1500 rpm se elevó a 10 MPa y se empleó un inyector de múltiples orificios modificado con penetración optimizada y ángulo de pulverización. Esto disminuye la temperatura en el cilindro en 6°K, mejora la resistencia al golpe y aumenta el torque en un 3,5%. (Goto, et al., 2011, p. 42)

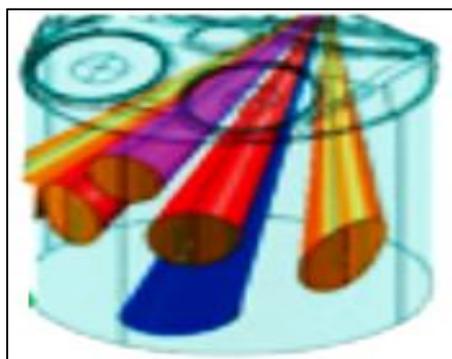


Figura 9. Inyección por seis orificios
Fuente: (Goto, et al., 2011)

d) Mejora del volumen de carga (par) y la resistencia a los golpes mediante el efecto de barrido

Mazda se centró en mejorar la eficiencia de carga al absorber el gas residual caliente por resistencia al golpe y aumento del torque en un motor con compresión elevada. (Goto, et al., 2011, p. 43)

Cuando llega una alta presión de purga al siguiente cilindro durante la superposición de la válvula de admisión y escape, aumenta la cantidad de gas residual caliente, lo que deteriora la resistencia al golpe. Para evitar tal condición más allá de 2000 rpm, se aplicó un colector de escape de 4-2-1 largo. (Goto, et al., 2011, p. 43)

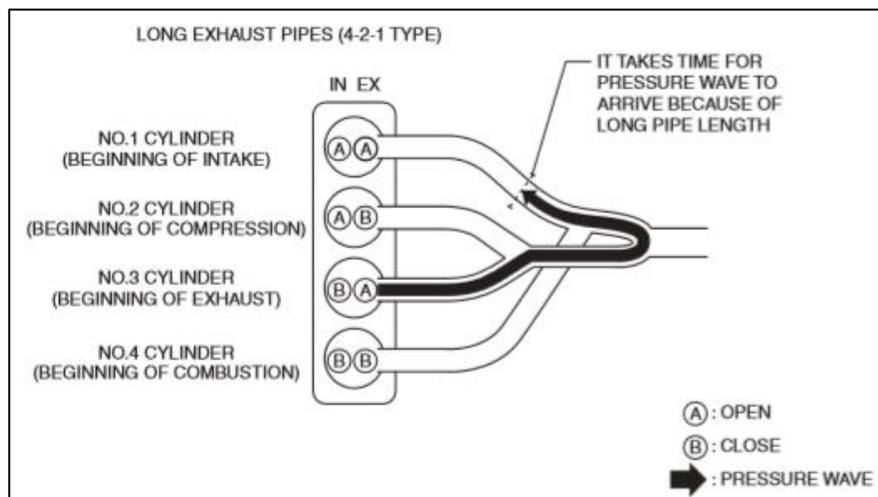


Figura 10. Múltiple de escape largo 4-2-1
Fuente: (Goto, et al., 2011)

Para un barrido adecuado, se busca una onda de presión de alto vacío durante el período de superposición de la válvula. Esto aumentó la resistencia a los golpes y la eficiencia de carga en un 9%. En comparación con los motores antiguos 2.0 PFI, el par

se ha mejorado en más del 15% en todo el rango de velocidad del motor. (Goto, et al., 2011, p. 43)

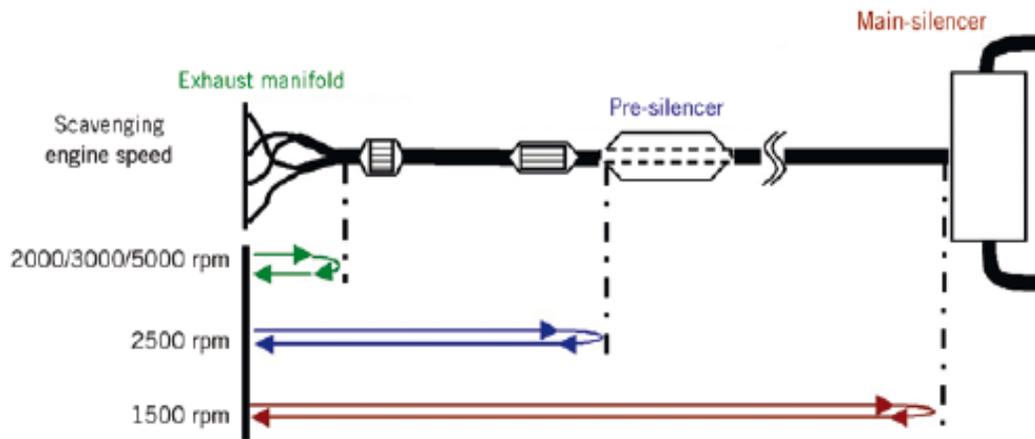


Figura 11. Múltiple de escape Skyativ-g
Fuente: (Goto, et al.)

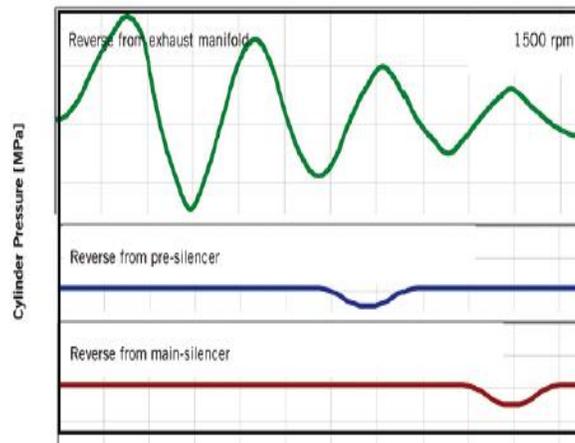


Figura 12. Onda de barrido de escape
Fuente: (Goto, et al., 2011)

e) Robustez frente a pre-ignición

(Goto, et al., 2011) señaló que especialmente en condiciones ambientales desventajosas, es esencial que los motores de alta compresión no generen una pre-ignición. Por lo que un sistema avanzado de control se desarrolló con énfasis en: (p. 43)

- Factores influyentes: temperatura del aire de admisión, humedad, temperatura del refrigerante, aumento de RC debido a la acumulación de carbono, índice de octano, etc.
- Efectos de los factores de control: tiempo de inyección, tiempo de cierre de la válvula de admisión (VCI), etc. (Goto, et al., 2011, p. 43)

Mazda estableció una lógica de control; si, por accidente, las circunstancias fuerzan una pre-ignición menor, el sistema robusto de Skyactiv-G detecta un cambio de corriente de iones, y enriquece la relación aire / combustible y controla el tiempo de la válvula de admisión para evitar encendido. (Goto, et al., 2011, p. 43)

f) Tecnología de reducción de emisiones

La temperatura del convertidor catalítico del sistema de escape largo 4-2-1 no se incrementa tan rápidamente como el corto 4-1 convencional con catalizador de acoplamiento cerrado, lo que provoca un retraso en el tiempo de inicio de la purificación de las emisiones. Además, el hidrocarburo sin procesar aumenta con CR. Por lo tanto

esto llevó a Mazda a centrarse tanto en la reducción de HC en el arranque como en el calentamiento rápido de catalizador después del arranque. (Goto, et al., 2011, p. 43)

En cuanto al arranque, Mazda elevó la presión del combustible de 0,43 MPa a 6 MPa con esto el HC se redujo aproximadamente a la mitad. Para el calentamiento rápido del catalizador después del arranque, se conoce que elevar la temperatura del gas de escape con el retraso del encendido es efectivo; sin embargo, un retraso excesivo provoca una combustión inestable. En el caso del Skyactiv-G, la inyección directa genera una mezcla ideal para la combustión alrededor de la bujía y genera una combustión estratificada magra. (Goto, et al., 2011, p. 43)

La combustión estratificada pobre y la estabilidad de la combustión aumentada al aumentar la CR mejoraron la compensación entre la temperatura del gas elevada por el retardo de encendido y la estabilidad de la combustión. (Goto, et al., 2011, p. 44)

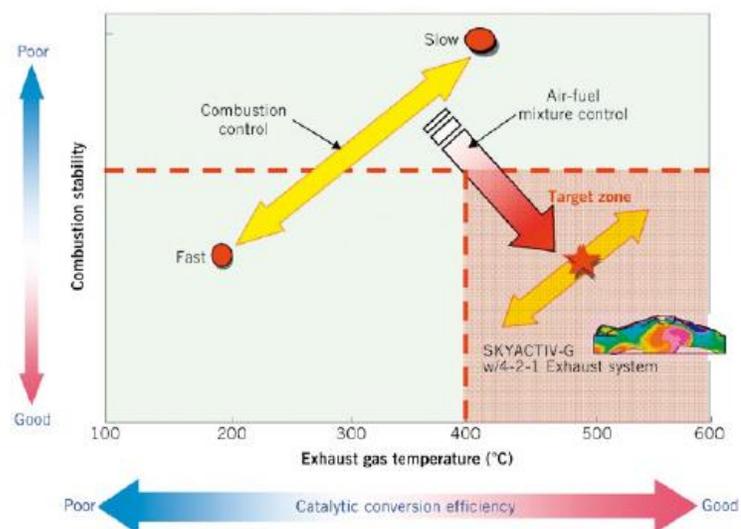


Figura 13. Relación del control de la combustión con la temperatura del catalizador
Fuente: (Goto, et al., 2011)

g) Eficiencia de combustible

Según el análisis que realizaron (Goto, et al., 2011), en la figura se puede observar la contribución de Skyactiv-G a la mejora en el consumo de combustible del modo NEDC y de qué manera se descompone. El Skyactiv-G ha montado una mejora del 15% en un automóvil de tamaño mediano en comparación con el antiguo motor Mazda 2.0-I-PFI.

(p. 44)

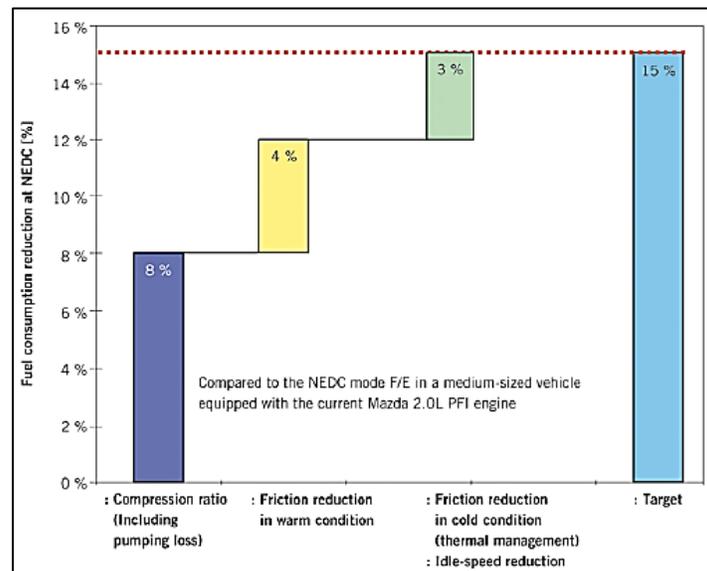


Figura 14. Gasto de combustible en NEDC
Fuente: (Goto, et al., 2011)

h) Efecto del aumento de CR (incluido el efecto de reducir la pérdida de impulso)

En la etapa inicial el consumo de combustible no mostró mejora adicional cuando se aplicaron CR superiores a 13, esto fue por el pistón plano que impedía la propagación de la llama inicial. Para lo que Mazda combinó la cavidad del pistón

hemisférica y el flujo de caída intensificado. Con la cavidad se redujo la pérdida de enfriamiento. Esta pérdida se redujo aún más disminuyendo el diámetro interior del cilindro, lo que mejoró la eficiencia térmica. (Goto, et al., 2011, p. 44)

También se realizó una reducción en la pérdida de bombeo con el aumento de la CR y esto se logra al retrasar el tiempo de IVC y agregar gas de EGR externo. Con este método, la reducción en la pérdida por bombeo es limitada debido a una disminución en la estabilidad de la combustión (Goto, et al., 2011, p. 44)

Con Skyactiv-G la CR alta asegura una CR efectiva para la combustión incluso con IVC significativamente retardado, y también, se utiliza gas EGR interno caliente (recirculación). Esto proporciona una combustión estable como la de los motores convencionales a pesar del IVC a 110 ° CA y el gas EGR interno, con esto la pérdida por bombeo se ha reducido aproximadamente en un 20%. (Goto, et al., 2011, p. 45)

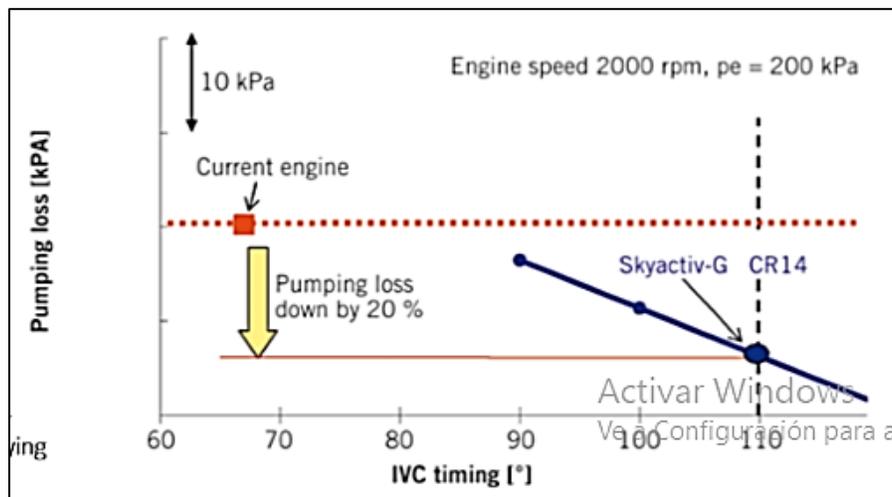


Figura 15. Tiempo de cierre de la válvula de admisión
Fuente: (Goto, et al., 2011)

i) Reducción en la resistencia mecánica

En total, la resistencia mecánica del Skyactiv-G se ha reducido en un 30% en comparación con el motor Mazda 2.0-I-PFI antiguo, los sistemas presentan reducción de acuerdo a ciertos cambios que se presentan a continuación: (Goto, et al., 2011, p. 45)

- Cigüeñales, pistones y bielas: reducción del diámetro de la biela de 52 a 47 mm lo que garantiza la rigidez requerida y la mejora de la robustez lo que logró una reducción del 38% en la tensión del anillo del pistón. (Goto, et al., 2011, p. 45)

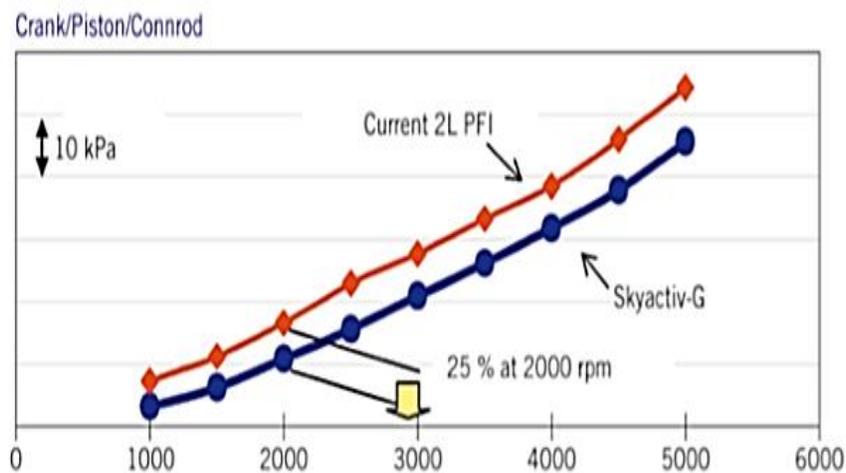


Figura 16. diferencia de pérdidas mecánicas

Fuente: (Goto, et al., 2011)

- Sistemas de cadenas y trenes de válvulas: la adopción de seguidores de dedos de rodillo y reducción de carga de elevación de válvulas optimizando la curva de elevación de leva. En la cadena se redujo la fricción entre esta y la guía, al emplear una guía recta de alta rigidez. (Goto, et al., 2011, p. 45)

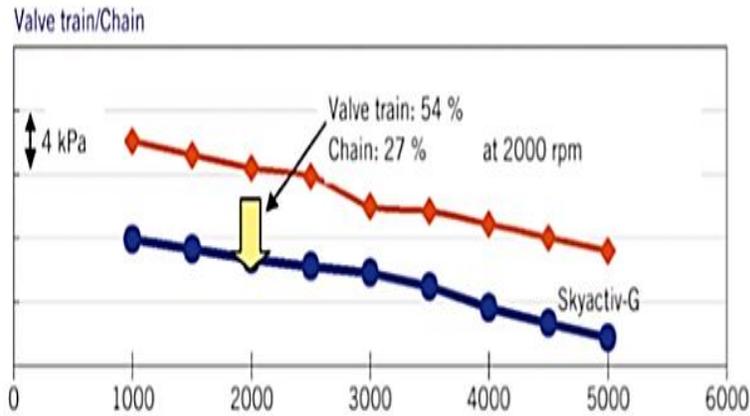


Figura 17. Variación de pérdidas mecánicas en la distribución
Fuente: (Goto, et al., 2011)

- Sistema de lubricación: los principales cambios fueron la adopción de un enrutamiento hidráulico simple para reducir la pérdida de presión, minimizar la presión de aceite requerida por cada dispositivo hidráulico para reducir la cantidad de descarga de aceite. (Goto, et al., 2011, p. 45)

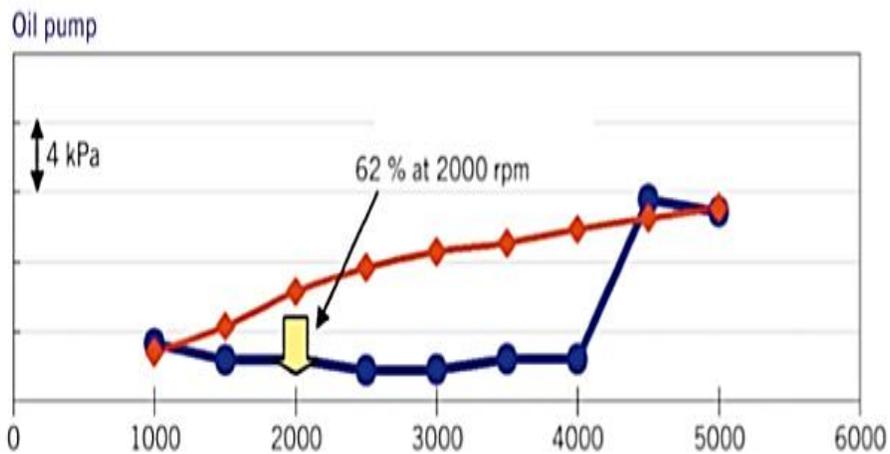


Figura 18. Variación de pérdidas mecánicas en la lubricación
Fuente: (Goto, et al., 2011)

- Sistema de enfriamiento: los principales cambios fueron la reducción de la resistencia en el paso del refrigerante para aligerar la carga de trabajo de la bomba de agua. (Goto, et al., 2011, p. 45)

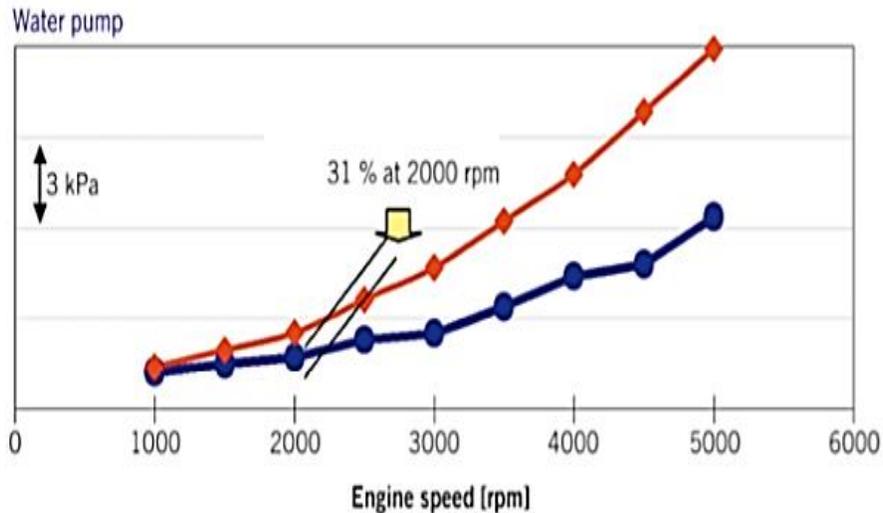


Figura 19. Variación de pérdidas mecánicas en la refrigeración
Fuente: (Goto, et al., 2011)

2.5.3 Motor ciclo Miller

El nuevo motor de Mazda trabaja con ciclo Miller y es un motor de alta eficiencia que logra un alto rendimiento económico de combustible obteniendo una alta relación de expansión; alcanza dicha relación de expansión sin aumentar su relación de compresión efectiva al retardar el tiempo de cierre de la válvula de admisión. Su ciclo de trabajo se desarrolla y analiza en la siguiente orden: (Mazda Electrónica Service Information [MESI], 2011, Technical Guide)

- El aire de admisión ingresa en el cilindro.

- La válvula de admisión se mantiene abierta hasta después de que la carrera de admisión finaliza para obligar al aire en el cilindro a regresar a la tubería de admisión.
- La carrera de compresión comienza desde la posición en la que la válvula de admisión está cerrada (compresión pequeña).
- La mezcla de aire y combustible se quema y el pistón se empuja hacia abajo a PMI (gran expansión). (MESI, 2011, (Technical Guide: Engine: Mechanical))

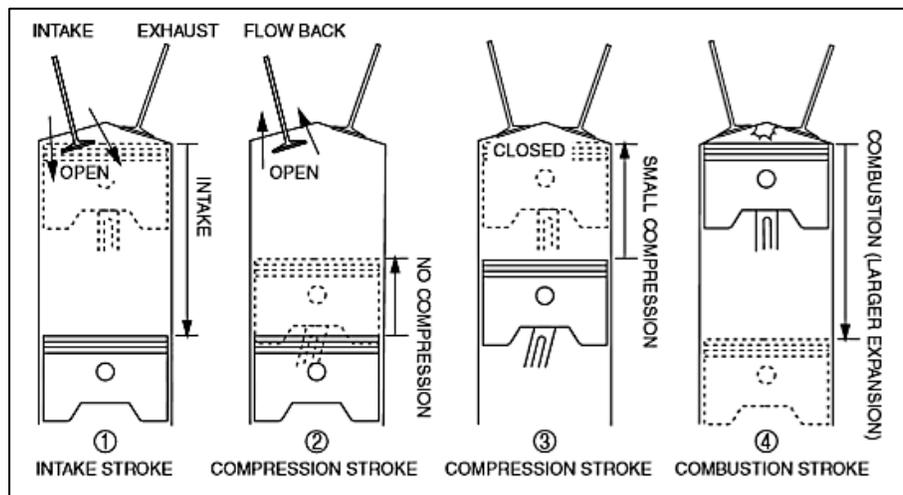


Figura 20. Ciclo miller
Fuente: (MESI, 2011)

2.5.4 Diagrama de mando (sistema de distribución)

La distribución para el motor con Skyactiv-G ha adoptado un sistema de válvula de tipo DOHC que posee cuatro válvulas por cilindro (dos válvulas de admisión y dos válvulas de escape), para un total de 16 válvulas operadas por dos árboles de levas. (MESI, 2011, Technical Guide: Engine: Mechanical)

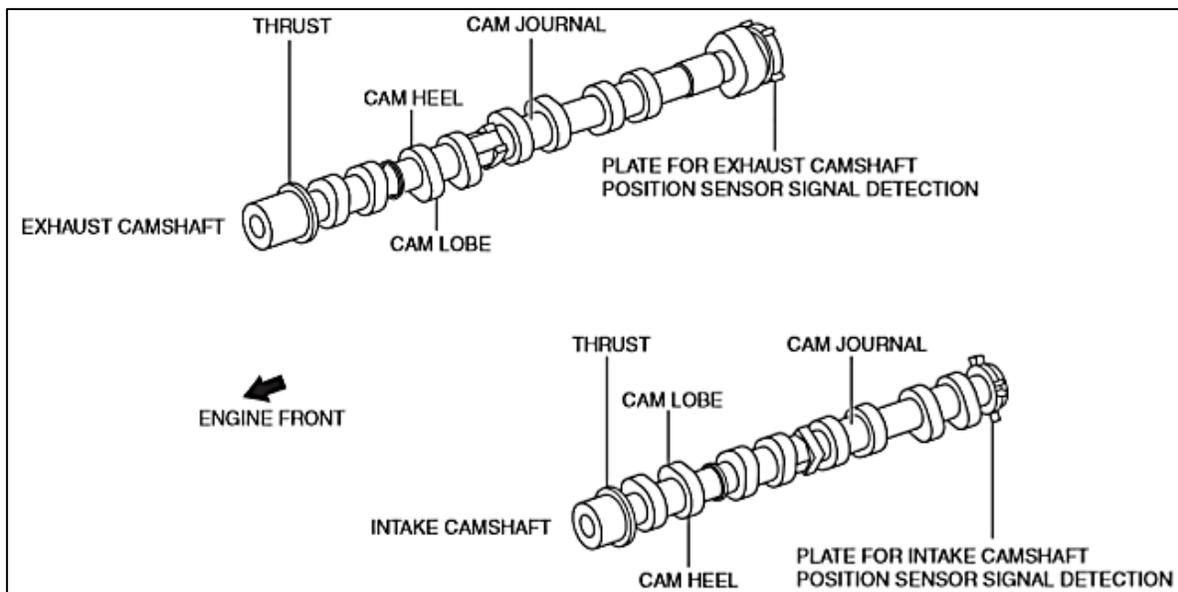


Figura 22. Árbol de levas de escape y admisión
Fuente: (MESI, 2011)

2.5.6 Sincronización de la válvula o diagrama de mando

El diagrama de mando delinea el trabajo de las válvulas en el motor, indicando el ángulo de diferencia con el que se abre o cierra cualquiera de ellas en relación al giro del cigüeñal y el juego del ascenso / descenso del conjunto biela-pistón. En la tabla 2 se indica los adelantos y retrasos de los cierres y aperturas de las válvulas de admisión y escape en cada fase del ciclo Miller. (MESI, 2011, Technical Guide: Engine: Mechanical)

Tabla 5

Ángulos de apertura y cierre de válvulas

Admisión	Abierta	APMS 42° - DPMS 32°
	Cerrada	DPMI 36° - DPMI 110°
Escape	Abierta	APMI 54° - APMI 9°
	Cerrada	DPMS 7° - DPMS 52°

Fuente: (MESI, 2011)

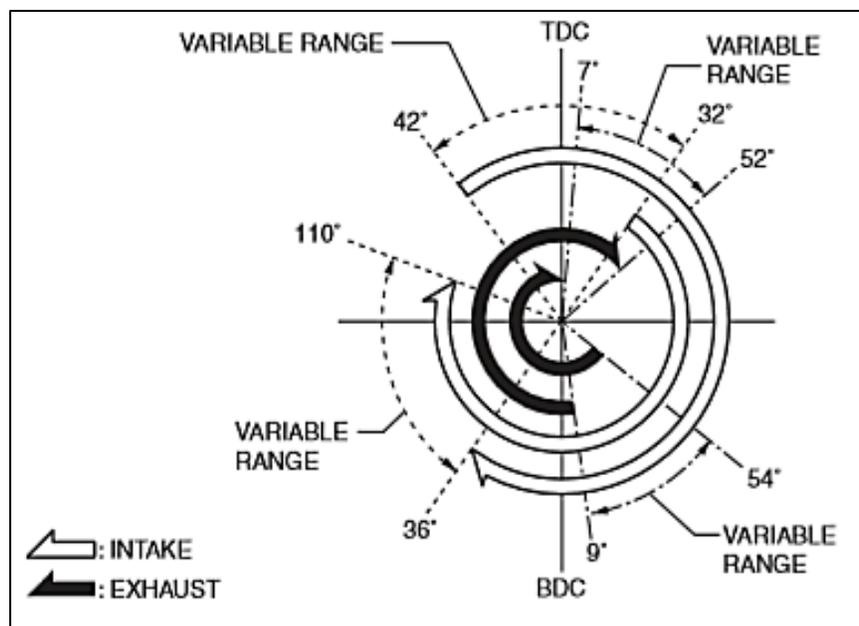


Figura 23. Diagrama de mando motor con sistema Skyactiv-g
Fuente: (MESI, 2011)

2.5.7 Variaciones electrónicas en el motor

El control electrónico del motor con Skyactiv-g ha combinado los detectores tipo L-jetronic (mide la cantidad de aire de admisión directamente con el sensor MAF.) y D-jetronic (mide la presión del aire de admisión introducida en el cilindro utilizando el sensor MAP y calcula la cantidad de aire) para la detección de la cantidad de aire de

admisión, mejorando la precisión de la medición de la cantidad de aire de admisión, principalmente con el trabajo de los sensores: (MESI, 2011, (Technical Guide: Engine: Control system))

- Sensor MAF
- Sensor de MAP
- Sensor IAT No.1 y No.2

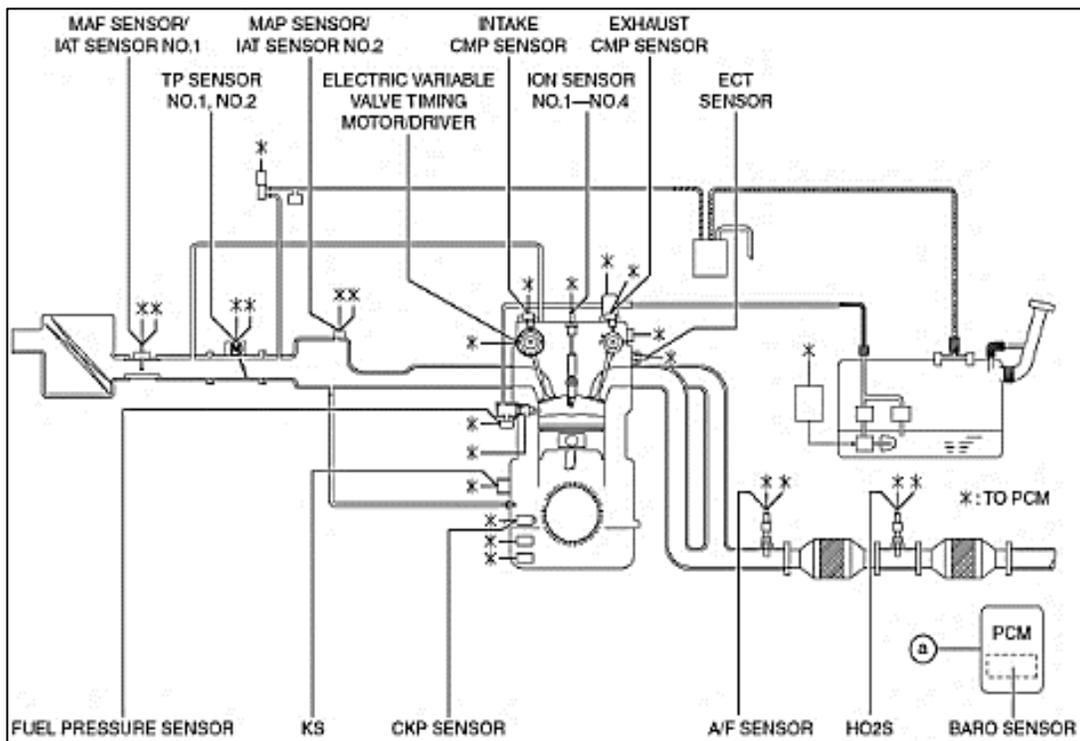


Figura 24. Ubicación de los sensores en el motor Skyactiv-g

Fuente: (MESI, 2011)

Se ha adoptado el control de temporización de la válvula en ambos lados de la admisión y el escape. Para la admisión es necesario manejar el control de

sincronización de válvula eléctrica variable y esto se logra con: (MESI, 2011, Technical Guide: Engine: Control system)

- Sensor de admisión CMP
- Motor de sincronización de válvulas variables eléctricas
- Relé de sincronización de válvula variable eléctrica (MESI, 2011, Technical Guide: Engine: Control system)

En el escape en cambio se necesita tener un control hidráulico de sincronización de la válvula variable con el trabajo del sensor de escape CMP adoptado. (MESI, 2011, Technical Guide: Engine: Control system)

El módulo de control de la bomba maneja la bomba de combustible y el consumo de energía de la bomba de combustible se ha reducido esto mejora la economía de combustible, así como la implementación del sensor de iones se encarga de detectar el pre-encendido posible en el nuevo motor, esto ha mejorado la fiabilidad del motor. (MESI, 2011, Technical Guide: Engine: Control system)

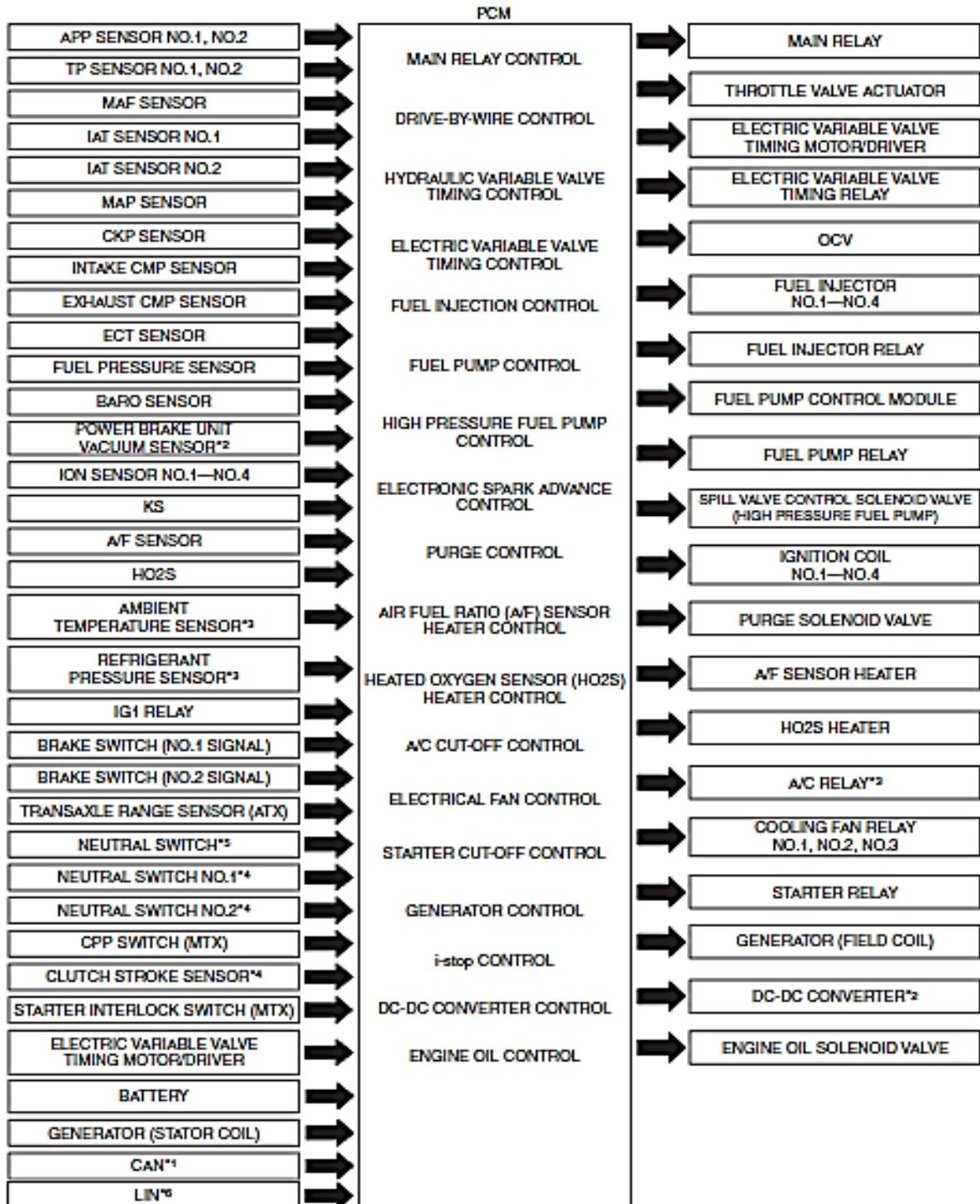


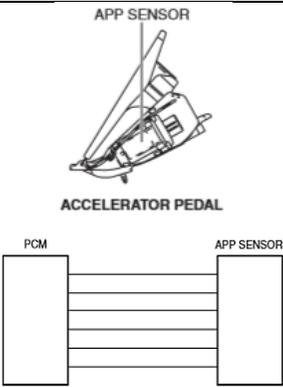
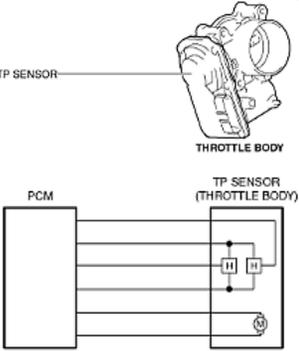
Figura 25. Flujo del PCM
Fuente: (MESI, 2011)

a) Sensores

El motor del sistema Skyactiv-g se encuentra controlado electrónicamente por una PCM (computadora) que se alimenta con información de los sensores ubicados en los subsistemas del mismo. Estos recolectan medidas constantes de los parámetros que afectan a las condiciones de funcionamiento óptimo del motor y a su combustión. En la tabla 6 se detallan los sensores principales que intervienen en este proceso. (MESI, 2011, Technical Guide: Engine: Control system)

Tabla 6

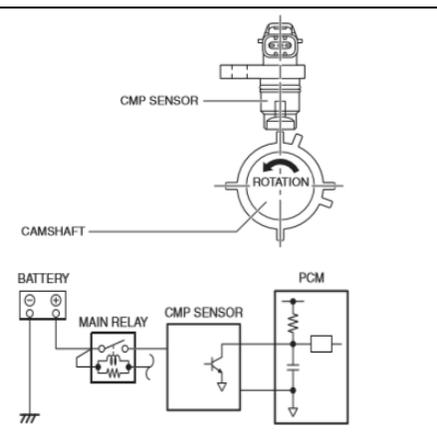
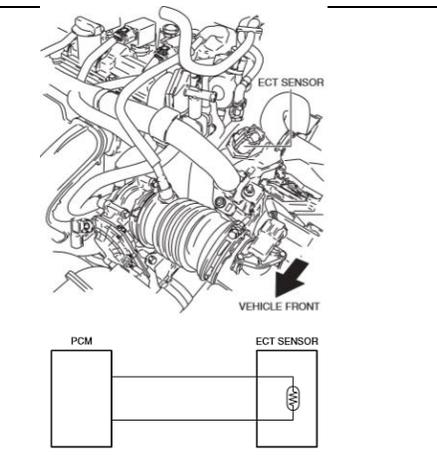
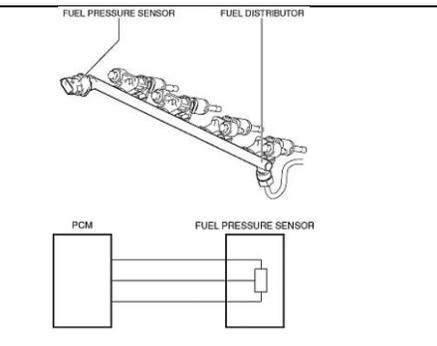
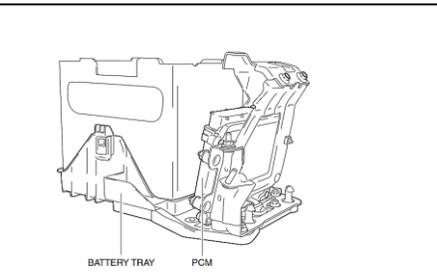
Sensores del motor con Skyactiv-g

Sensores	Funcionamiento	Ubicación	Imagen
APP	Detecta la cantidad de depresión del pedal del acelerador como información básica y la envía al PCM como una señal de ángulo de apertura	Integrado en el pedal del acelerador	 <p>The diagram for the APP sensor shows a perspective view of the accelerator pedal assembly with the APP SENSOR highlighted. Below it is a schematic showing the PCM connected to the APP SENSOR via three lines.</p>
TP	Detecta la condición de apertura / cierre de la válvula de mariposa, que funciona de acuerdo al pedal del acelerador (principalmente utilizada para determinar la cantidad de inyección de combustible)	Incorporado en el cuerpo del acelerador	 <p>The diagram for the TP sensor shows a perspective view of the throttle body with the TP SENSOR highlighted. Below it is a schematic showing the PCM connected to the TP SENSOR (THROTTLE BODY) via three lines, with a detailed view of the sensor's internal electrical connections.</p>

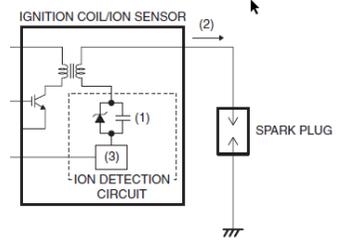
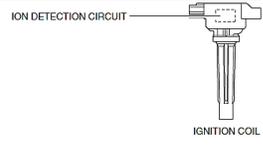
CONTINÚA 

<p>MAF</p>	<p>Detecta la cantidad de flujo de aire de entrada introducida en el cilindro (principalmente utilizada para determinar la cantidad de inyección de combustible) y la envía al PCM como una señal de cantidad de flujo de aire de admisión.</p>	<p>Instalado en el filtro de aire</p>	
<p>IAT No.1</p>	<p>Detecta la temperatura de ingreso del aire antes de que pase a través del cuerpo del acelerador.</p>	<p>Integrado en el sensor MAF</p>	
<p>IAT No. 2</p>	<p>Detecta la temperatura del aire después de que pasa a través del cuerpo del acelerador y lo envía a la PCM como una señal de temperatura del aire de admisión.</p>	<p>Integrado en el sensor MAP</p>	
<p>MAP</p>	<p>Detecta la presión de entrada de aire introducida en el cilindro y la envía al PCM como una señal de presión de aire de admisión.</p>	<p>Instalado en el colector de admisión</p>	

CONTINÚA 

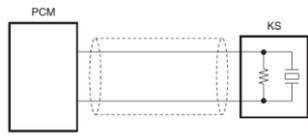
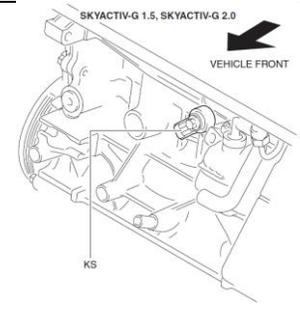
CMP	<p>Detecta la velocidad del árbol de levas como información básica (principalmente utilizada para determinar el tiempo de inyección y el tiempo de encendido)</p>	<p>Instalado en la culata (admisión)</p> <p>Instalado en la carcasa trasera (escape)</p>	
ECT	<p>Detecta la temperatura del refrigerante del motor y lo envía al PCM como una señal ECT.</p>	<p>Instalado a la caja de salida de agua</p>	
Presión de combustible	<p>Detecta la presión de combustible en el distribuidor de combustible y lo envía a la PCM como una señal de presión de combustible.</p>	<p>Instalado en el distribuidor de combustible</p>	
Baro	<p>Detecta la presión barométrica (principalmente utilizada para determinar la cantidad de inyección de combustible)</p>	<p>Integrado en el PCM</p>	
ION	<p>Detecta la generación de iones en la cámara debido a la combustión como</p>	<p>Incorporado en la bobina de encendido</p>	

corriente al aplicar el voltaje de polarización a la y se envía al PCM.



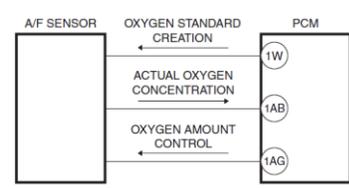
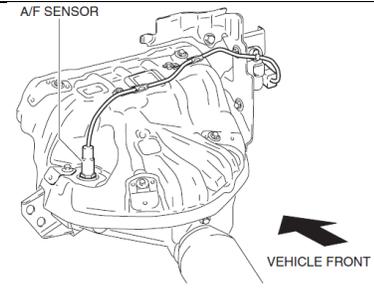
KS Detecta una combustión anormal en el cilindro, se utiliza para determinar el tiempo de encendido y se envía al PCM como una señal de golpeteo

Instalado en el block de cilindros

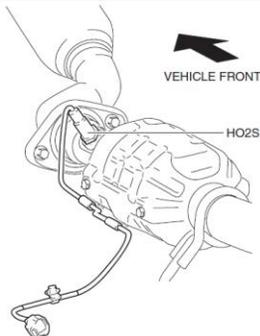
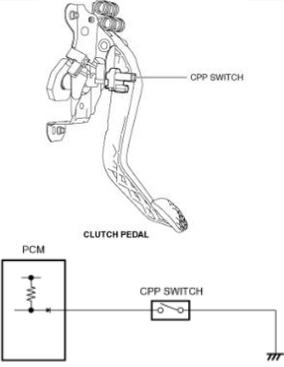


A/F Detecta la concentración de oxígeno en los gases de escape. Debido a que el sensor A/F tiene características de salida proporcionales a la relación aire / combustible real, se puede comparar una relación aire / combustible detallada usando el HO₂S, que detecta la concentración rica / pobre de oxígeno.

Instalado en el colector de escape



CONTINÚA

HO2S	Detecta la concentración de oxígeno en los gases de escape, principalmente utilizada para determinar la cantidad de inyección de combustible y el deterioro del convertidor catalítico.	Instalado en la parte posterior del colector de escape	
CPP	Detecta el estado de conexión del embrague.	Instalado en el pedal de embrague	

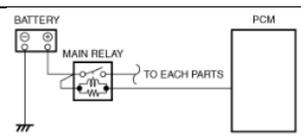
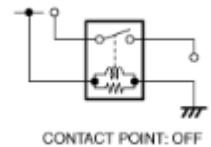
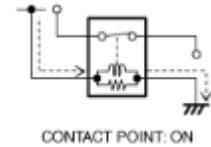
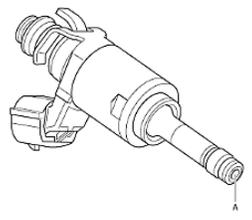
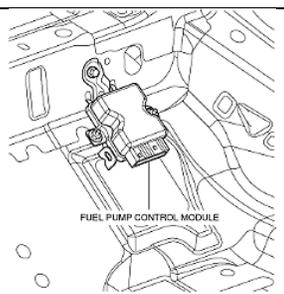
Fuente: (MESI, 2011)

b) Actuadores

El ser un motor de inyección directa con un ciclo Miller es lo que marca la diferencia de este sistema con respecto a motores de combustión interna convencionales, por lo que los actuadores principales que distinguen a esta tecnología se presentan en la tabla 7, que se detalla a continuación. (MESI, 2011, Technical Guide: Engine: Control system)

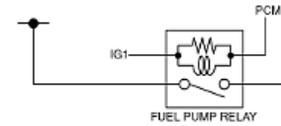
Tabla 7

Actuadores que intervienen en la inyección

Actuadores	Funcionamiento	Ubicación	Imagen
Relé principal	Suministra voltaje desde la batería a cada parte en función de las señales del PCM aunque el encendido esté conectado o desconectado.	Instalado en el relé y el bloque de fusibles	
Relé de los inyectores	Suministra energía al PCM para el funcionamiento del inyector de combustible y la válvula solenoide de control de la válvula de derrame	El relé del inyector de combustible está instalado en el bloque de fusibles	 
Inyectores	Promueve la atomización del combustible inyectándolo desde los múltiples orificios según la señal de control del PCM	El inyector de combustible está instalado en la culata	
Módulo de control de la bomba	Controla el voltaje aplicado a la bomba de combustible en función de la señal de control del PCM para reducir la carga de la bomba de combustible y mejorar	El módulo de control de la bomba de combustible está instalado debajo del asiento posterior	

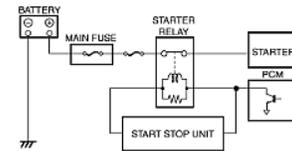
CONTINÚA 

el ahorro de combustible



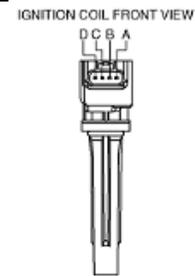
Relé de arranque
El relé de arranque funciona por la señal de la unidad de parada de arranque y el control PCM, además suministra energía de la batería al arrancador.

El relé de arranque está instalado en el bloque de fusibles



Generador
La bobina de encendido genera alto voltaje por inducción electromagnética para descargar la bujía

Está instalada en la parte superior de la bujía



Fuente: (MESI, 2011)

2.5.8 Sistema de alimentación motor Skyactiv-g

Se ha adoptado un inyector de combustible de orificio múltiple que proporciona una mayor precisión en la inyección de combustible para mejorar la eficiencia y la producción de combustible (MESI, 2011, Technical Guide: Engine: Control system)

La compresión del movimiento del pistón por la leva de 4 cabezas dentro de la bomba de combustible de alta presión aumenta la presión de combustible, logrando una

mejor eficiencia de combustible y rendimiento (MESI, 2011, Technical Guide: Engine: Fuel system)

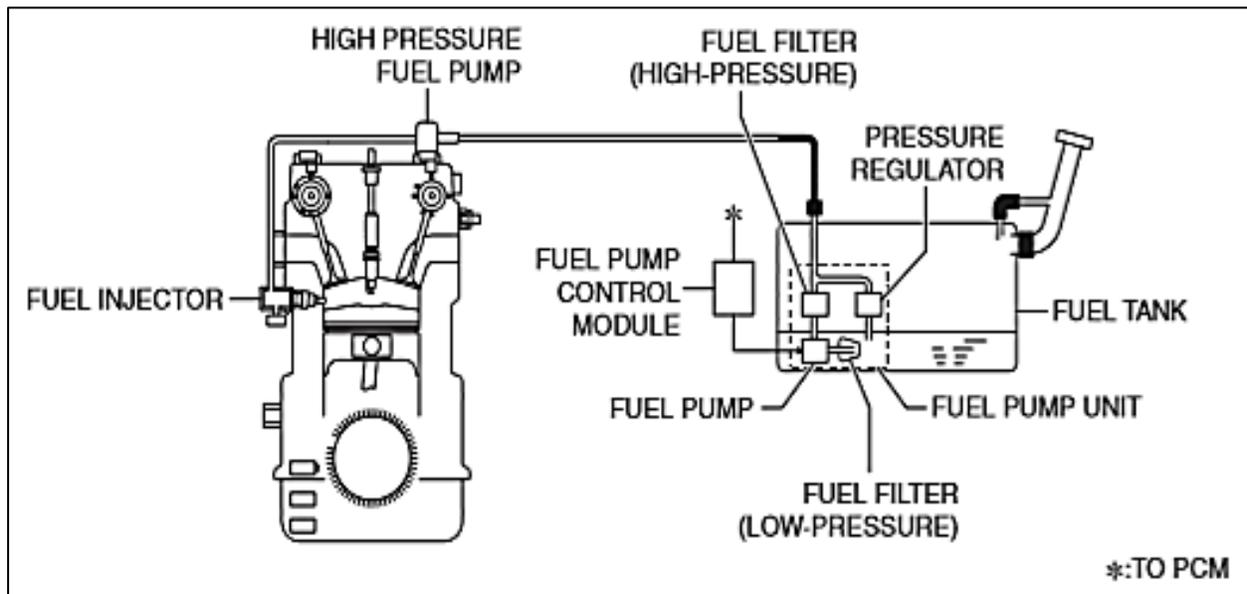
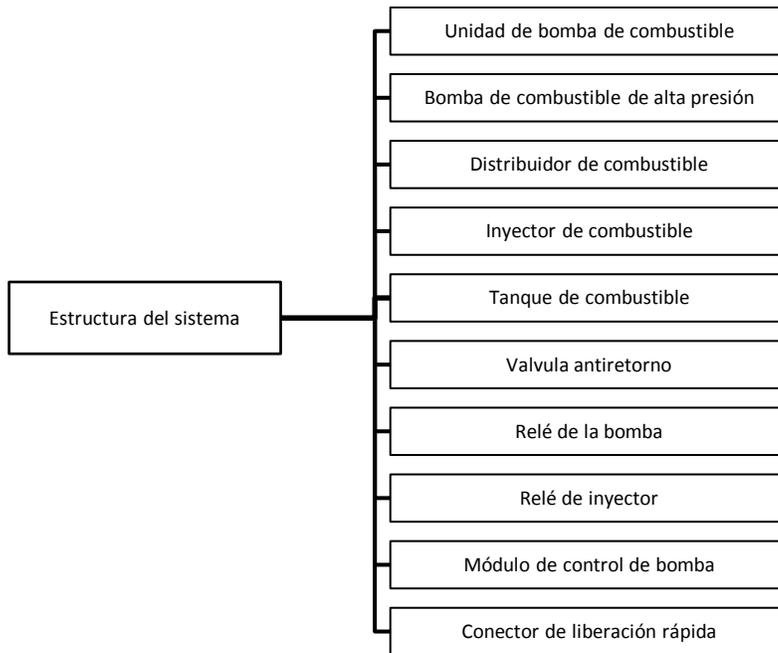


Figura 26. Diagrama del sistema de combustible
Fuente: (MESI, 2011)

2.5.9 Estructura del sistema de alimentación

El sistema Skyactiv-g posee una estructura base donde sobresale la inyección directa, en el esquema 1 se presenta la estructura donde el inyector es la diferencia principal con un sistema de alimentación de un motor a gasolina convencional (MESI, 2011, Technical Guide: Engine: Fuel system)



Esquema 1. Estructura sistema de alimentación Skyactiv-g

Fuente: (MESI, 2011)

Tabla 8

Sistema de Alimentación motor Skyactiv-g

Elemento	Función	Imagen
Unidad de bomba de combustible	Según la señal de control del PCM, la bomba de combustible aspira el combustible en la cubierta inferior y lo bombea a la bomba de combustible de alta presión. Una vez que el combustible está suficientemente filtrado a través del filtro de combustible (baja presión) y del filtro de combustible (alta presión), la presión del combustible se ajusta a aprox. 430 kPa { 4.38 kgf / cm ² , 62.4 psi} por el regulador de presión.	

CONTINÚA 

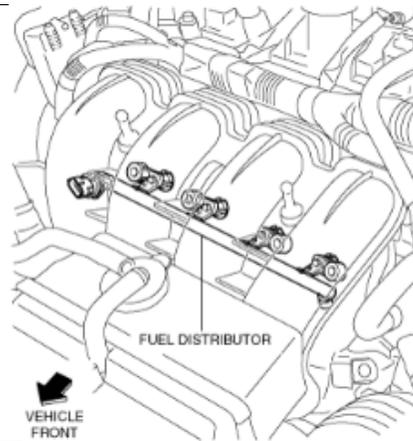
Bomba de combustible de alta presión

Aplica presión al combustible enviado desde la bomba de combustible equipada en el tanque de combustible, y luego lo bombea a la tubería de suministro de combustible. El combustible se secciona y bombea mediante el movimiento hacia arriba y hacia abajo del pistón causado por la rotación de la leva instalada en el extremo posterior del árbol de levas de escape.



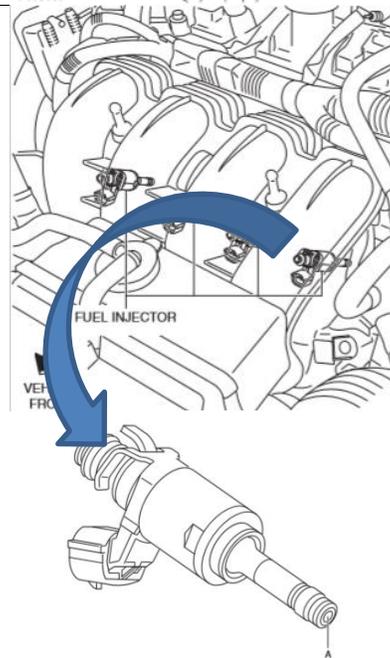
Distribuidor de combustible

Distribuye el combustible bombeado desde la bomba de combustible de alta presión a cada inyector de combustible. El distribuidor de combustible está instalado en la culata.



Inyector de combustible

Promueve la atomización del combustible inyectándolo desde los múltiples orificios. Inyecta combustible según la señal de control del PCM. El inyector de combustible está instalado en la culata y posee múltiples orificios de inyección en el área "A" que se muestra en la figura.

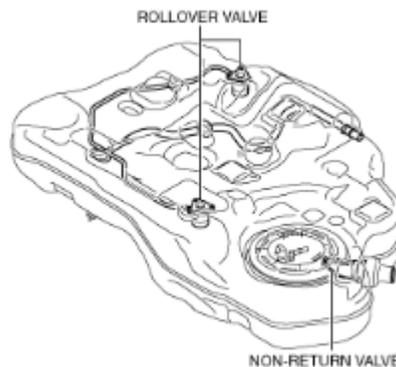


CONTINÚA



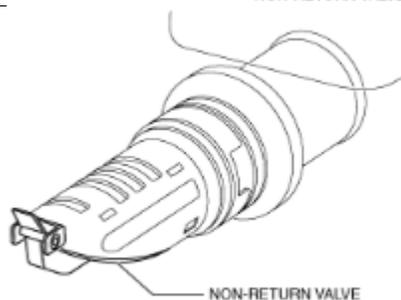
Tanque de combustible

Almacena el combustible de forma segura y suministra combustible al motor. El tanque de combustible está instalado debajo del asiento trasero.



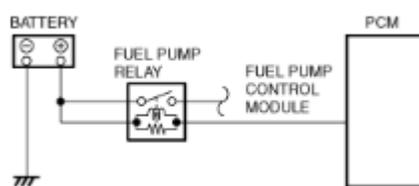
Válvula antiretorno

Evita que el combustible regrese a la abertura de llenado de combustible, no se puede quitar ya que está instalada dentro del tanque de combustible. Normalmente, la válvula está cerrada. Al repostar, se abre debido a la fuerza causada por el flujo de combustible. Cuando finaliza el repostaje, la válvula vuelve a la posición normal de la válvula por la fuerza del resorte.



Relé de la bomba

Controla el encendido / apagado de la bomba de combustible según las señales de control del PCM, funciona solo al arrancar el motor o cuando el motor está funcionando por seguridad.

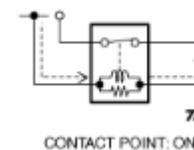
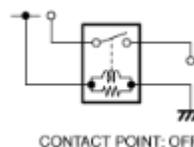


El relé de la bomba de combustible está instalado en el bloque de fusibles.

Relé de inyector

Suministra energía al PCM para el funcionamiento del inyector de combustible y la válvula solenoide de control de la válvula de derrame.

El relé del inyector de combustible está instalado en el bloque de fusibles, se ha adoptado un relé normalmente abierto para el relé del inyector de combustible. Cuando la corriente eléctrica fluye a la bobina, el punto de contacto es atraído por la potencia electromagnética generada y se enciende.

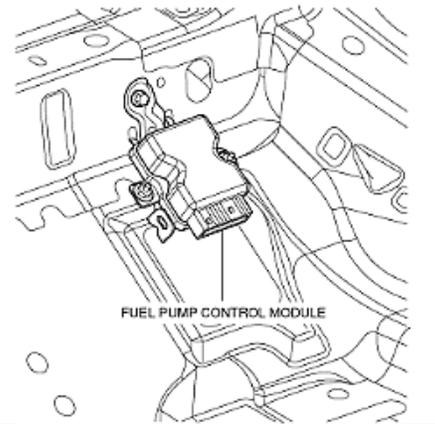


CONTINÚA 

Módulo de control de bomba

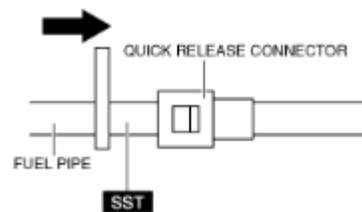
Controla el voltaje aplicado a la bomba de combustible para reducir la carga de la bomba de combustible y mejorar el ahorro de combustible, así como el voltaje aplicado a la bomba de combustible en función de la señal de control del PCM; está instalado debajo del asiento trasero.

El PCM almacena un DTC si es necesario de acuerdo con la señal de diagnóstico recibida.



Conector de liberación rápida

La facilidad de servicio se ha mejorado gracias a la fácil desconexión / conexión, esta consiste en un retenedor y una junta tórica. El conector de liberación rápida está integrado con la manguera de combustible y, por lo tanto, no se puede desmontar, cuando el conector de liberación rápida está conectado correctamente a la tubería de combustible, se libera la cerradura y se quita la lengüeta del verificador.



Fuente: (MESI, 2011)

2.5.10 Inyección directa sistema Skyactiv-g

En la investigación de Mayorga & Núñez en el 2015 (como se cita en Basshuysen, 2009) se describe como objetivo principal de la inyección directa de combustible el de contrapesar significativamente el consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes en los motores de combustión interna, tales como los hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógenos (NOx) y monóxido de carbono (CO).

El monóxido de carbono es el principal causante del efecto invernadero pero se puede reducir con la disminución del consumo de combustible, basados en esto los fabricantes de motores desarrollan sistemas dosificadores similares a los de motores diesel en los cuales la inyección se da en un momento y lugar exacto para lograr una combustión óptima. (Mayorga & Núñez, 2015, p. 11)

Con el fin de aprovechar el potencial máximo de la inyección directa de gasolina (GDI) y evitar el uso de combustible obtenido de esta manera, cada uno de los componentes individuales debe optimizarse. El mayor contribuyente a estas medidas es reducir al mínimo la potencia absorbida por la bomba de alta presión mediante la regulación de la dosificación de combustible y la reducción de la fricción. Adicionalmente, los componentes de inyección que interactúan con las condiciones ambientales del motor están adaptados entre sí de modo que para todas las condiciones de funcionamiento, es posible lograr una formación de la mezcla que nos dé como resultado menor consumo y las emisiones más bajas posibles (Mayorga & Núñez, 2015, p. 11)

Para lograr una buena atomización del combustible, existen los siguientes métodos de inyectar el combustible directamente en la cámara de combustión en la industria del automóvil: (Mayorga & Núñez, 2015, p. 11)

- Baja presión de aire asistido de inyección directa
- De alta presión de inyección directa con riel común

La Inyección directa de baja presión se desarrolló por Orbital entre la década de 1980 y 1990. El objetivo principal entonces se centraba en inyectar el vapor más denso posible de mezcla aire / combustible con gotitas estrechamente pequeñas de combustible en la cámara de combustión a una presión de inyección relativamente baja. (Mayorga & Núñez, 2015, p. 11)

A mediados de la década de 1990 fue que la inyección de alta presión Common Rail se desarrolló para los motores diesel. Desde el encendido esta tecnología de inyección fue desarrollada para motores de gasolina de inyección directa y se usó primera vez en el Mitsubishi GDI, lanzado en el mercado japonés en 1995 y en Europa en 1997. (Mayorga & Núñez, 2015, p. 11)

2.5.11 Ventajas y desventajas de la inyección directa

Las ventajas y desventajas que puede presentar el sistema de inyección directa del sistema Skyactiv de Mazda se detallada a continuación en la tabla 9, donde se puede observar que existen una mayor y marcada ventaja.

Tabla 9

Ventajas y desventajas de la GDI

Desventajas	Ventajas
El tratamiento de los gases de escape especificadas en la norma EURO4 es muy riguroso. La cantidad de los NOx que se producen, en el modo mezcla homogénea-pobre, son muy elevados.	Bajo consumo de combustible y emisiones, trabajan con un valor de lambda comprendido entre 1,6 y 3 lo que permite el ingreso de mayor cantidad de aire por los ductos de admisión y con una menor resistencia.
El azufre en la gasolina debido a su similitud química con otros productos de la combustión como los óxidos de nitrógeno, el azufre también puede almacenarse en convertidores catalíticos saturándolos	Se reducen las pérdidas de calor cedido a las paredes del motor, el calor en el aire de admisión se ve notablemente reducido, con este efecto de refrigeración la posibilidad de que exista picado disminuye por lo que se aumenta la compresión. El aumento de la compresión conlleva al incremento de la presión de compresión por lo que se optimiza el rendimiento térmico del motor.

Fuente: (Mayorga & Núñez, 2015)

2.5.12 Diagnóstico a bordo del motor Skyactiv-g OBD II

En el diagnóstico a bordo se utilizan el flujo preestablecido por la PCM, y corre de acuerdo con el comando de ejecución de prueba seleccionado desde el comprobador externo (scanner M-MDS Mazda). Si detecta el M-MDS una falla de funcionamiento en el resultado del diagnóstico a bordo, se registrará en la memoria un DTC en el PCM.

a) Autoprueba de diagnóstico KOEO (Key ON, Engine Off)

La auto-prueba de KOEO es un autodiagnóstico del sistema electrónico de control del tren motriz, que se realiza cuando el vehículo se pone en ON pero el motor se detiene. Dicha autocomprobación de KOEO comienza cuando el sistema de diagnóstico modular Mazda (M-MDS) es conectado al pin de 16 puntos del vehículo (OBD II) y se envía un comando de ejecución a la PCM.

A medida que se realiza la auto-prueba de KOEO respectivamente el PCM realiza la inspección de los DTC configurados, si se detecta una falla de funcionamiento, el DTC se muestra en el interfaz del sistema de diagnóstico modular de Mazda (M-MDS).

b) Autoprueba de diagnóstico KOER (Key ON, Engine Running)

KOER es un autodiagnóstico del sistema de control del tren motriz, que se realiza cuando el encendido está en ON y el motor está en ralentí. El desarrollo de una autocomprobación de KOER es similar en proceso a una KOE con diferencia que se hace con el motor en ciclo. De igual manera mientras se lleva a cabo se realiza la inspección de los DTC y se muestra en el Sistema de diagnóstico modular Mazda (M-MDS).

2.5.13 Condiciones normales de funcionamiento de los elementos de la PCM del motor Skyactiv-g

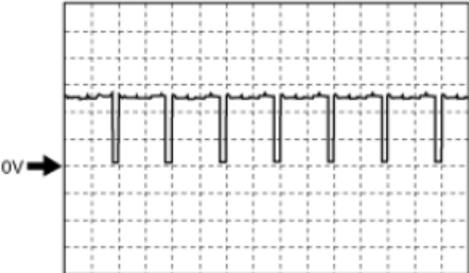
Los sensores y actuadores que intervienen directamente en el control electrónico del motor Skyactiv-g trabajan dentro de un rango de valores que indican el correcto desarrollo de la combustión del motor, caso contrario si dichos valores salen de los parámetros lineados la PCM los interpreta como fallas en los distintos sistemas en los que se encuentran instalados. En la tabla 10 se detalla dichos valores.

Tabla 10

Valores de funcionamiento correcto motor con Skyactiv-g

Sensores	Valores de funcionamiento normales	Unidades
APP	0,1-4,9	V (voltios)
TP	0,1-4,9	V (voltios)
MAF	0,2-4,94 (puede salir de los rangos por < 5s)	V (voltios)
IAT No.1	0,19-4,62 (puede salir de los rangos por < 5s)	V (voltios)
IAT No. 2	0,33-4,96 (puede salir de los rangos por < 5s)	V (voltios)
MAP	0,08-4,89 (puede salir de los rangos por < 5s)	V (voltios)
ECT	0,2-4,9 (puede salir de los rangos por < 5s)	V (voltios)
Presión de combustible	0,16-4,86 (puede salir de los rangos por < 5s)	V (voltios)
Baro	Aprox. 4,08 (al nivel del mar) KOEO	V (voltios)

CONTINÚA 

ION	Aprox. 4,55 Mínimo (después del calentamiento motor)	V (voltios)
KS	Aprox. 3,38 KOEO	V (voltios)
A/F	Aprox. 4,2 Mínimo (después del calentamiento motor)	V (voltios)
HO2S	Aprox. 1,65 (-) Aprox. 2,49 (+) Mínimo (después del calentamiento motor)	V (voltios)
CPP	<1,0 Pedal del embrague pisado a fondo	V (voltios)
Inyector de combustible	Aprox. 1,4 Mín. (después del calentamiento motor) Aprox. 1,1 Acelerando (@ 2.000 r.p.m.) Aprox. 1,0 Acelerando (@ 4.000 r.p.m.)	Ms
Relé de la bomba	<1,0 Mínimo (después del calentamiento motor)	V (voltios)
Módulo de control de bomba		V (voltios)

Fuente: (MESI, 2011)

2.5.14 Ventajas del sistema Skyactiv-g en comparación con el motor de gasolina

2.0 LF antiguo

Frente al antiguo motor Mazda 2.0 la tecnología Skyactiv-g enfocada directamente al motor y su trabajo, presenta varias ventajas. (Mazda Motor Corporation, 2011, Skyactiv-g)

a) Ahorro de combustible

Mejora del 15% en el ahorro de combustible que aproximadamente es la realización del ahorro de combustible del nivel del motor diésel; en general los motores diésel tienen una economía de combustible característicamente mejor que los motores de gasolina debido a su método de combustión (Mazda Motor Corporation, 2011, Skyactiv-g)

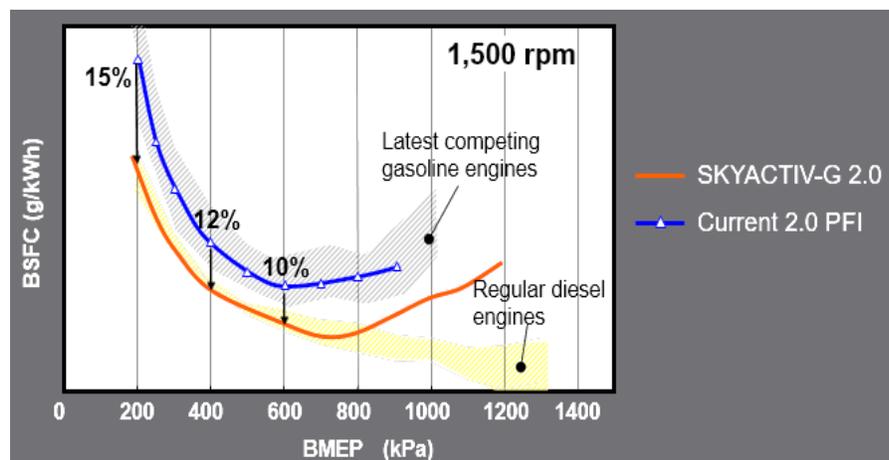


Figura 27. Referencia del ahorro de combustible motor Skyactiv-g vs. Motor convencional de Mazda

Fuente: (Mazda Motor Corporation, 2011)

b) Mejora del par

Presenta una mejora del 15% en el par en un rango de velocidad del motor de baja a media. Es decir que en uso regular representa dicha mejora (Mazda Motor Corporation, 2011, Skyactiv-g)

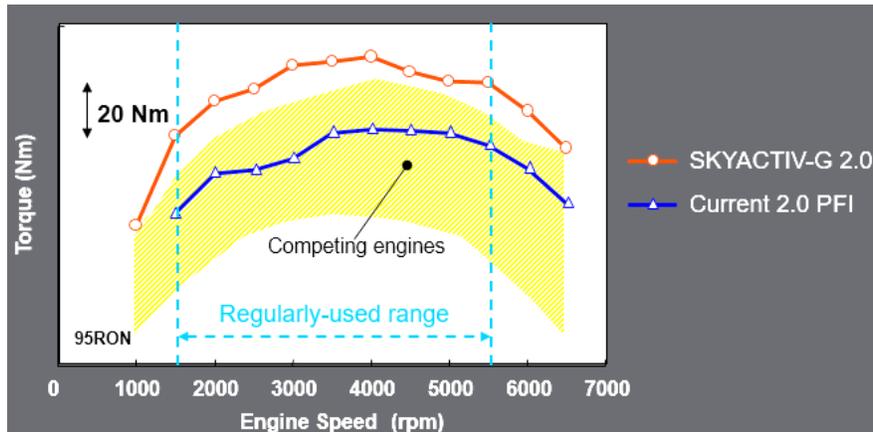


Figura 28. Mejora de par motor Skyactiv-g vs motor convencional de Mazda
 Fuente: (Mazda Motor Corporation, 2011)

c) Mejora el rendimiento del motor

La relación de compresión ultra alta de 13 a 14: 1 (plataforma nueva) conduce a una alta eficiencia en los parámetros característicos del motor de combustión interna, esto resulta en que se extraiga mucha potencia del ciclo térmico. Otras marcas automotrices alrededor del mundo han aumentado dicho valor en lo posible de su desarrollo de tecnología, pero ninguna a una relación tan alta como la de Mazda como se puede observar en la tabla 7. (Mazda Motor Corporation, 2011, Skyactiv-g)

Tabla 11

Relación de compresión máxima en otras marcas

Relación de compresión						
Gasolina	Mazda	Toyota	Honda	Nissan	VW	BMW
(no turbo)	14.0	10.0	10.6	10.0	10.3	12.0

(Mazda Motor Corporation, 2011)

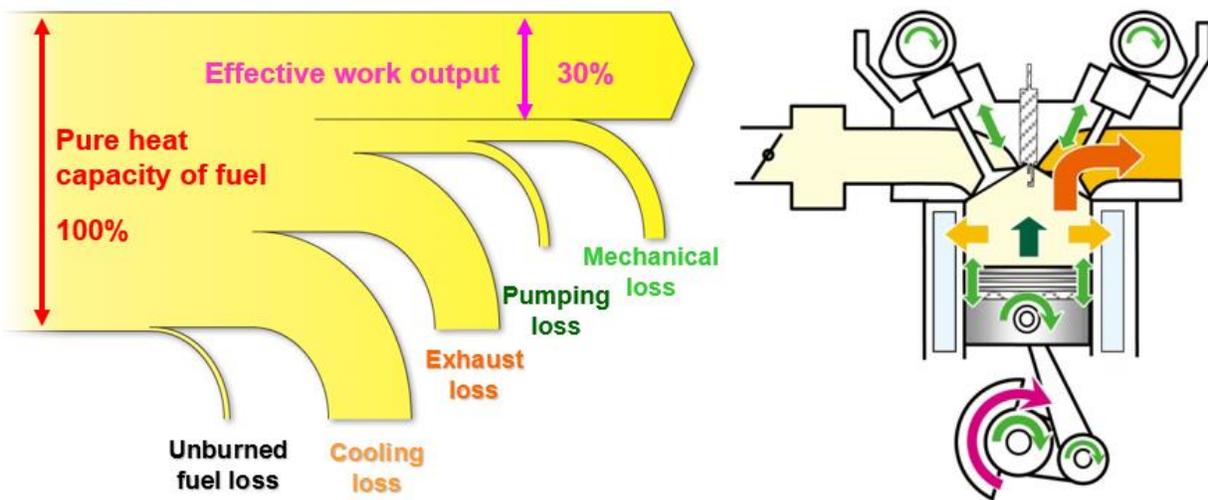


Figura 29. Efectividad del motor con Skyactiv-g
Fuente: (Mazda Motor Corporation, 2011)

Glosario del capítulo

- **SKYACTIV-G:** Sistema de desarrollo Mazda en el motor a Gasolina
- **PMS:** Punto muerto superior, posición más alta que adopta la cabeza del pistón en el cilindro
- **PMI:** Punto muerto inferior, posición más baja que adopta la cabeza del pistón en el cilindro
- **NEDC:** Ciclo de conducción europeo utilizado de base para el análisis del comportamiento de ciertos parámetros del motor.
- **CR:** Relación de compresión, es un parámetro del motor que indica la proporción en volumen, que se ha comprimido la mezcla de aire-combustible dentro de la cámara de combustión de un cilindro

- **EGR:** Exhaust Gas Recirculation, válvula que recircula a los gases de escape y ayuda a disminuir las emisiones de gases nocivos al medio ambiente.
- **KOEO:** Condición de prueba que se realiza con la llave en contacto y motor apagado (Key On Engine Off)
- **KOER:** Condición de prueba que se realiza con la llave, en contacto y el motor está funcionando

Conclusiones del capítulo

- Se investigó y seleccionó documentos, artículos y normas técnicas que sustenten la información bibliográfica acerca del sistema convencional y Skyactiv-g de Mazda, su comportamiento en relación a los parámetros característicos de un motor de combustión interna.
- Se citó porcentajes de mejora en los parámetros de desempeño que la marca Mazda establece en su teoría del desarrollo de la tecnología Skyactiv-g, 15% en consumo, 15% en potencia y 10% eficiencia.
- Se señaló una base de ecuaciones de motor con el fin de sustentar matemáticamente las pruebas que se efectuaran en los laboratorios.
- Se marcó diferencias de inyección directa en el motor convencional y el nuevo con Skyactiv-g.

CAPÍTULO III

En este capítulo se detalla a los equipos de medición y tecnología utilizados en la investigación, analizando y comparando los resultados de las pruebas de desempeño que se ejecutó en los dos vehículos Mazda 3 con y sin tecnología SKYACTIV-G.

PROTOCOLO DE PRUEBAS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR

3. Vehículos y motores para el análisis

Con el objetivo propuesto a partir de la investigación planteada se efectuaron las pruebas de torque, potencia, consumo y emisiones en los automóviles Mazda 3.

3.1 Mazda 3 4X2 sin sistema SKYACTIV-G

Para efectuar la primera parte de las pruebas se utilizó un vehículo particular Mazda 3 que tiene por especificaciones técnicas:



Figura 30. Mazda 3 sin convencional XBY0893

Tabla 12

Especificaciones técnicas características del vehículo

Elemento	Descripción
Marca	Mazda
Modelo	Mazda 3
Tipo	Automóvil
Subcategoría	M1
VIN	9FCBK55LX70102434
Capacidad de pasajeros	5
Modelo de motor	2.0 PE
Tipo de transmisión	Manual
Tracción	4x2

(Mazda Motor Corporation, 2007)

3.1.2 Características del Motor PE 2.0 Mazda (sin sistema SKYACTIV-G)

El motor al cual se le realizó las primeras pruebas de desempeño tiene por características lo que se presenta en la siguiente tabla:

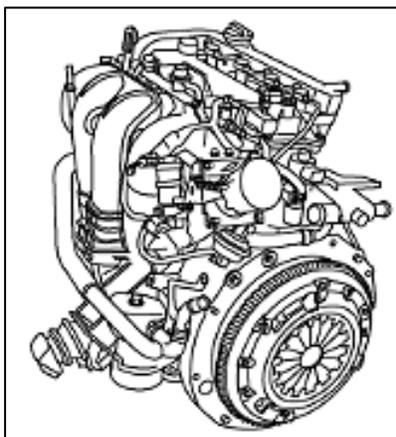


Figura 31. Motor Mazda 2.0 sin Skyactiv-g
(Mazda Motor Corporation, 2007)

Tabla 13*Especificaciones y parámetros del motor Mazda 2.0 convencional*

Especificaciones técnicas del motor	Descripción
Marca	Mazda
Modelo	LF
Ubicación y disposición	Delantera- Transversal
Cilindrada [cm3]*	1999
Número y disposición de los cilindros*	4 en línea
Nº de válvulas por cilindro*	4; 16 en total
Diámetro por carrera*	87,5 x 83,1
Relación de compresión *	10:1
Torque neto máximo [Nm @ rpm]	187 Nm @ 4000
Potencia neta máx. [KW @rpm]	110 kW @ 6500
Sistema de alimentación de combustible	Inyección Directa
Combustible o fuente de energía	Gasolina

(Mazda Motor Corporation, 2007)

3.2 Mazda 3 4X2 SKYACTIV-G

Para efectuar la segunda parte de la investigación se utilizó un vehículo particular Mazda 3 con sistema SKYACTIV-G que tiene por especificaciones técnicas:



Figura 32. Mazda 3 Skyactiv 3MZBM4276FM105339

Tabla 14

Especificaciones Técnicas y características del vehículo Mazda 3 Skyactiv-g

Elemento	Descripción
Marca	Mazda
Modelo	Mazda 3
Versión	Mazda 3 AC 4P 4X2 TM
Tipo	Automóvil
Subcategoría	M1
VIN genérico	3MZBM4276*M1*****
VIN	3MZBM4276FM105339
Capacidad de pasajeros	5
Modelo de motor	2.0 PE
Tipo de transmisión	Manual
Tracción	4x2

(Mazda Motor Corporation, 2007)

3.2.1 Características del Motor PE 2.0 Mazda (SKYACTIV-G)

El motor al cual se le realizó el segundo periodo de pruebas de desempeño tiene características diferentes al que no posee sistema SKYACTIV-G, lo que se presenta en la siguiente tabla:

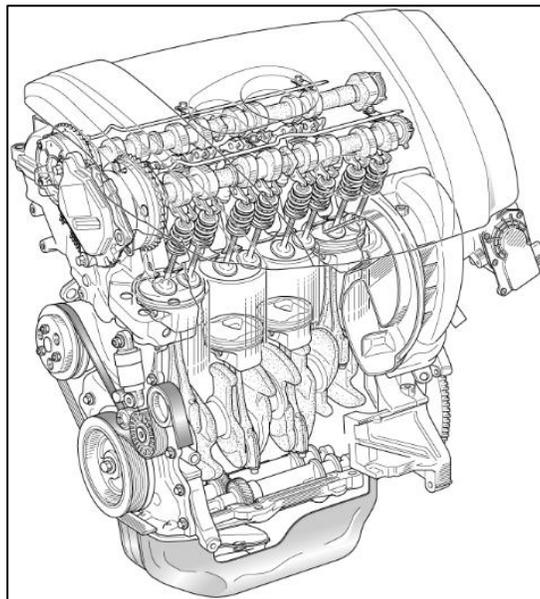


Figura 33. Motor Mazda 2.0 Skyactiv-g
(Mazda Motor Corporation, 2011)

Tabla 15

Especificaciones técnicas motor 2.0 Skyactiv-g

Especificaciones técnicas del motor	Descripción
Marca	Mazda
Modelo	PE
Ubicación y disposición	Delantera- Transversal

CONTINÚA 

Cilindrada [cm3]*	1998
Número y disposición de los cilindros*	4 en línea
Nº de válvulas por cilindro*	4; 16 en total
Diámetro por carrera*	83,5 x 91,2
Relación de compresión *	14:1
Torque neto máximo [Nm @ rpm]	200 Nm @ 4000
Potencia neta máx. [KW @rpm]	114 kW @ 6500 rpm
Sistema de alimentación de combustible	Inyección directa
Combustible o fuente de energía	Gasolina

(Mazda Motor Corporation, 2007)

3.3 Equipos de medición

La medición de los parámetros de desempeño de los dos motores Mazda 2.0 PE se realizó con equipos tecnológicos especializados para este desarrollo de la investigación, tales como un dinamómetro de chasis LPS 3000 marca MAHA, un depósito externo y un analizador de gases MGT5 marca MAHA. (Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG, 2005, p. 1.1)

3.3.1 Dinamómetro de chasis LPS 3000 MAHA

El dinamómetro LPS 3000 es de rodillos o chasis, marca MAHA y fabricación alemán, es utilizado para la medición de potencia y par motor (torque) de vehículos con

múltiples opciones de diagnóstico con carga simulada. (MAHA GmbH & Co. KG, 2005, p. 1.1)



Figura 34. Equipos del dinamómetro MAHA LPS 300

El LPS 3000 está conformado de subsistemas y componentes que permiten mantener las pruebas de los vehículos dentro de los protocolos lineados, ya que cada una desarrolla una función específica durante el proceso:

- Pupitre de comunicaciones: con PC, pantalla a color, teclado y mouse.
- Control remoto
- Un juego de rodillos
- Ventilador de aire refrigerante
- Caja de interfaces: permite conectar otros aparatos de medición y registro. (MAHA GmbH & Co. KG, 2005, p. 1.2)

Las características técnicas del dinamómetro se presentan en la tabla 16.

Tabla 16*Características del dinamómetro MAHA LPS 3000*

Especificación Técnica	Descripción
Carga máx. sobre el eje	15 t
Longitud [mm]	2260 por rodillo
Ancho [mm]	1100
Diámetro de rodillo [mm]	318
Distancia entre rodillos [mm]	565
Bloqueo de rodillos	Hidráulico
Diámetro mín. rueda para ensayar	12 “
Velocidad máx. de rodillos	200 km/h
Potencia rueda	30 – 400 kW
Fuerza de tracción máxima	15 kN
Número de revoluciones	10 – 10000 rpm

(MAHA GmbH & Co. KG, 2005)

3.3.2 Analizador de gases MGT5 4/5

El analizador de gases marca MAHA de origen alemán, es un cuantificador infrarrojo que mide el volumen de CO (monóxido de carbono), CO₂ (dióxido de carbono) y HC (hidrocarburos) contenido en los gases de escape, a partir de una muestra extraída por la sonda del equipo desde el tubo de desfogue del motor (Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG, 2003, p. 1.1)



Figura 35. Analizador de gases MAHA MGT5

El equipo separa el agua contenida de la muestra para dejar pasar solamente al gas, el cual que por principio de absorción selectiva infrarroja es analizado a través de un haz de luz que se atenúa dependiendo del gas presente en la cámara. La debido a su reacción electroquímica (MAHA GmbH & Co. KG, 2003, p. 1.1)

El analizador de gases MGT5 4/5 presenta características técnicas detalladas en la tabla 17.

Tabla 17

Especificaciones técnicas del Analizador de gases MGT5 4/5

Especificación Técnica	Descripción
Longitud	560 mm
Ancho	240 mm
Alto	300 mm

CONTINÚA 

Peso	8 kg
Cuentarrevoluciones	0 – 10000 rpm
Temperatura de servicio	+5°C - +45°C
Termómetro del aceite	+0°C - +150°C
Ajuste a cero	Automático
Interfaces	LON / USB / OBD
Alimentación de corriente	85 V – 280 V

(MAHA GmbH & Co. KG, 2003)

Además de ello es importante conocer los umbrales de medición de este equipo de esta manera tener bases de comparación de los resultados medidos. En la tabla 18 se detalla estos rangos del analizador. (MAHA GmbH & Co. KG, 2003, p. 1.6)

Tabla 18

Rango de medición del analizador de gases MGT5 4/5

Gases analizables	CO	CO2	HC	O2	Nox
Rango de medición	0-15 %v	0-20 %v	0-2000 ppm (hexano) 0-4000 ppm (propano)	0-25 %v	0-5000 ppm v
Precisión de medida	0,06 %v	0,5 %v	12 ppm v	0,1 %v	32-120 ppm v
Principio de medida	Infrarrojo	Infrarrojo	infrarrojo	electro-químico	electro-químico

(MAHA GmbH & Co. KG, 2003)

3.3.3 Cánister externo

El suministro externo de combustible para la prueba de consumo se lo realiza con un limpiador de sistemas de inyección para motores gasolina y diésel sin tener que desmontar el sistema del motor. El JetClean plus por poseer en su equipo con tubos flexibles se puede acoplar con seguridad a cualquier sistema de inyección (Liqui moly, 2003, p. 25)

El cánister mediante una bomba de pistón manual puede producir presión en su interior de tal manera que el combustible y su dosificación simule sin problemas la continuidad del sistema de inyección (Liqui moly, 2003, p. 25)

El cánister posee características técnicas especificadas por su fabricante y se detallan a continuación en la tabla 19.

Tabla 19

Especificaciones técnicas del cánister externo Jetcleanplus

Especificación Técnica	Descripción
Llenado máximo	5 L
Capacidad total	7 L
Sobre presión Admisible	7 bares
Dispositivos de Seguridad	válvula de seguridad
	Manómetro

CONTINÚA 

válvula descarga presión

protección anti retorno llamas

(Liqui moly, 2003)

3.4 Protocolo de pruebas

3.4.1 Torque y potencia

Los diferentes parámetros de desempeño susceptibles a medición están sujetos a medirse bajo normas con procedimientos lineados que representan un desplazamiento con condiciones de conducción lo más cerca a la realidad, en los siguientes ítems se indican las normas seleccionadas en cada prueba para la toma de datos.

a) ISO 1585

El protocolo de pruebas de torque y potencia de la norma ISO 1585 rige parámetros considerados en ensayos internacionales para generar óptimas mediciones, a partir de bancos de pruebas para motores aislados o para motores en vehículos.

b) Accesorios que se deben colocar

Para poder realizar las mediciones de las pruebas en el banco es necesario que algunos accesorios del vehículo se encuentren activos. En caso de testear solo el motor fuera del vehículo se recomienda que estos accesorios se encuentren en el banco dispuestos como en el automóvil. Todo ubicado y calibrado según las especificaciones de producción del fabricante y sin ninguna alteración para la aplicación particular (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 1996, p. 4-5)

En la tabla 20 se resume los accesorios para la prueba según la norma ISO 1585 (NTC 1930).

Tabla 20

Accesorios que se deben colocar para comprobar en el automóvil

Sistema	Accesorio	Condición
Admisión	• Colector	Excepto si hay riesgo de influir en la potencia del motor.
	• Control de emisión del cárter	
	• Medidor de flujo de aire	
	• Ducto de admisión	
	• Filtro de aire	
	• Limitador de velocidad	
Escape	• purificador	
	• colector	
	• dispositivos de carga a presión	
	• tubería de conexión	
	• silenciador	
	• tubo de escape	
	• freno del escape	
Inyección	• prefiltro	Mantenga la presión en el combustible
	• filtro	
	• bomba	

CONTINÚA 

	<ul style="list-style-type: none"> • tubería de alta presión • inyector • sistema de control electrónico 	necesaria para el motor
Refrigeración	<ul style="list-style-type: none"> • radiador • ventilador • bomba de agua • termostato 	El termostato se puede fijar en la posición totalmente abierta.
Ignición	<ul style="list-style-type: none"> • generador • distribución de chispa • bobina (s) • devanado • bujías • sistema de control electrónico 	
Refrigeración	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilador auxiliar del banco de prueba 	
Dispositivos anti polución	<ul style="list-style-type: none"> • sistema EGR • convertidor catalítico • reactor térmico 	

(ICONTEC, 1996)

c) Accesorios que se deben retirar

Existen accesorios que sólo son necesarios para la operación del vehículo en viaje real y se deben retirar para el ensayo con el fin de no provocar variaciones significativas en las mediciones. Entre los principalmente típicos están:

- Compresor de aire para frenos
- Bomba de regulación de la potencia
- Compresor de suspensión
- Sistema de aire acondicionado (ICONTEC, 1996, p. 4)

Cuando los accesorios indicados no se pueden retirar, la potencia que absorben en la condición sin carga, se puede determinar y adicionar a la medida de la potencia del motor (ICONTEC, 1996, p. 4)

d) Condiciones de ensayo

En la tabla 21 se indican las condiciones que se deben considerar para desarrollar el ensayo de torque y potencia en el dinamómetro.

Tabla 21

Condiciones de ensayo de torque y potencia bajo ISO 1585

Elemento	Condición
Válvula reguladora	Es necesario efectuar una corrida en el banco con la válvula reguladora abierta, y con la carga total fijada en la bomba de inyección.
Valores de funcionamiento	Se deben tomar bajo condiciones de operación invariables, con un suministro de aire fresco para

CONTINÚA 

el motor. Los motores deben haber funcionado, arrancado y calentado.

Temperatura del aire	<p>Se debe elegir lo más similares posible a las condiciones de referencia $T_{ref} = 298 K(25^{\circ}C)$.</p> <p>Se debe evaluar dentro de 0,15 m corriente arriba del ducto de admisión de aire. El medidor se debe proteger de la radiación de calor y se debe colocar directamente en la corriente de aire.</p>
La depresión de admisión	<p>Se debe medir aguas abajo de los ductos de entrada, el filtro de aire, el silenciador, etc.</p>
Datos de los parámetros del motor	<p>No hay que tomar datos de los parámetros del motor hasta que el torque, la velocidad y la temperatura hayan mantenido constantes por lo menos durante 1 min.</p>
Velocidad del motor	<p>La velocidad del motor durante una lectura no se debe desviar de la velocidad seleccionada por más de $\pm 1\%$ o ± 10 rpm, lo que sea mayor.</p>
Medición de la temperatura del combustible	<p>La medición de la temperatura del combustible se debe realizar lo más cercano al ingreso del carburador o del ensamble de inyectores.</p> <p>La temperatura del combustible se debe mantener dentro de ± 5 K de la especificada por el fabricante. Sin embargo, la temperatura del combustible mínima permitida para ensayo, debe ser la temperatura del aire ambiente. Si el</p>

CONTINÚA 

fabricante no la específica, debe ser $298 \text{ °K} \pm 5 \text{ °K}$.

Temperatura del lubricante	La temperatura del lubricante se debe medir a la entrada del depósito de aceite o a la salida del refrigerador de aceite, si lo hay, a menos que el fabricante especifique otra ubicación para la medición. La temperatura se debe mantener dentro de los límites que el fabricante especifique
----------------------------	---

(ICONTEC, 1996)

3.4.2 Procedimiento y tiempos de pruebas

Para la realización de las pruebas de torque y potencia en los motores de combustión interna de los vehículos seleccionados se siguió un procedimiento delineado según manuales de los equipos y funcionalidad de la realización de los ensayos, en la tabla 22 se detalla este procedimiento.

Tabla 22

Procedimiento ensayo de torque y potencia en el CCICEV

Ord.	Procedimiento	Imagen
1	Posicionar el vehículo de forma recta y centrada en dirección de marcha sobre los rodillos del banco de pruebas, con la transmisión en posición neutral.	

CONTINÚA 

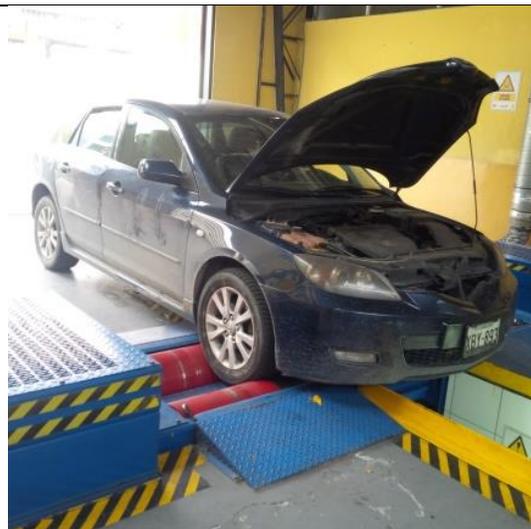
- 2 Conectar el banco de potencia mediante el interruptor principal en el pupitre de comunicaciones (computador).



- 3 Conectar la caja de interfaces (OBD II, sensores, medidores) al pupitre.



- 4 Accionar las plataformas del banco de pruebas para realizar el descenso del vehículo, luego girar las ruedas lentamente para que queden alineadas sobre los rodillos.

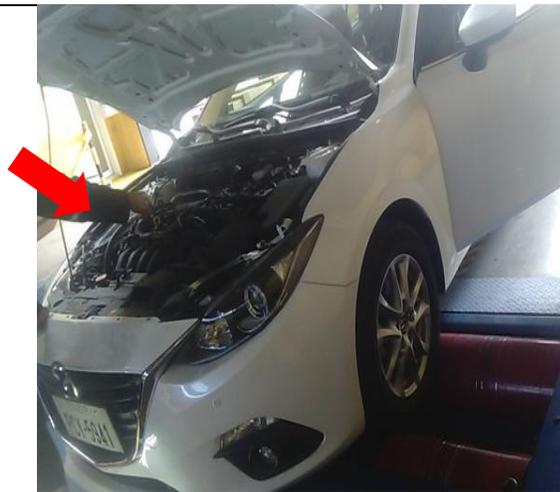


CONTINÚA 

- 5 Fijar el vehículo sobre los rodillos por medio de correas de tensión a partes fijas del automotor como las mesas, el gancho de remolque o al eje trasero. De manera que al correr a las ruedas sobre los rodillos el vehículo este inmóvil.



- 6 Instalar la sonda de temperatura del aceite del motor en el lugar de la varilla indicadora de nivel del aceite del motor, adaptando la longitud de la sonda con la longitud de la varilla de nivel original mediante el desplazamiento del tapón cónico.

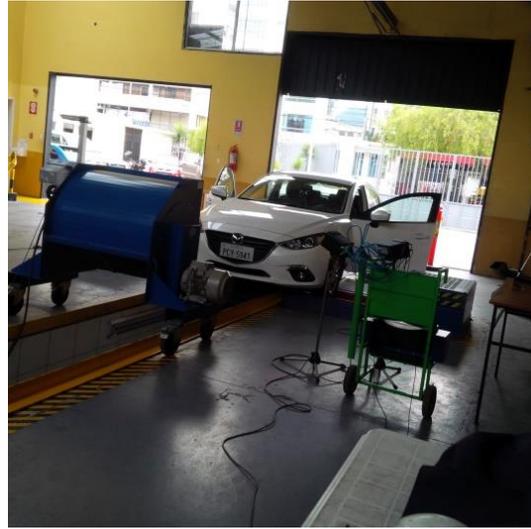


- 7 Colocar el extractor de emisiones en la salida del tubo de escape para la liberación de gases.



CONTINÚA 

- 8 Posicionar el ventilador de aire refrigerante delante del radiador del vehículo, asegure los rodillos de dirección con las palancas de retención para garantizar la firmeza de la posición del ventilador durante el funcionamiento.



- 9 Llevar el motor a la temperatura normal de funcionamiento.



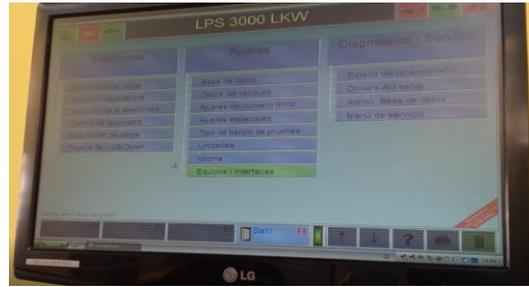
- 10 Revisar la seguridad del área de prueba, solo personal autorizado debe estar presente cuando se realicen las mediciones.



CONTINÚA 

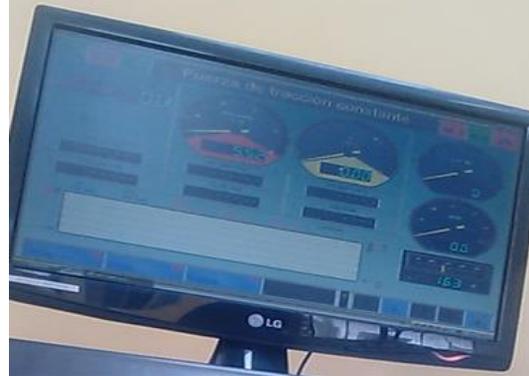
11

Seleccionar el tipo de vehículo a ensayar (turismo-vehículo ligero / camión-pesado) en la interfaz del computador del banco de pruebas.



12

Seleccionar el tipo de ensayo a evaluar según el vehículo:
continua (aplica a livianos ciclo Otto) o discreta (aplica pesados ciclo diésel).



13

Introducir los datos técnicos referentes al vehículo a ser ensayado, en la figura 3 se muestran los siguientes datos:

- a. tipo de motor
- b. sobrealimentación
- c. refrigeración
- d. tipo de caja de transmisión
- e. tipo de accionamiento de tracción (delantera o trasera, no es aplicable 4x4)
- f. rango de potencia
- g. normativa de corrección aplicable, valores límite de velocidad del vehículo (tomar en cuenta la velocidad máxima del neumático),
- h. rpm de medición máxima



CONTINÚA 

especificado por el fabricante

- i. temperatura de motor especificado por el fabricante

- 14 Sincronizar el número de revoluciones de la rueda con los rodillos del dinamómetro.



- 15 Comprobar que la relación de cambio y de transmisión sea la unidad, es decir relación 1:1. Especificado en datos técnicos del vehículo (marcha directa - generalmente penúltima).

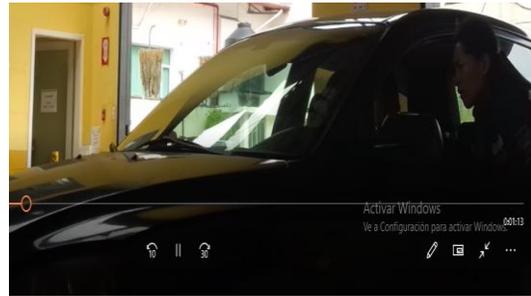


- 16 Encender el ventilador de refrigeración del banco de pruebas LPS 3000 y el sistema de extracción de gases.



CONTINÚA 

- 17 Iniciar la prueba de medición de torque y potencia siguiendo las instrucciones indicadas por el software del LPS 3000.



- 18 Acelere el vehículo de forma moderada y continua hasta llegar a la marcha directa, tenga en cuenta que mientras se realice la fase de aceleración moderada, la velocidad de 50 km/h no debe excederse, porque a partir de esta velocidad empieza la medición antes de haber alcanzado la marcha de ensayo.



- 19 Para medición continua (vehículo liviano-gasolina) acelerar a fondo en la marcha de prueba hasta alcanzar las revoluciones nominales ("corte de rpm"), luego reducir la velocidad y pisar el embrague a fondo, dejando la marcha puesta. El banco de potencia desacelera hasta detenerse en caso de transmisión manual.



CONTINÚA 

- 20 Apagar el ventilador y sistema de extracción de gases.



- 21 El resultado de la medición se presenta en la pantalla. El operador puede analizar los resultados obtenidos según las pruebas del motor (potencia, par motor, pérdidas de los mecanismos de rodadura, potencia a las ruedas, los resultados de instrumentos de medida que tiene el banco de potencia, etc.) y guardarlos en la base de datos.



- 22 Al término de las mediciones se despliega una ventana en el que se debe introducir datos de: matrícula del vehículo, nombre de probador y comentarios si los hubiere.

A screenshot of a software window titled "Entrar informaciones". The window contains several input fields: "Tipo de vehículo" with the value "Porsche 996 Turbo", "Matrícula" with "Oa AA 111", "Probador" with "Pleinies", and "Comentario" with "5. Gang". There are also several empty text boxes below the comment field. The window has a standard Windows-style title bar and a taskbar at the bottom showing the "Completado" icon.

CONTINÚA 

23 Esperar de 10 a 15 minutos a que la temperatura normal de funcionamiento del motor se establezca completamente.



24 Volver a realizar el ensayo el número de repeticiones necesarias desde el punto 11 del procedimiento.



25 Al finalizar todas las mediciones, se deberá apagar el motor del vehículo y retirar los accesorios del LPS (ventilador de refrigeración, sistema de extracción de gases, sensor de temperatura).



26 Retirar las correas de sujeción del vehículo.



CONTINÚA 

27

Subir el sistema de elevación y retirar el vehículo.



3.4.3 Consumo de Combustible

El consumo de combustible es uno de los parámetros más importantes de un motor de combustión interna, debido a que entrega notorios resultados para los usuarios y una disminución en el consumo de derivados del petróleo.

a) Protocolo IM 240

El consumo se evidencia por la cantidad de gasolina que el motor combustiona durante una de ruta pre establecida, donde al vehículo se somete a variaciones máximas y mínimas de aceleración y velocidad, simulando la conducta o patrón de manejo en el transito urbano y en carretera. El ciclo IM240 es un fragmento del ciclo FTP-75 que corresponde a un ensayo dinámico determinado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA), su duración es de 240 segundos que corresponde a seguir la frecuencia de conducción trazada.

El ciclo de este protocolo se lo realizar en un dinamómetro, el mismo se indica en la figura 38.

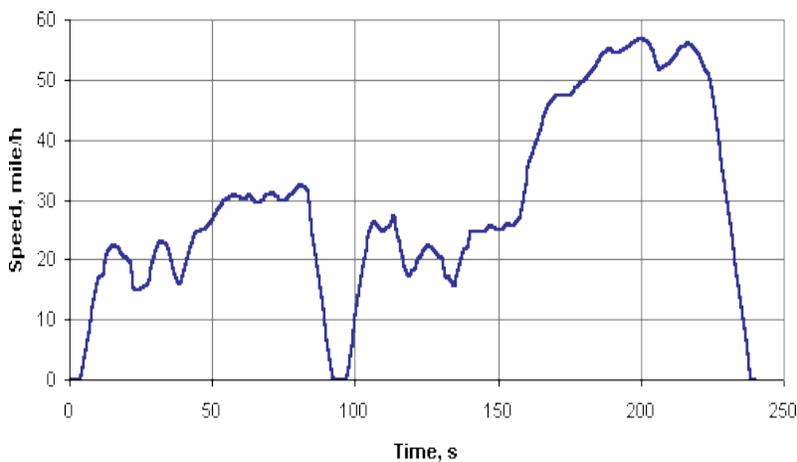


Figura 36. Línea de conducción del protocolo IM240
(Dieselnet, 1997)

3.4.4 Procedimiento de pruebas

Para el desarrollo del ensayo de consumo se sigue el procedimiento que se describe a continuación:

Ord	Procedimiento	Imagen
-----	---------------	--------

1 Asentar las ruedas motrices del automóvil sobre los rodillos del dinamómetro de forma simétrica en dirección de conducción supervisando que el vehículo quede equidistante.



2 Inmovilizar al vehículo en el dinamómetro por medio de correas de sujeción tensionadas a partes fijas del automóvil como las mesas. De manera que al correr a las ruedas motrices en los rodillos este no se deslice en ninguna dirección.



3 Instalar la termocupla del equipo para registrar la temperatura de aceite en lugar de la varilla indicadora del nivel de aceite del motor.



4 Colocar el extractor de gases contaminantes en la salida del tubo de escape del motor.



CONTINÚA 

5 Ubicar el ventilador de aire refrigerante del equipo frente al radiador del automóvil, para luego encenderlo y utilizarlo en el ciclo del ensayo.



6 Conectar el bloque de los sensores exteriores del equipo que entregan información para poder determinar el estado del motor en las mediciones.



7 Ensamblar el tanque de presión de combustible (limpiador de inyectores) en las tomas de ingreso y retorno de gasolina del motor (si fuera necesario), este equipo debe instalarse sometido a una presión similar a la del funcionamiento de la bomba de combustible, que en la muestra general de vehículos de prueba es

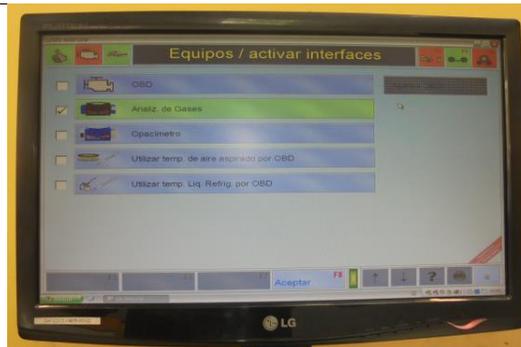


CONTINÚA 

de 50 PSI. Además se debe llenar este recipiente con cinco litros de gasolina, que al finalizar la prueba serán medidos, y la diferencia entre el combustible gastado y la base de cinco litros, será la cantidad de combustible consumida por el automotor.

8

Activar el analizador de gases en el equipo LPS 3000.



9

Seleccionar y cargar el ciclo de ruta IM-240 en el equipo LPS 3000.



10

Antes de iniciar la medición de gases, llevar el motor a la temperatura normal de funcionamiento de 94 °C.



CONTINÚA



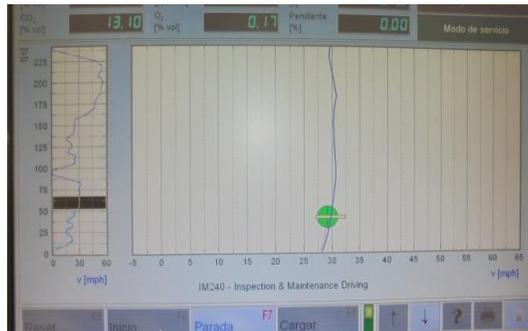
11

Dar inicio al ciclo IM-240 en el equipo LPS 3000.



12

Conducir el vehículo siguiendo la ruta preestablecida por el equipo, procurando estar dentro de la zona de tolerancia de la prueba y evitar que esta sea cancelada por el equipo.



13

Medir y registrar la cantidad de combustible consumido en el tanque de presión.



14

Repetir el procedimiento anterior dos veces más. Desinstalar los equipos.



3.4.5 Emisiones estáticas

Las emisiones estáticas son las que se miden como indica su nombre sin necesidad de que el vehículo este realizando un recorrido, teniendo como referencia valores en rpm mínimas.

a) Norma NTE 2203:2000

Según la Norma Técnica Ecuatoriana indicada el INEN en el año 2000 establece un método de prueba para estipular la concentración de las emisiones gaseosas resultantes del motor de vehículos de encendido por chispa, en condiciones de marcha mínima o "ralentí", que aplica para móviles alimentados con gasolina. (Instituto ecuatoriano de normalización, 2000, p. 2)

Los equipos utilizados para la medición de los parámetros bajo este método obedecen al principio de absorción de luz infrarroja no dispersa de gases, tales como el analizador de gases MGT5 4/5.

El método exige verificaciones específicas para la realización de la prueba en el equipo y el vehículo, presentada en la tabla 23.

Tabla 23

Verificaciones para la realización del ensayo

En el equipo de medición	En el vehículo
Precalentar y estabilizar el equipo a las condiciones	Revisar que el automóvil esté en neutro o parqueo según el tipo de

CONTINÚA 

naturales de funcionamiento especificadas por el fabricante.	transmisión.
Verificar que la sonda de prueba no se encuentre con partículas o sustancias extrañas o limpiar la sonda de pruebas.	El control manual del ahogador este deshabilitado, y que los accesorios del vehículo (luces, A/C, radio, etc) se encuentren apagados o suspendidos.
	El sistema de escape se debe encontrar en buenas condiciones sin salidas adicionales a las de fábrica.
	Con el vehículo apagado verificar el nivel de aceite que se encuentre entre mínimo y máximo
	Que el motor se encuentre a la temperatura normal de funcionamiento al encenderlo.

(Instituto ecuatoriano de normalización, 2000)

3.4.6 Procedimiento y tiempos de pruebas estáticas

En la siguiente tabla 24 se detalla los pasos para poder ejecutar de manera óptima la medición por sonda de las emisiones estáticas que emite el motor de combustión interna en una condición mínima de trabajo, ralentí.

Tabla 24

Procedimiento para medición de la prueba de emisiones estáticas

Ord.	Procedimiento	Imagen
1	Posicionar el vehículo en el área de prueba de forma que quede expuesto el tubo de escape del vehículo.	
2	Inmovilizar el vehículo por medio de correas de tensión sujetas a partes fijas del automotor como las mesas, el gancho de remolque o al eje trasero	

CONTINÚA 

- 3 Colocar la sonda de temperatura de aceite del equipo en lugar de la varilla indicadora del nivel de lubricante del motor.



- 4 Conectar el interfaz de los sensores exteriores del equipo que entregan información para poder determinar el estado del motor en las mediciones.

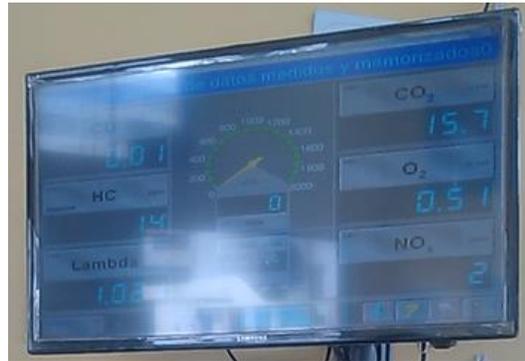


- 5 Antes de iniciar la medición, llevar el motor a la temperatura normal de funcionamiento de 94 °C.



CONTINÚA 

- 6 Conectar el tacómetro del equipo de medición al sistema de encendido del motor y verificar las condiciones de marcha mínima o "ralenti".



- 7 Con el motor a temperatura normal de operación y en condición de marcha mínima o "ralenti", introducir la sonda de prueba en el punto de salida del sistema de escape del vehículo. Tener la seguridad de que la sonda permanezca fija dentro del sistema de escape mientras dure la prueba.



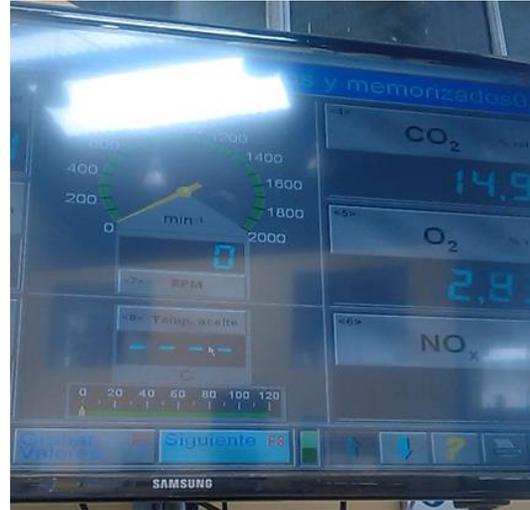
- 8 Esperar el tiempo de respuesta del equipo de medición dado por cada fabricante.



CONTINÚA 

9

Imprimir las lecturas estabilizadas de las emisiones medidas.



10

Si, por diseño, el vehículo tiene doble sistema de escape, medir por separado cada salida. El valor del resultado final será la mayor lectura registrada.



11

El resultado final será la mayor lectura registrada de los valores de las lecturas obtenidas en el numeral

Glosario del capítulo

- **CO:** Gas parte de las emisiones del motor de combustión interna, monóxido de carbono
- **CO₂:** Gas parte de las emisiones del motor de combustión interna, dióxido de carbono
- **HC:** Gas parte de las emisiones del motor de combustión interna, hidrocarburos
- **O₂:** Gas parte de las emisiones del motor de combustión interna, oxígeno.
- **Lambda:** designa la proporción aire / combustible (en peso) en forma de mezcla que entra al cilindro de un motor de ciclo Otto.

Conclusiones del capítulo

- Se citó las características de cada uno de los equipos de medición que permitieron la toma de medidas de los diferentes parámetros de desempeño del motor de combustión interna.
- Se tabuló las principales características técnicas de los vehículos y los motores que fueron sometidos a los ensayos.
- Se describió en el capítulo las normas utilizadas para la realización de cada uno de los ensayos a realizarse en el motor, así como las consideraciones que se deben tomar en el motor y sus sistemas.
- Se detalló además el procedimiento que se realizó paso a paso para la ejecución de cada ensayo, torque-potencia, consumo de combustible y de emisiones estáticas.

CAPÍTULO IV

En este capítulo se realiza el registro y el análisis estadístico y comparativo de los datos arrojados de los ensayos de torque, potencia, consumo y emisiones estáticas realizados a los motores Mazda 2.0 convencional y con tecnología Skyactiv-g, así como también se desarrolla la matematización de los parámetros característicos de los motores analizados en la investigación.

MATEMATIZACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

La matematización se basó en principios termodinámicos de los ciclos ideales de los motores investigados, así como en valores ambientales medidos por sensores de bancos. El desarrollo del análisis de los datos tomados de los diferentes ensayos es reflejado por medios estadísticos a fin de apreciar con facilidad la diferencia de resultados entre los motores.

4. Registro de Mediciones

4.1 Torque y potencia

De los ensayos realizados en el dinamómetro de chasis del CCICEV (centro de transferencia tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares) se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a torque y potencia medido.

El ensayo se ejecutó se realizó en la ciudad de Quito a 2800 metros sobre el nivel del mar con una presión atmosférica de 734,1 hPa. Los resultados obtenidos son los parámetros característicos del motor del vehículo Mazda 3.

Tabla 25

Prueba No. 1 torque y potencia motor convencional

n [rpm]	v [mph]	P_{Rueda} [HP]	P_{Mot} [HP]	P_{Normal} [HP]	M_{Normal} [lbf.ft]
1600	32,0	15,0	20,5	30,4	99,7
1700	34,0	15,2	21,3	31,5	97,3
1800	36,0	15,5	21,9	32,5	94,9
1900	38,0	15,6	22,4	33,2	91,8
2000	40,0	15,7	22,9	24,0	89,3
2100	42,0	15,8	23,6	35,0	87,4
2200	44,1	16,0	24,2	35,9	85,8
2300	46,1	15,9	24,7	36,6	83,5
2400	48,1	15,9	25,2	37,4	81,8
2500	50,1	15,9	25,8	38,2	80,2
2600	52,1	16,0	26,3	39,0	78,8
2700	54,1	16,3	27,2	40,3	78,5
2800	56,1	16,7	28,3	42,0	78,8
2900	58,1	17,1	29,3	43,5	78,7
3000	60,1	17,5	30,3	44,9	78,7
3100	62,1	17,7	31,3	46,4	78,6
3200	64,1	17,8	32,0	47,5	78,0
3300	66,1	17,8	32,7	48,5	77,2
3400	68,1	17,9	33,5	49,7	76,8
3500	70,1	17,9	34,3	50,9	76,4
3600	72,1	18,0	34,9	51,8	75,5
3700	74,1	18,1	35,8	53,1	75,3
3800	76,1	18,1	36,8	54,6	75,4
3900	78,1	18,2	37,8	56,0	75,4
4000	80,1	18,7	39,2	58,1	76,3
4100	82,1	19,5	41,0	60,8	77,9
4200	84,1	20,1	42,5	63,1	78,9

CONTINÚA 

4300	86,1	20,1	43,7	64,7	79,1
4400	88,1	20,3	44,8	66,4	79,3
4500	90,1	20,6	46,2	68,5	80,0
4600	92,1	21,1	48,0	71,1	81,2
4700	94,1	21,7	49,8	73,8	82,5
4800	96,1	22,4	51,8	76,9	84,1
4900	98,1	23,0	53,6	79,5	85,2
5000	100,1	23,5	55,8	82,7	86,8
5100	102,1	24,3	58,0	85,9	88,5
5200	104,1	24,5	60,0	88,9	89,8
5300	106,1	24,5	61,8	91,6	90,8
5400	108,1	24,0	62,6	92,8	90,2
5500	110,1	23,7	63,1	93,5	89,3
5600	112,1	23,5	63,9	94,7	88,8
5700	114,1	22,6	64,7	95,9	88,4
5800	116,1	22,0	65,9	97,6	88,4
5900	118,1	21,3	67,0	99,4	88,5
6000	120,1	21,2	68,8	102,0	89,3

valor máximo

valor mínimo

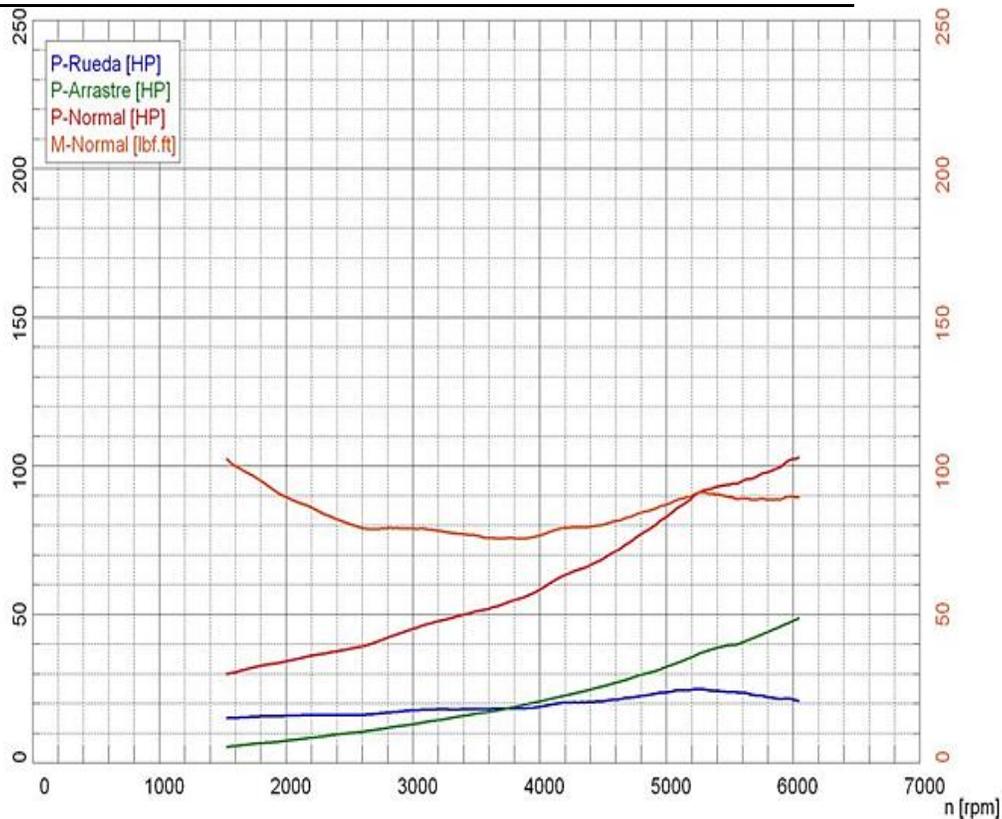


Figura 37. Resultados de la prueba No. 1 de torque y potencia motor sin Skyactiv-g

Valores de potencia			Valores del ambiente		
Potencia normal ¹⁾	P_{Normal}	102,6 HP / 76,5 kW	Temperat. ambiente	$T_{Ambiente}$	74,7 F
Potencia motor	P_{Mot}	69,2 HP / 51,6 kW	Temperat. aire aspirado	$T_{Aire\ aspirado}$	92,1 F
Potencia ruedas	P_{Rueda}	20,6 HP / 15,4 kW	Humedad relativa del aire	H_{Aire}	37,5 %
Potencia arrastre	$P_{Arrastre}$	48,6 HP / 36,2 kW	Presión del aire	p_{Aire}	734,1 hPa
Potencia máx.		6050 rpm / 121,1 mph	Presión del vapor	p_{Vapor}	11,0 hPa
Par ¹⁾	M_{Normal}	102,4 lbf.ft	Temperat. del aceite	T_{Aceite}	212,0 F
Par máx.		1520 rpm / 30,6 mph	Temperat. carburante	$T_{Carburante}$	---- F
RPM máx. alcanzado		6045 rpm / 121,1 mph			

¹⁾ Corrección según SAE J 1349

Figura 38. Resultados de la prueba No. 1 de torque y potencia motor sin Skyactiv-g

En la figura 37 la medición en el banco de pruebas arranca con una temperatura ambiente de 23,72 °C y con una presión atmosférica de 73410 Pa, los parámetros empiezan a ser registrados a 1500 rpm, teniendo al inicio de la curva de potencia el menor valor correspondiente a 30HP, a 4000 revoluciones (medias) se duplica al doble siendo 60 HP y a 6000 rpm alcanza un valor máximo de 102,6 HP. La curva de torque alcanza su mayor valor de 138,84 Nm (102,4 lbf.ft) a 5150 rpm aproximadamente.

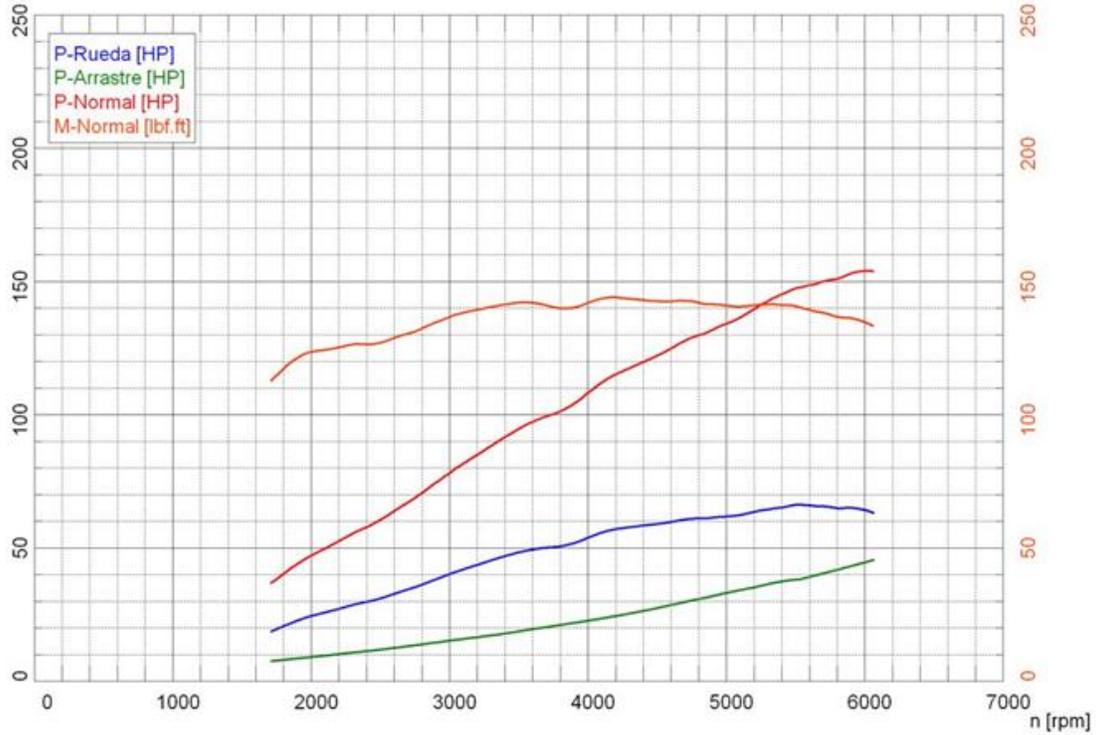
Tabla 26

Prueba No. 1 torque y potencia motor Skyactiv-g

n	v	P_{Rueda}	P_{Mot}	P_{Normal}	M_{Normal}
[rpm]	[mph]	[HP]	[HP]	[HP]	[lbf.ft]
1800	32,3	20,5	28,3	40,1	117,0
1900	34,1	22,6	30,9	43,8	121,1
2000	35,8	24,3	33,2	47,0	123,3
2100	37,6	25,6	35,0	49,6	124,1
2200	39,4	27,0	37,0	52,4	125,0
2300	41,2	28,4	39,0	55,2	126,1
2400	43,0	29,6	40,7	57,6	126,1
2500	44,8	30,9	42,6	60,3	126,8
2600	46,6	32,6	44,9	63,7	128,6

CONTINÚA 

2700	48,4	34,3	47,2	66,9	130,2
2800	50,2	36,1	49,7	70,5	132,1
2900	52,0	38,1	52,4	74,2	134,4
3000	53,8	40,0	55,0	77,9	136,5
3100	55,6	41,8	57,5	81,5	138,0
3200	57,4	43,5	59,8	84,8	139,1
3300	59,2	45,2	62,2	88,1	140,2
3400	60,9	46,8	64,5	91,4	141,1
3500	62,7	48,2	66,7	94,5	141,8
3600	64,5	49,2	68,6	97,1	141,7
3700	66,3	49,9	70,0	99,2	140,8
3800	68,1	50,4	71,3	101,1	139,7
3900	69,9	51,7	73,4	104,0	140,0
4000	71,7	53,7	76,2	108,0	141,8
4100	73,5	55,6	79,0	111,9	143,3
4200	75,3	56,9	81,1	115,0	143,7
4300	77,1	57,6	82,8	117,3	143,3
4400	78,9	58,2	84,4	119,6	142,8
4500	80,7	58,8	86,1	122,0	142,4
4600	82,4	59,5	88,0	124,6	142,3
4700	84,2	60,4	90,0	127,5	142,5
4800	86,0	60,8	91,4	129,6	141,8
4900	87,8	61,2	92,9	131,7	141,1
5000	89,6	61,6	94,5	133,9	140,7
5100	91,4	62,1	96,1	136,3	140,3
5200	93,2	63,3	98,4	139,4	140,8
5300	95,0	64,3	100,5	142,4	141,1
5400	96,8	65,0	102,3	144,9	141,0
5500	98,6	66,0	108,9	147,2	140,6
5600	100,4	65,7	104,7	148,3	139,1
5700	102,2	65,3	105,7	149,8	138,0
5800	104,0	64,8	106,4	150,7	136,5
5900	105,7	64,8	107,8	152,8	136,0
6000	107,5	64,0	108,4	153,7	134,5
	valor máximo		valor mínimo		



Valores de potencia		Valores del ambiente	
Potencia normal ¹⁾	P_{Normal} 153,7 HP / 114,6 kW	Temperat. ambiente	$T_{Ambiente}$ 59,4 F
Potencia motor	P_{Mot} 108,5 HP / 80,9 kW	Temperat. aire aspirado	$T_{Aire\ aspirado}$ 54,7 F
Potencia ruedas	P_{Rueda} 63,7 HP / 47,5 kW	Humedad relativa del aire	H_{Aire} 77,5 %
Potencia arrastre	$P_{Arrastre}$ 44,7 HP / 33,4 kW	Presión del aire	p_{Aire} 738,2 hPa
Potencia máx.	6020 rpm / 107,9 mph	Presión del vapor	p_{Vapor} 13,4 hPa
Par ¹⁾	M_{Normal} 143,8 lbf.ft	Temperat. del aceite	T_{Aceite} 208,4 F
Par máx.	4185 rpm / 75,0 mph	Temperat. carburante	$T_{Carburante}$ --- F
RPM máx. alcanzado	6065 rpm / 108,7 mph		
¹⁾ Corrección según SAE J 1349			

Figura 39. Resultados de la prueba No. 1 de torque y potencia motor Skyactiv-g

En la figura 39 la medición en el dinamómetro arranca con una temperatura ambiente de 15,22 °C y con una presión atmosférica de 73820 Pa, los parámetros empiezan a ser registrados a 1700 rpm, teniendo al inicio de la curva de potencia el menor valor correspondiente a 37HP, a 3800 revoluciones (medias) aumenta a 100 HP y a 6000 rpm alcanza un valor máximo de 153,7 HP. La curva de torque alcanza su mayor valor de 194,96 Nm (143,8 lbf.ft) a 4200 rpm aproximadamente.

En la figura 39 como en la 40 se presentan los resultados de mediciones del ensayo N°1 de torque y potencia efectuadas en el vehículo Mazda 3 convencional y con sistema Skyactiv-g. Se observa que las curvas generadas por los motores muestran una diferencia en su valor por lo cual se tiene como valores máximos en torque y potencia en el motor con tecnología Skyactiv-g.

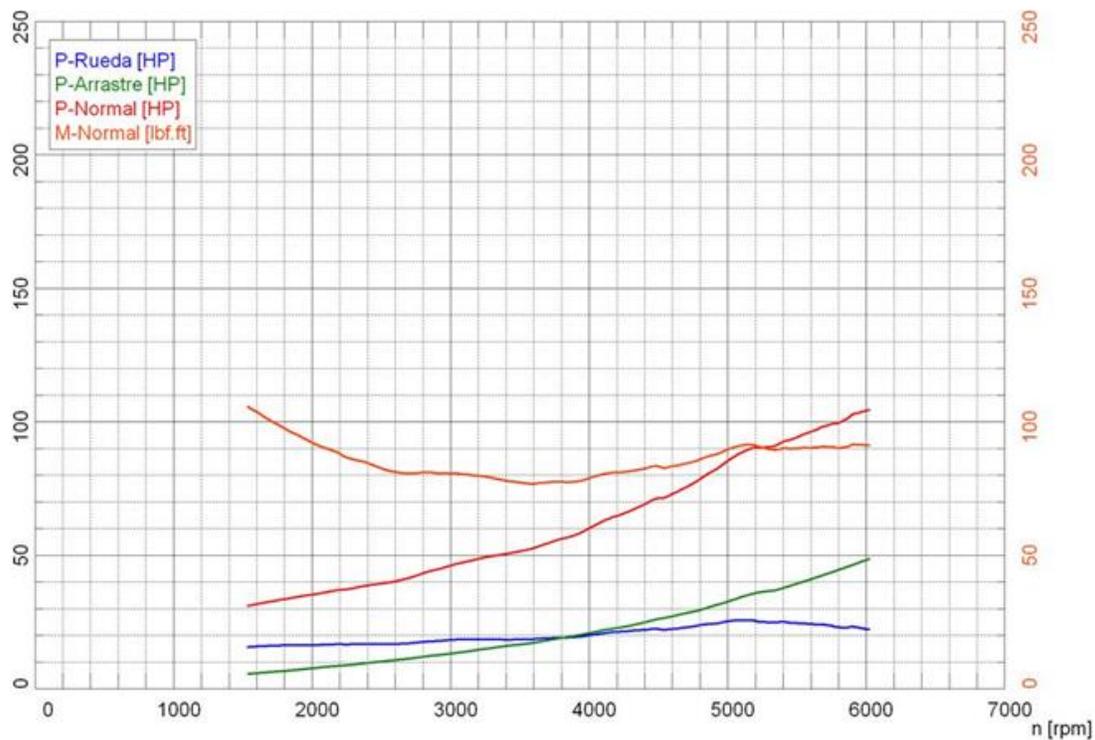
Tabla 27

Prueba No. 2 torque y potencia motor convencional

n [rpm]	v [mph]	P_{Rueda} [HP]	P_{Mot} [HP]	P_{Normal} [HP]	M_{Normal} [lbf.ft]
1600	32,0	15,6	21,3	31,5	103,5
1700	34,0	15,9	21,9	32,4	100,2
1800	36,0	16,1	22,6	33,4	97,4
1900	38,0	16,2	23,2	34,3	94,7
2000	40,0	16,2	23,7	35,1	92,1
2100	42,0	16,3	24,3	36,0	89,9
2200	44,1	16,4	24,9	36,8	87,8
2300	46,1	16,5	25,3	37,5	85,6
2400	48,1	16,6	26,0	38,5	84,3
2500	50,1	16,5	26,5	39,2	82,4
2600	52,1	16,5	27,1	40,1	81,0
2700	54,1	16,8	27,9	41,4	80,4
2800	56,1	17,3	29,1	43,1	80,8
2900	58,1	17,7	30,0	44,5	80,5
3000	60,1	18,1	31,1	46,0	80,5

CONTINÚA 

3100	62,1	18,3	31,9	47,3	80,1
3200	64,1	18,4	32,8	48,5	79,6
3300	66,1	18,3	33,5	49,5	78,8
3400	68,1	18,2	34,0	50,3	77,8
3500	70,1	18,3	34,7	51,3	77,0
3600	72,1	18,4	35,5	53,5	76,5
3700	74,1	18,7	36,7	54,3	77,1
3800	76,1	19,0	37,8	56,0	77,3
3900	78,1	19,2	38,8	57,5	77,4
4000	80,1	19,8	40,5	59,9	78,7
4100	82,1	20,6	42,3	62,6	80,2
4200	84,1	21,1	43,7	64,6	80,8
4300	86,1	21,5	45,0	66,6	81,3
4400	88,1	21,9	46,6	68,9	82,2
4500	90,1	22,2	48,1	71,2	83,1
4600	92,1	22,2	49,2	72,8	83,2
4700	94,1	22,8	50,9	75,3	84,2
4800	96,1	23,6	53,0	78,3	85,7
4900	98,1	24,2	55,1	81,6	87,4
5000	100,1	25,1	57,6	85,2	89,5
5100	102,1	25,4	59,7	88,3	90,9
5200	104,1	25,2	60,9	90,1	91,0
5300	106,1	24,6	61,0	90,3	89,5
5400	108,1	24,8	62,4	92,4	89,8
5500	110,1	24,4	63,6	94,0	89,8
5600	112,1	24,0	64,9	96,0	90,1
5700	114,1	23,8	66,4	98,2	90,5
5800	116,1	22,8	67,2	99,4	90,0
5900	118,1	23,1	69,3	102,5	91,3
6000	120,1	22,1	70,2	103,9	91,0
	valor máximo		valor mínimo		



Valores de potencia		Valores del ambiente	
Potencia normal ¹⁾	P_{Normal} 104,3 HP / 77,8 kW	Temperat. ambiente	$T_{Ambiente}$ 74,8 F
Potencia motor	P_{Mot} 70,5 HP / 52,6 kW	Temperat. aire aspirado	$T_{Aire\ aspirado}$ 90,3 F
Potencia ruedas	P_{Rueda} 22,0 HP / 16,4 kW	Humedad relativa del aire	H_{Aire} 37,4 %
Potencia arrastre	$P_{Arrastre}$ 48,5 HP / 36,2 kW	Presión del aire	P_{Aire} 734,1 hPa
Potencia máx.	6025 rpm / 120,6 mph	Presión del vapor	P_{Vapor} 11,0 hPa
Par ¹⁾	M_{Normal} 105,7 lbf.ft	Temperat. del aceite	T_{Aceite} 208,4 F
Par máx.	1525 rpm / 30,7 mph	Temperat. carburante	$T_{Carburante}$ ----, - F
RPM máx. alcanzado	6020 rpm / 120,6 mph		
¹⁾ Corrección según SAE J 1349			
Factor de corrección: $Q_v = -0,00\%$			

Figura 40. Resultados de la prueba No. 2 de torque y potencia motor convencional

En la figura 40 la medición en el banco de pruebas arranca con una temperatura ambiente de 23.78 °K y con una presión atmosférica de 73410 Pa, los parámetros empiezan a ser registrados a 1500 rpm, teniendo al inicio de la curva de potencia el menor valor correspondiente a 32HP, a 4000 revoluciones (medias) crece a 60 HP y a 6000 rpm alcanza un valor máximo de 104,3 HP. La curva de torque alcanza su mayor valor de 194,96 Nm (105,7 lbf.ft) a 1500 rpm aproximadamente.

Tabla 28*Prueba No. 2 torque y potencia motor Skyactiv-g*

n	v	P_{Rueda}	P_{Mot}	P_{Normal}	M_{Normal}
[rpm]	[mph]	[HP]	[HP]	[HP]	[lbf.ft]
1800	32,3	20,3	27,8	39,5	115,3
1900	34,1	22,6	30,6	43,5	120,2
2000	35,8	24,9	33,4	47,3	124,4
2100	37,6	26,6	35,6	50,5	126,3
2200	39,4	27,9	37,4	53,1	126,7
2300	41,2	29,2	39,3	55,8	,5
2400	43,0	30,2	40,9	58,1	127,1
2500	44,8	31,7	43,0	61,0	128,2
2600	46,6	33,8	45,6	64,8	130,8
2700	48,4	35,7	48,1	68,4	133,0
2800	50,2	37,8	50,8	72,2	135,4
2900	52,0	39,8	53,4	75,9	137,4
3000	53,8	41,6	55,8	79,3	138,8
3100	55,6	43,3	58,2	82,7	140,2
3200	57,4	45,0	60,6	86,1	141,4
3300	59,2	46,8	63,2	89,8	142,9
3400	60,9	48,3	65,4	92,9	143,5
3500	62,7	49,6	67,4	95,7	143,6
3600	64,5	50,7	69,2	98,3	143,3
3700	66,3	51,2	70,5	100,2	142,2
3800	68,1	51,8	71,9	102,1	141,0
3900	69,9	52,9	73,7	104,6	140,9
4000	71,7	55,0	76,5	108,7	142,7
4100	73,5	57,1	79,5	112,9	144,7
4200	75,3	58,5	81,7	116,1	145,1
4300	77,1	59,1	83,3	118,3	144,4
4400	78,9	59,8	85,0	120,7	144,1
4500	80,7	60,3	86,5	122,8	143,3
4600	82,4	60,7	87,8	124,7	142,4
4700	84,2	61,7	89,7	127,4	142,4
4800	86,0	62,4	91,6	130,1	142,4
4900	87,8	63,6	93,0	132,1	141,6
5000	89,6	63,0	94,6	134,3	141,1
5100	91,4	63,6	96,2	136,6	140,6

CONTINÚA 

5200	93,2	64,6	98,1	139,4	140,8
5300	95,0	65,7	100,1	142,2	140,9
5400	96,8	66,4	101,5	144,1	140,2
5500	98,6	67,1	103,5	147,0	140,4
5600	100,4	67,8	105,5	149,8	140,5
5700	102,2	68,3	107,2	152,3	140,3
5800	104,0	67,7	107,9	153,3	138,8
5900	105,7	67,3	108,9	154,6	137,6
6000	107,5	66,3	109,3	155,3	135,9
	valor máximo		valor mínimo		

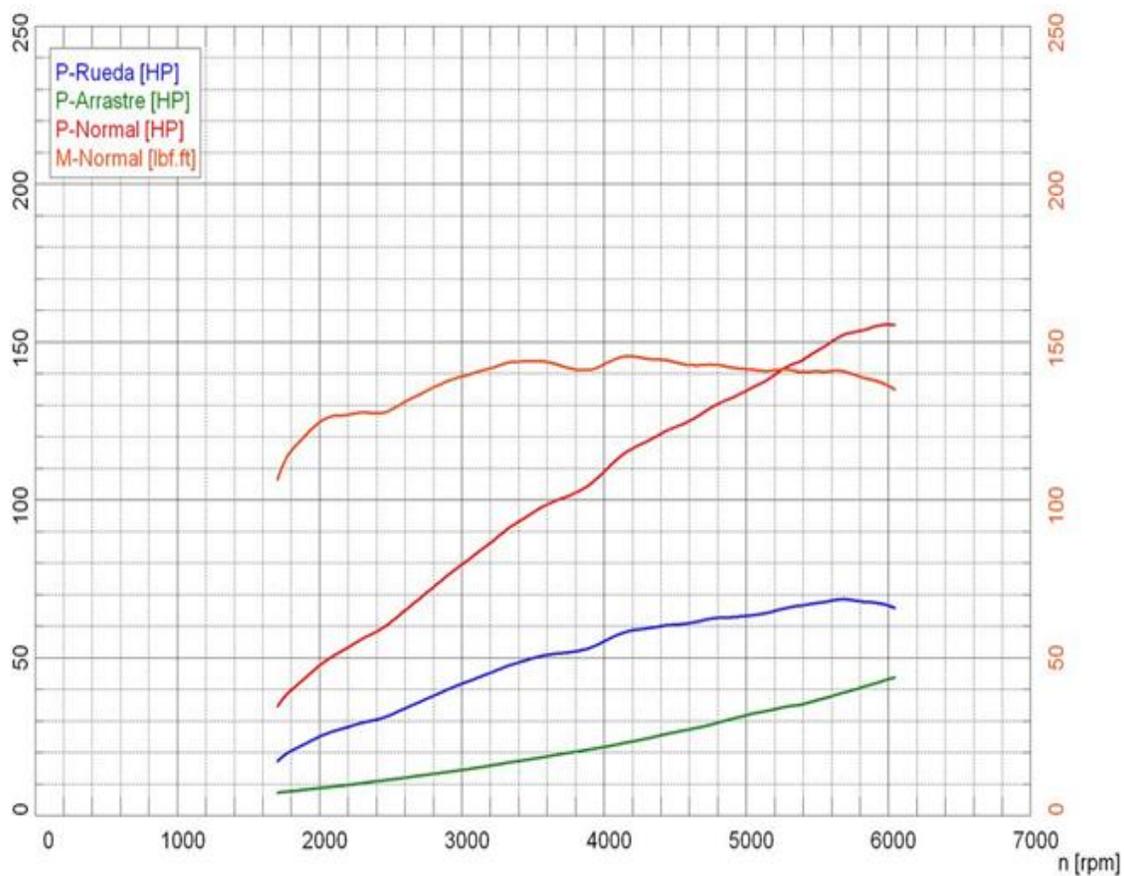


Figura 41. Gráfica de la prueba No. 2 de torque y potencia motor Skyactiv-g

Valores de potencia			Valores del ambiente		
Potencia normal ¹⁾	P _{Normal}	155,3 HP / 115,8 kW	Temperat. ambiente	T _{Ambiente}	61,2 F
Potencia motor	P _{Mot}	109,3 HP / 81,5 kW	Temperat. aire aspirado	T _{Aire aspirado}	56,3 F
Potencia ruedas	P _{Rueda}	66,4 HP / 49,5 kW	Humedad relativa del aire	H _{Aire}	73,4 %
Potencia arrastre	P _{Arrastre}	43,0 HP / 32,0 kW	Presión del aire	P _{Aire}	738,1 hPa
Potencia máx.		5995 rpm / 107,5 mph	Presión del vapor	P _{Vapor}	13,5 hPa
Par ¹⁾	M _{Normal}	145,2 lbf.ft	Temperat. del aceite	T _{Aceite}	208,4 F
Par máx.		4170 rpm / 74,7 mph	Temperat. carburante	T _{Carburante}	----, - F
RPM máx. alcanzado		6045 rpm / 108,4 mph			

¹⁾ Corrección según SAE J 1349

Figura 42. Resultados de la prueba No. 2 de torque y potencia motor Skyactiv-g

En la figura 41 la medición en el dinamómetro arranca con una temperatura ambiente de 16,22 °C y con una presión atmosférica de 73810 Pa, los parámetros empiezan a ser registrados a 1700 rpm, teniendo al inicio de la curva de potencia el menor valor correspondiente a 35HP, a 4000 revoluciones (medias) aumenta a 110 HP y a 6000 rpm alcanza un valor máximo de 155,3 HP. La curva de torque alcanza su mayor valor de 196,86 Nm (145,2 lbf.ft) a 4100 rpm aproximadamente.

Tanto en la figura 40 como en la 41 se presentan los resultados de medición del ensayo N°2 de torque y potencia efectuada en los vehículos Mazda 3 con Skyactiv-g y convencional. Se observa que la curva de torque en el vehículo convencional es convexa y en la medición con el motor Skyactiv.g es cóncava, tomando en cuenta las diferencias de valores máximos en torque y potencia presenta el motor con tecnología Skyactiv-g un mejor desempeño con respecto al convencional.

Tabla 29*Prueba No. 3 torque y potencia motor convencional*

n	v	P_{Rueda}	P_{Mot}	P_{Normal}	M_{Normal}
[rpm]	[mph]	[HP]	[HP]	[HP]	[lbf.ft]
1600	32,0	14,5	20,2	30,9	101,5
1700	34,0	15,1	21,3	32,5	100,4
1800	36,0	14,2	20,8	31,8	92,7
1900	38,0	13,5	20,6	31,5	87,0
2000	40,0	13,4	20,9	32,0	83,9
2100	42,0	13,5	21,5	32,9	82,3
2200	44,1	13,5	22,0	33,6	80,3
2300	46,1	13,3	22,3	34,1	77,9
2400	48,1	13,4	23,0	35,1	76,8
2500	50,1	13,7	23,8	36,3	76,3
2600	52,1	14,0	24,6	37,6	75,9
2700	54,1	14,4	25,7	39,2	76,3
2800	56,1	14,9	26,7	40,9	76,6
2900	58,1	15,1	27,5	42,1	76,2
3000	60,1	15,2	28,3	43,2	75,6
3100	62,1	15,1	28,8	44,1	74,7
3200	64,1	15,0	29,5	45,0	73,9
3300	66,1	15,0	30,3	46,2	73,6
3400	68,1	15,0	30,8	47,1	72,8
3500	70,1	14,6	31,2	47,6	71,5
3600	72,1	14,7	32,1	49,1	71,6
3700	74,1	14,9	33,1	50,6	71,8
3800	76,1	15,3	34,3	52,3	72,3
3900	78,1	15,5	35,5	54,2	73,0
4000	80,1	16,2	37,1	56,6	74,3
4100	82,1	17,2	39,0	59,5	76,2
4200	84,1	17,6	40,4	62,6	77,1
4300	86,1	18,0	41,9	63,9	78,0
4400	88,1	18,1	43,1	65,8	78,5
4500	90,1	18,2	44,3	67,5	78,8
4600	92,1	18,7	45,9	70,1	80,0
4700	94,1	19,7	48,1	73,3	82,0
4800	96,1	20,8	50,6	77,2	84,5
4900	98,1	21,3	52,3	79,9	85,6

CONTINÚA 

5000	100,1	22,5	55,1	84,1	88,4
5100	102,1	23,0	57,4	87,6	90,2
5200	104,1	23,6	59,6	90,9	91,8
5300	106,1	23,8	61,2	93,4	92,6
5400	108,1	22,9	61,7	94,1	91,5
5500	110,1	22,5	62,3	95,0	90,7
5600	112,1	21,6	63,0	96,1	90,1
5700	114,1	20,2	63,4	96,7	89,1
5800	116,1	19,5	64,4	98,3	89,0
5900	118,1	19,6	66,5	101,4	90,3
6000	120,1	19,1	67,9	103,6	90,6
	valor máximo		valor mínimo		

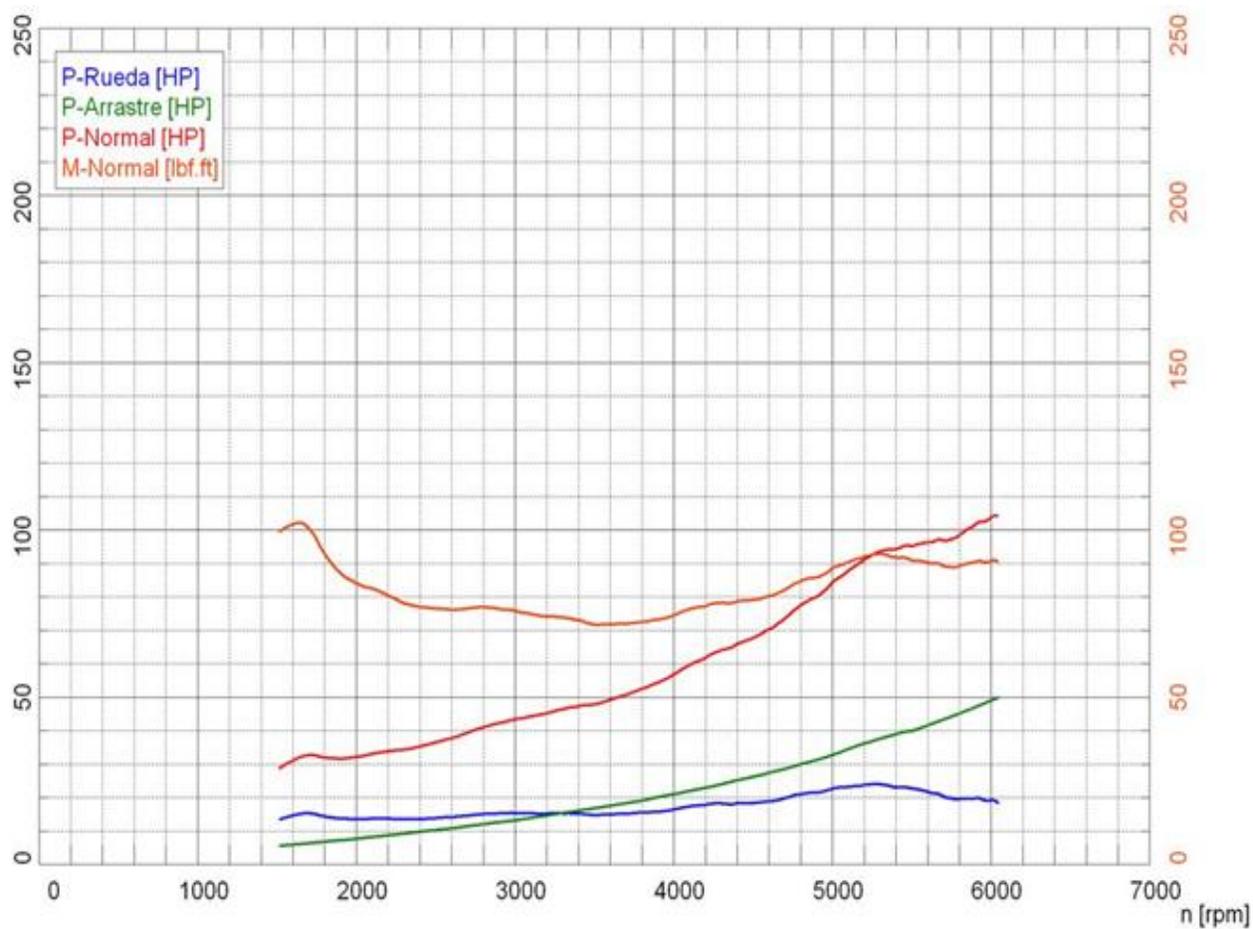


Figura 43. Mediciones prueba No. 3 de torque y potencia motor convencional

Valores de potencia		Valores del ambiente	
Potencia normal ¹⁾	P_{Normal} 104,1 HP / 77,6 kW	Temperat. ambiente	$T_{Ambiente}$ 75,9 F
Potencia motor	P_{Mot} 68,2 HP / 50,9 kW	Temperat. aire aspirado	$T_{Aire\ aspirado}$ 119,3 F
Potencia ruedas	P_{Rueda} 18,7 HP / 14,0 kW	Humedad relativa del aire	H_{Aire} 36,6 %
Potencia arrastre	$P_{Arrastre}$ 49,5 HP / 36,9 kW	Presión del aire	P_{Aire} 734,3 hPa
Potencia máx.	6035 rpm / 120,8 mph	Presión del vapor	P_{Vapor} 11,2 hPa
Par ¹⁾	M_{Normal} 101,9 lbf.ft	Temperat. del aceite	T_{Aceite} 174,2 F
Par máx.	1640 rpm / 32,8 mph	Temperat. carburante	$T_{Carburante}$ ----, F
RPM máx. alcanzado	6045 rpm / 121,1 mph		
¹⁾ Corrección según SAE J 1349			
Factor de corrección: $Q_v = 0,00\%$			

Figura 44. Mediciones de la prueba No. 3 de torque y potencia motor sin Skyactiv-g

En la figura 44 la medición en el banco de pruebas arranca con una temperatura ambiente de 296,87 °K y con una presión atmosférica de 73410 Pa, los parámetros empiezan a ser registrados a 1500 rpm, teniendo al inicio de la curva de potencia el menor valor correspondiente a 32HP, a 4000 revoluciones (medias) crece a 60 HP y a 6000 rpm alcanza un valor máximo de 104,3 HP. La curva de torque alcanza su mayor valor de 194,96 Nm (105,7 lbf.ft) a 1500 rpm aproximadamente.

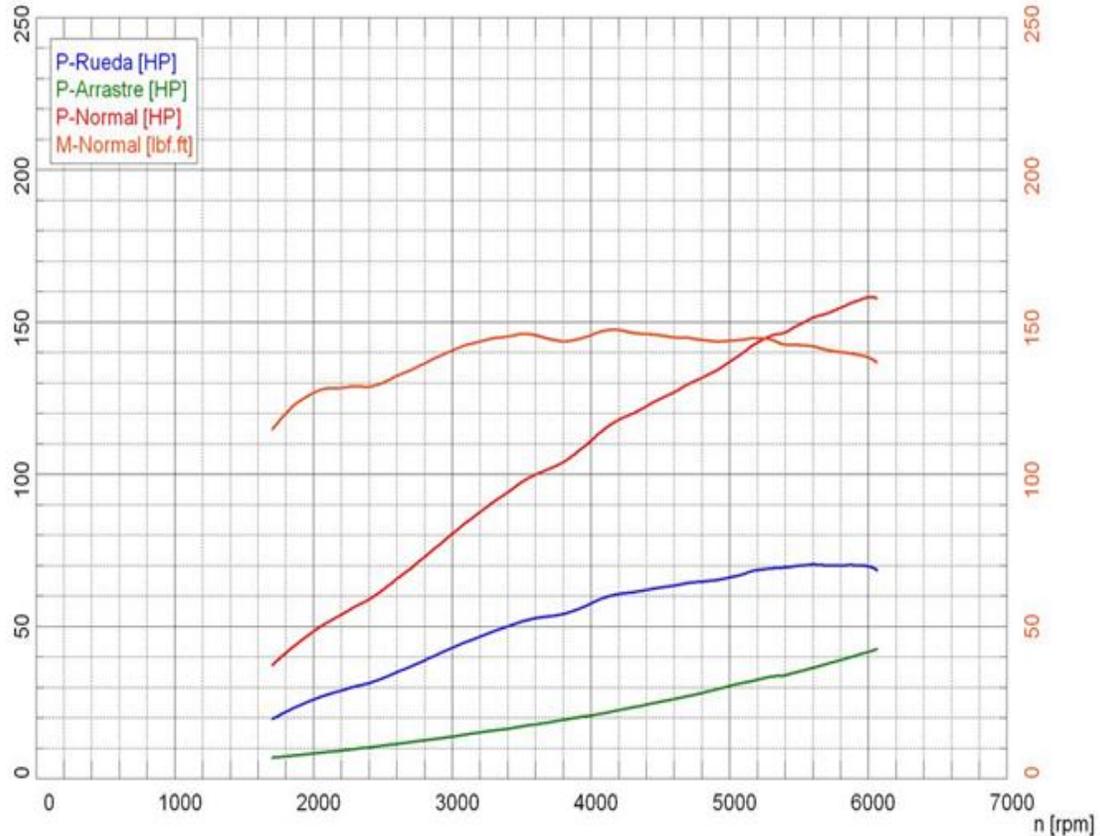
Tabla 30

Prueba No. 3 torque y potencia motor Skyactiv-g

n	v	P_{Rueda}	P_{Mot}	P_{Normal}	M_{Normal}
[rpm]	[mph]	[HP]	[HP]	[HP]	[lbf.ft]
1800	32,3	21,7	28,9	41,0	119,7
1900	34,1	23,9	31,5	44,8	123,8
2000	35,8	25,8	33,9	48,2	126,5
2100	37,6	27,4	36,0	51,1	127,9
2200	39,4	28,7	37,7	53,6	128,1
2300	41,2	30,1	39,6	56,3	128,6
2400	43,0	31,2	41,3	58,7	128,4
2500	44,8	32,8	43,5	61,8	129,8

CONTINÚA 

2600	46,6	34,8	46,0	65,4	132,1
2700	48,4	36,6	48,4	68,8	133,9
2800	50,2	38,7	51,1	72,6	136,2
2900	52,0	40,8	53,7	76,4	138,3
3000	53,8	42,8	56,4	80,2	140,4
3100	55,6	44,7	59,0	83,9	142,2
3200	57,4	46,4	61,4	87,3	143,3
3300	59,2	48,2	63,8	90,7	144,4
3400	60,9	49,8	66,0	93,8	144,9
3500	62,7	51,4	68,4	97,2	145,8
3600	64,5	52,5	70,1	99,7	145,4
3700	66,3	53,1	71,4	101,6	144,2
3800	68,1	53,9	73,0	103,8	143,4
3900	69,9	55,3	75,2	106,9	144,0
4000	71,7	57,4	77,9	110,8	145,4
4100	73,5	59,3	80,6	114,7	146,9
4200	75,3	60,4	82,8	117,7	147,1
4300	77,1	61,0	84,2	119,7	146,2
4400	78,9	61,7	85,9	122,1	145,7
4500	80,7	62,5	87,6	124,5	145,4
4600	82,4	63,2	89,1	126,7	144,7
4700	84,2	64,1	91,0	129,4	144,6
4800	86,0	64,5	92,4	131,4	143,8
4900	87,8	65,0	94,1	133,8	143,4
5000	89,6	65,9	96,1	136,7	143,6
5100	91,4	67,0	98,3	139,8	144,0
5200	93,2	68,3	100,6	143,0	144,5
5300	95,0	68,9	102,2	145,3	144,0
5400	96,8	69,1	102,9	146,3	142,3
5500	98,6	69,7	104,7	148,9	142,2
5600	100,4	70,1	106,3	151,2	141,8
5700	102,2	69,8	107,3	152,6	140,6
5800	104,0	69,8	108,6	154,4	139,8
5900	105,7	69,9	110,0	156,4	139,2
6000	107,5	69,5	111,0	157,8	138,2
	valor máximo		valor mínimo		



Valores de potencia		Valores del ambiente	
Potencia normal ¹⁾	P_{Normal} 157,9 HP / 117,7 kW	Temperat. ambiente	$T_{Ambiente}$ 62,4 F
Potencia motor	P_{Mot} 111,0 HP / 82,8 kW	Temperat. aire aspirado	$T_{Aire\ aspirado}$ 56,7 F
Potencia ruedas	P_{Rueda} 69,2 HP / 51,6 kW	Humedad relativa del aire	H_{Aire} 72,3 %
Potencia arrastre	$P_{Arrastre}$ 41,9 HP / 31,2 kW	Presión del aire	p_{Aire} 738,1 hPa
Potencia máx.	6025 rpm / 108,0 mph	Presión del vapor	p_{Vapor} 13,9 hPa
Par ¹⁾	M_{Normal} 147,2 lb.ft	Temperat. del aceite	T_{Aceite} 208,4 F
Par máx.	4165 rpm / 74,6 mph	Temperat. carburante	$T_{Carburante}$ ---- F
RPM máx. alcanzado	6065 rpm / 108,7 mph		

¹⁾ Corrección según SAE J 1349

Figura 45. Resultados de la prueba No. 3 de torque y potencia motor Skyactiv-g

En la figura 45 la medición en el dinamómetro arranca con una temperatura ambiente de 290,04°K y con una presión atmosférica de 73810 Pa, los parámetros empiezan a ser registrados a 1700 rpm, teniendo al inicio de la curva de potencia el menor valor correspondiente a 37HP, a 4000 revoluciones (medias) aumenta a 110 HP y a 6000 rpm

alcanza un valor máximo de 157,9 HP. La curva de torque alcanza su mayor valor de 199,58 Nm (147,2 lbf.ft) a 4100 rpm aproximadamente.

En la figura 43 y 45 correspondiente a toma de medidas del ensayo No. 3 se observa un valor máximo en la potencia con el motor Skyactiv-g así como con el torque. Se logra ver una tendencia marcada en los límites de las curvas medidas en pruebas de los dos motores, siendo siempre el que presenta un mejor desempeño mecánico y térmico el motor con tecnología Skyactiv-g.

Con los ensayos ejecutados y los valores obtenidos se realizó dos tablas estadísticas del comportamiento de los motores de los vehículos Mazda 3 tomando los resultados promedios de torque y potencia, lo que nos permite desarrollar los cálculos pertinentes en cuanto al desempeño térmico del motor.

En la tabla 31 y 32 se registra el valor máximo medido en el dinamómetro de potencia y torque de las tres pruebas realizadas a los vehículos MAZDA 3 convencional y con sistema SKYACTIV-G

Tabla 31

Resultados de la medición de torque y potencia del vehículo MAZDA 3 sin Skyactiv-g

RESULTADOS DEL DINAMÓMETRO DE CHASIS - TORQUE Y POTENCIA				
Parámetros	POTENCIA		TORQUE	
	kw	rpm	Nm	Rmp
PRUEBA 1	76,5	6050	138,84	1520
PRUEBA 2	77,8	6025	143,31	1525
PRUEBA 3	77,6	6035	138,16	1640

CONTINÚA 

Valor máximo	77,80	143,31
Valor mínimo	76,50	138,16
Media	77,30	140,10
Error típico	0,40	1,62
Mediana	77,60	138,84
Moda	77,80	77,80
Rango	1,30	5,15
Promedio	77,30	140,10

Tabla 32

Resultados de la medición de torque y potencia del vehículo MAZDA 3 Skyactiv-g

RESULTADOS DEL DINAMÓMETRO DE CHASIS - TORQUE Y POTENCIA				
Parámetros	POTENCIA		TORQUE	
	kw	rpm	Nm	Rmp
PRUEBA 1	114,6	6020	194,97	4185
PRUEBA 2	115,8	5995	196,86	4170
PRUEBA 3	117,7	6025	199,58	4165
Valor máximo	117,70		199,58	
Valor mínimo	114,60		194,97	
Media	116,03		197,14	
Error típico	0,90		1,34	
Mediana	115,80		196,86	
Moda	77,80		77,80	
Rango	3,10		4,61	
Promedio	116,03		197,14	

Tabla 33

Resultados del ensayo de torque y potencia en los motores Mazda 3

Medición del ensayo torque y potencia		
Parámetro	Torque [Nm]	Potencia [kW]
Convencional	140,1	77,3
Skyactiv-g	197,14	116,03
Porcentaje de variación	28,93%	33,38%

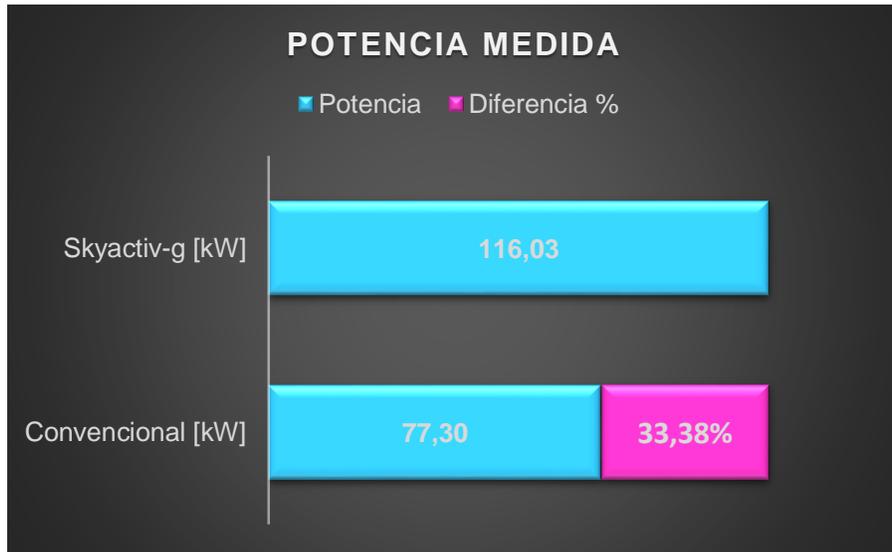


Figura 46. Resumen estadístico de la potencia del motor Mazda 2.0 convencional y con Skyactiv-g

La figura 46 presenta el valor de trabajo que se generó en el motor de combustión interna gasolina de los vehículos Mazda 3, con el sistema Skyactiv-g se presenta un buen desempeño de potencia con un aumento de 33,38 % con respecto al motor 2.0 convencional.

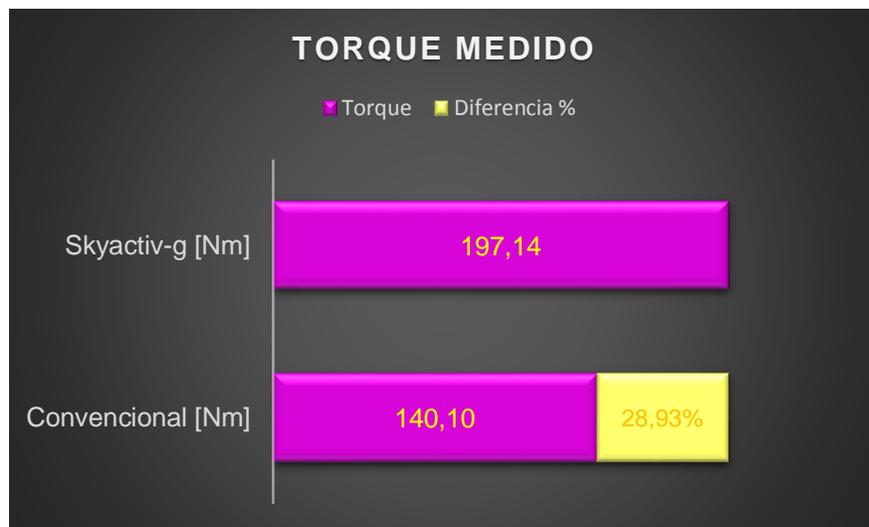


Figura 47. Resumen estadístico de la potencia del motor Mazda 2.0 convencional y con Skyactiv-g

En cuanto al torque en la figura 47 se puede observar una mejora en porcentaje de 28,93 % en relación al torque del motor convencional. Se establece entonces que existe un buen desempeño de acuerdo a las mediciones realizadas cuando el motor posee la tecnología Skyactiv-g.

4.2 Parámetros termodinámicos de desempeño con los motores Mazda

Se tiene como punto de referencia el diagrama de presión volumen del ciclo teórico Otto, para poder desarrollar los cálculos relacionados con el desempeño del motor en función de los datos obtenidos en las mediciones.

4.2.1 Cálculo Térmico del motor convencional Mazda 3 2.0 LF

a) Composición del combustible

Coefficiente de exceso de aire $\alpha=1,3$

Donde:

$$C = 0,855$$

$$H = 0,145$$

$$l_o = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H \right)$$
$$l_o = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} (0,855) + 8(0,145) \right)$$

$$l_o = 14,52 \text{ kg}$$

$$L_o = \frac{1}{0,209} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} \right)$$

$$L_o = \frac{1}{0,209} \left(\frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{4} \right)$$

$$L_o = 0,514 \text{ kmol}$$

b) Cálculo de la cantidad total de aire

$$M1 = \alpha * L_o$$

$$M1 = 1,3 * (0,514)$$

$$M1 = 0,6682 \frac{\text{kmol}}{\text{kg}}$$

c) Los productos de la combustión para $\alpha=1$

$$M2_{\alpha=1} = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,79L_o$$

$$M2_{\alpha=1} = \frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{2} + 0,79(0,514)$$

$$M2_{\alpha=1} = 0,54981 \frac{\text{kmol}}{\text{kg}}$$

d) La cantidad excedente de aire fresco es:

$$Exced = (\alpha - 1) * L_o$$

$$Exced = (1,3 - 1) * (0,514)$$

$$Exced = 0,1542 \frac{\text{kmol}}{\text{kg}}$$

e) **La cantidad total de los productos de combustión es igual a:**

$$M_2 = M_{2_{\alpha=1}} + Exced$$
$$M_2 = 0,54981 + 0,1542$$
$$M_2 = 0,70401 \frac{kmol}{kg}$$

f) **El coeficiente teórico de variación molecular**

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1}$$
$$\mu_0 = \frac{0,70401}{0,6682}$$
$$\mu_0 = 1,054$$

Cálculos del Motor convencional Mazda 3 2.0

a) **Cálculo de la presión media del ciclo**

$$P_{mc} = \frac{M}{V_h} * i$$
$$P_{mc} = \frac{140,10}{0,00049975} * 4$$
$$P_{mc} = 1121360,68 Pa$$
$$P_{mc} = 11,214 bar$$

b) Cálculo del rendimiento

$$n_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$
$$n_t = 1 - \frac{1}{10^{1,4-1}}$$
$$n_t = 0,6019$$

c) Calor del poder extraído

$$Q_2 = (1 - n_t)Q_1$$
$$Q_2 = (1 - 0,6019)(48,98 \text{ MJ/kg})$$
$$Q_2 = 19,499 \text{ MJ/kg}$$

d) Cálculo del consumo másico de combustible

$$m_c = \frac{\text{Potencia al freno}}{Q * n_t}$$
$$\text{Potencia al freno} = 74,54 \times 10^{-6} * W * n$$
$$\text{Potencia al freno} = 74,54 \times 10^{-6} * (77,8) * (6025)$$
$$\text{Potencia al freno} = 34,94 \text{ kW}$$

$$m_c = \frac{34,94}{48983,157 * 0,6019}$$
$$m_c = 0,001185 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$
$$m_c = 4,266 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

e) **Cálculo de consumo específico de combustible**

$$CEC = \frac{m_c}{\text{Potencia al freno}}$$

$$CEC = \frac{4,266}{34,94}$$

$$CEC = 0,1221 \frac{kg}{kW h}$$

4.2.2 **Cálculos del Motor Skyactiv-g 2.0 PE**

a) **Cálculo de la presión media del ciclo**

$$P_{mc} = \frac{M}{V_h} * i$$

$$P_{mc} = \frac{197,14}{0,0004495} * 4$$

$$P_{mc} = 1754304,78 Pa$$

$$P_{mc} = 17,543 bar$$

b) **Cálculo del rendimiento**

$$n_t = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}}$$

$$n_t = 1 - \frac{1}{14^{1,4-1}}$$

$$n_t = 0,652$$

c) **Calor del poder extraído**

$$Q_2 = (1 - n_t)Q_1$$
$$Q_2 = (1 - 0,652)(48,98 \text{ MJ/kg})$$
$$Q_2 = 17,05 \text{ MJ/kg}$$

d) **Cálculo del consumo másico de combustible**

$$m_c = \frac{\text{Potencia al freno}}{Q * n_t}$$
$$\text{Potencia al freno} = 74,54 \times 10^6 * W * n$$
$$\text{Potencia al freno} = 74,54 \times 10^{-6} * (117,70) * (6025)$$
$$\text{Potencia al freno} = 52,859 \text{ kW}$$

$$m_c = \frac{52,859}{48983,157 * 0,652}$$
$$m_c = 0,001655 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$
$$m_c = 5,958 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

e) **Cálculo de consumo específico de combustible**

$$CEC = \frac{m_c}{\text{Potencia al freno}}$$
$$CEC = \frac{5,958}{52,859}$$
$$CEC = 0,113 \frac{\text{kg}}{\text{kW h}}$$

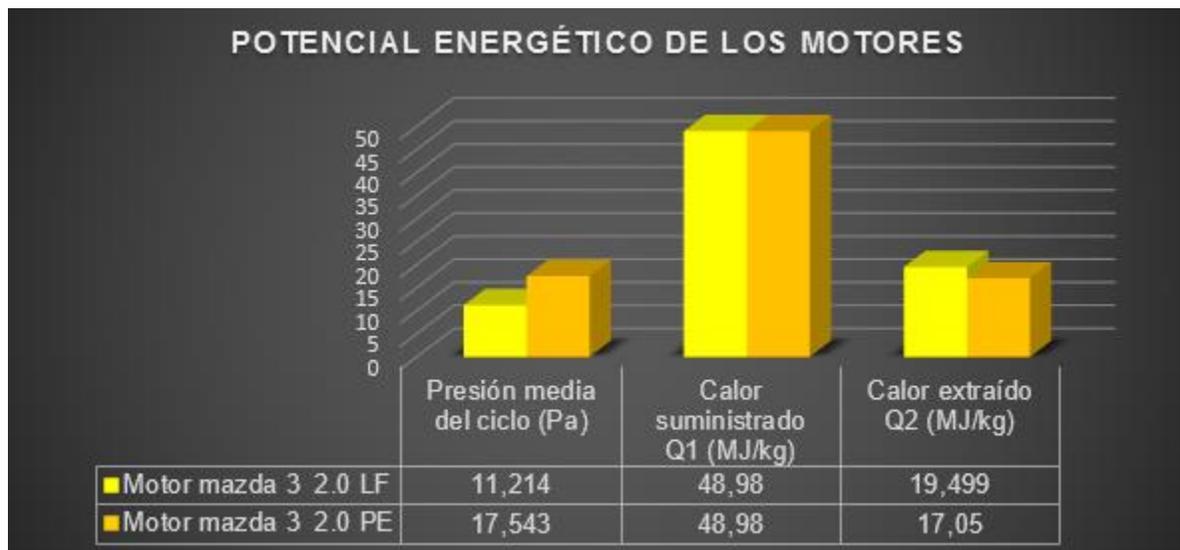


Figura 48. Influencia del potencial energético en contraste de los motores Mazda 3

En la figura 48 el aprovechamiento del calor que genera el motor con sistema Skyactiv-g en contraste con el motor convencional de Mazda es mejor, dando así una superioridad de 6,329 bares más en la presión media efectiva con respecto al motor Mazda 3 2.0 LF.

Tabla 34

Datos técnicos de motor Mazda convencional

Elemento	Valor	Elemento	Valor
Cilindrada unitaria [m ³]	0,00049975	Relación de compresión	10
Presión atmosférica Quito [Pa]	73810,00	Coefficiente adiabático	1,41
Número de cilindros	4	Temperatura ambiente [° K]	296,8722 (23,72°C)

Tabla 35*Datos técnicos de motor Mazda con Skyactiv-g*

Elemento	Valor	Elemento	Valor
Cilindrada unitaria [m ³]	0,0004995	Relación de compresión	14
Presión atmosférica Quito [Pa]	73480,00	Coefficiente adiabático	1,41
Número de cilindros	4	Temperatura ambiente [° K] °C)	288,3722 (15,22

Tabla 36*Resumen de parámetros característicos*

Muestra	Motor mazda 3 2.0 LF convencional	Motor mazda 3 2.0 PE Skyactiv-g
Torque (Nm)	140,1	197,14
Presión media del ciclo (Pa)	1121360,68	1754304,78
Rendimiento (%)	60,19	65,20
Calor suministrado Q1 (MJ/kg)	48,98	48,98
Calor extraído Q2 (MJ/kg)	19,499	17,05
Consumo másico de combustible (kg/h)	4,266	5,958
Consumo específico de combustible (kg/KW h)	0,1221	0,113
Presión media del ciclo (bar)	11,214	17,543 bar
Consumo másico de combustible (kg/min)	0,001185	0,001655

De los cálculos desarrollados se obtiene la tabla comparativa 36 y las gráficas correspondientes que permiten realizar una interpretación de los resultados obtenidos.

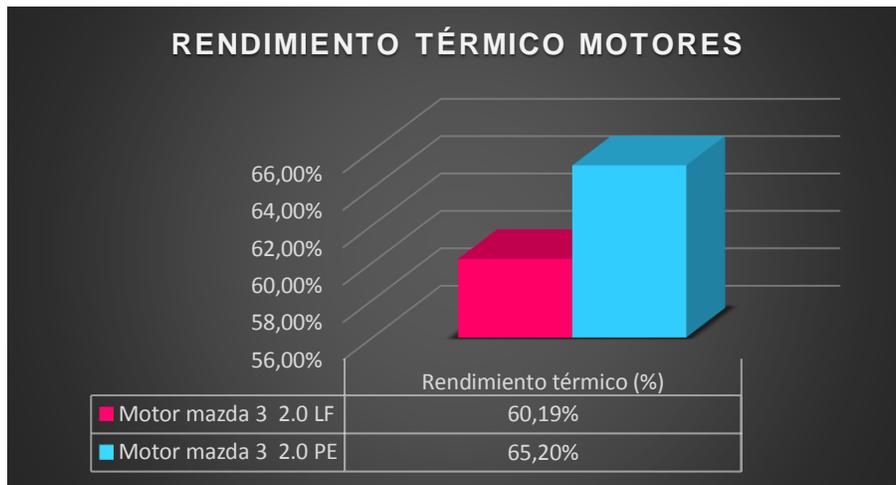


Figura 49. Representación gráfica del rendimiento de los motores 2.0 Mazda

En la figura 49 se refleja que en la matematización del motor convencional el rendimiento al estar directamente ligado a la relación de compresión de los motores es menor en comparación al motor con tecnología Skyactiv-g con una diferencia del 5,01% de decremento.

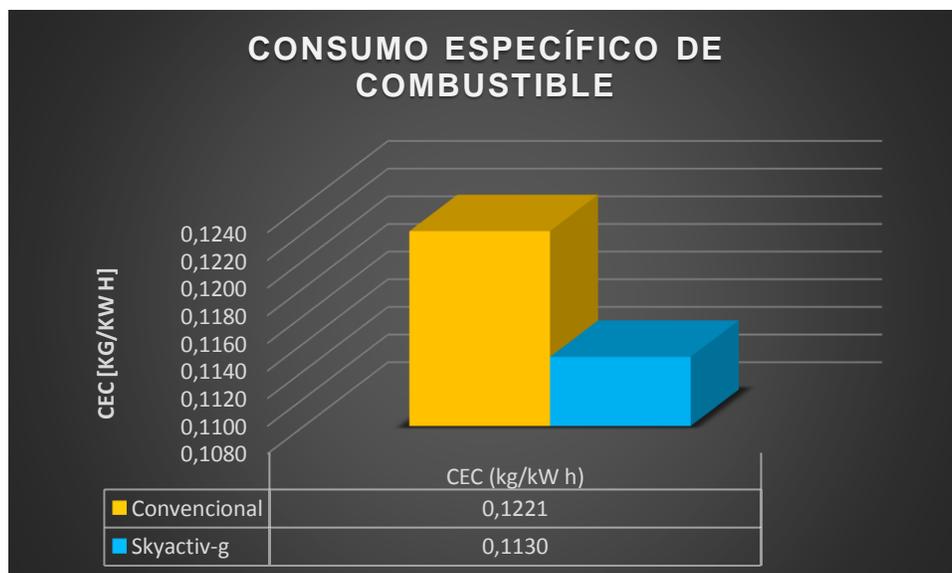


Figura 50. Consumo másico del combustible de los motores 2.0 Mazda

En la figura 50 se observa que el motor convencional en la matematización del consumo de combustible se obtiene mejor economía porque entrega más potencia por hora de acuerdo a la masa de combustible consumida, siendo así el exceso de consumo de 0,0091 kg/Kw h.

4.3 Consumo de Combustible

En la tabla 37 y 38 se puede evidenciar los valores que se registraron al medir el consumo de los vehículos tras seguir el método asociado al ciclo IM240.

Tabla 37

Resultados de la medición de consumo de combustible del vehículo MAZDA 3 convencional

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA				
TRAMOS	CICLO	INICIO [Lt]	FINAL [Lt]	DISTANCIA [km]
1	2 IM240	5	4,55	6
2	2 IM240	5	4,59	6
3	2 IM240	5	4,60	6

Tabla 38

Resultados de la medición de consumo de combustible del vehículo MAZDA 3 SKYACTIV - G

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA				
TRAMOS	CICLO	INICIO [Lt]	FINAL [Lt]	DISTANCIA [km]
1	2 IM240	5	4,55	6
2	2 IM240	5	4,50	6
3	2 IM240	5	4,59	6

La tabla 39 registra los resultados del rendimiento que se calculó a partir de los valores de consumo medidos de la tabla 37 y 38, se evidencia un consumo total con el promedio tomado en las tres pruebas.

Tabla 39

Rendimiento de consumo de los motores Mazda 3 convencional y con Skyactiv-g

RENDIMIENTO	Motor mazda 3 2.0 LF	Motor mazda 3 2.0 PE
Rendimiento Tramo 1 [km/gal]	50,47	50,47
Rendimiento Tramo 2 [km/gal]	55,40	45,42
Rendimiento Tramo 3 [km/gal]	56,78	55,40
Valor máximo	56,78	55,40
Valor mínimo	50,47	45,42
Media	54,22	50,43
Error típico	1,92	2,88
Mediana	55,40	50,47
Rango	6,31	9,98
Promedio	54,22	50,43

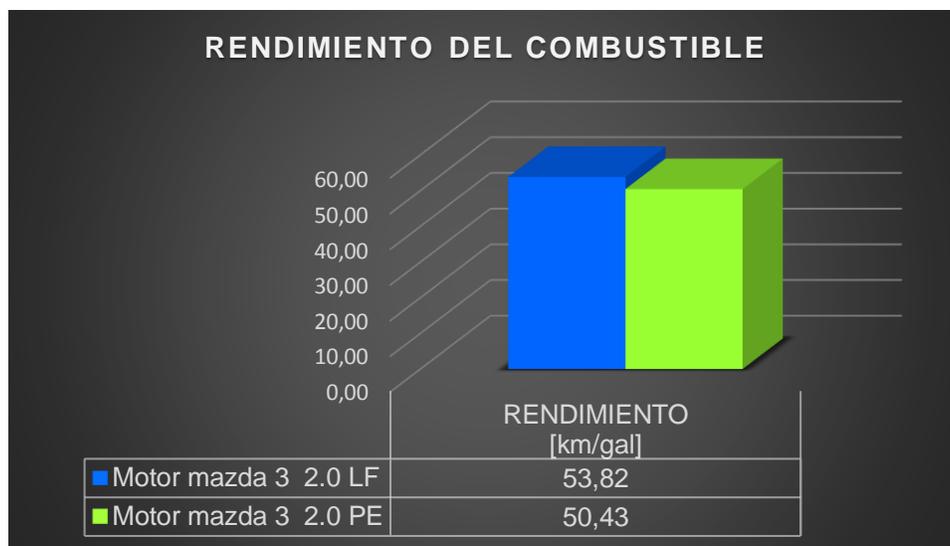


Figura 51. Rendimiento del combustible en los motores 2.0 Mazda

En la figura 51 se registra que el motor con tecnología Skyactiv-g recorre menos cantidad de kilómetros con un galón de combustible en comparación con el motor convencional, con una ventaja de 3,39 kilómetros de recorrido, por lo que el que menos consumo reconoce en el ensayo es el vehículo con motor convencional.

4.4 Emisiones Estáticas

Los valores medidos en los tres ensayos de emisiones estáticas con la norma técnica ecuatoriana NTE 2203:2000 de los principales gases que emanan los motores de combustión interna medidos durante ralentí y revoluciones altas, se registran en las tablas 40 y 41.

Tabla 40

Valores de los gases medidos en MAZDA 3 convencional

PRUEBAS ESTÁTICAS NTE INEN 2203						
Parámetros	Medición 1		Medición 2		Medición 3	
	Ralentí	rmp alta	Ralentí	rmp alta	Ralentí	rmp alta
CO [%]	0,200	0,410	0,110	0,340	0,180	0,140
CO ₂ [%]	15,700	15,300	15,900	15,500	15,800	15,800
CO _{corregido} [%]	0,200	0,410	0,110	0,340	0,180	0,140
HC [ppm]	105	115	125	86	92	72
O ₂ [%]	0,340	0,710	0,200	0,530	0,300	0,380
λ [Lambda]	1,005	1,016	1,001	1,010	1,004	1,010
RPM	800	2500	800	2500	800	2500

Tabla 41*Valores de los gases medidos en MAZDA 3 Skyactiv-g*

PRUEBAS ESTÁTICAS NTE INEN 2203						
Parámetros	Medición 1		Medición 2		Medición 3	
	Ralentí	rmp alta	Ralentí	rmp alta	Ralentí	rmp alta
CO [%]	0,020	0,020	0,010	0,000	0,010	0,010
CO ₂ [%]	16,500	15,800	16,600	16,000	16,100	15,900
CO _{correctado} [%]	0,020	0,020	0,010	0,000	0,010	0,010
HC [ppm]	10	14	20	14	1	0
O ₂ [%]	1,280	0,220	0,910	0,220	1,450	0,120
λ [Lambda]	1,053	1,008	1,037	1,009	1,062	1,004
RPM	800	2500	800	2500	800	2500

La tabla 41 registra los valores promedios de los datos medidos en el ensayo de emisiones de los dos motores ubicados en contraste para poder determinar el porcentaje de diferencia de cada gas entre el motor convencional y el motor con Skyactiv-g en ralentí y altas revoluciones.

Los porcentajes negativos de la tabla 42 representa valores negativos promedios debido a que son mayores la cantidad de emisiones medidas en el motor Skyactiv-g en relación al convencional.

Tabla 42*Resumen de medición de parámetros de emisiones estáticas*

Parámetros	Motor mazda 3 2.0 LF		Motor mazda 3 2.0 PE		Ralentí	Rpm altas
	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	[%]	[%]
CO [%]	0,163	0,297	0,013	0,010	92,02	96,63
CO ₂ [%]	15,800	15,533	16,400	15,900	-3,80	-2,36
CO _{correctado} [%]	0,163	0,297	0,013	0,010	92,02	96,63

CONTINÚA 

HC [ppm]	107,333	91,000	10,333	9,333	90,37	89,74
O ₂ [%]	0,280	0,540	1,213	0,187	-333,21	65,37
λ [Lambda]	1,003	1,012	1,051	1,007	-4,79	0,49
RPM	800	2000	800	2000		

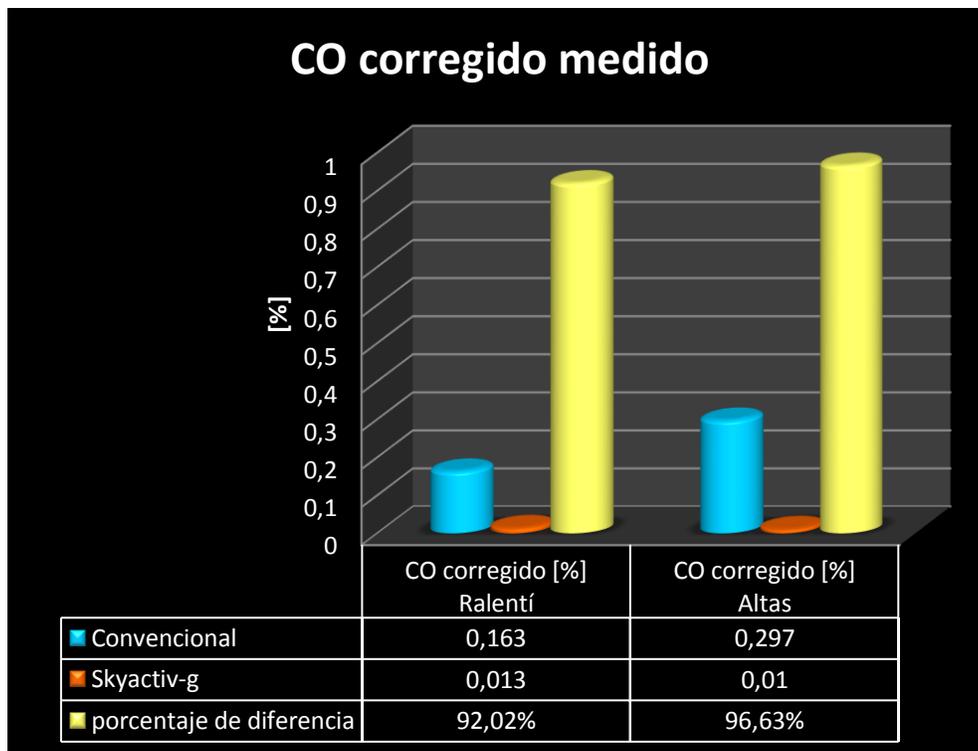


Figura 52. Comparación gráfica emisión de CO

En la figura 52 se observa que la emisión de monóxido de carbono del motor convencional a ralentí es 92,02% mayor que el motor con sistema Skyactiv-g, siendo también así mayor en revoluciones altas con un 96,63%. De lo que se dice que el motor convencional emite más monóxido de carbono que el motor con la nueva tecnología.

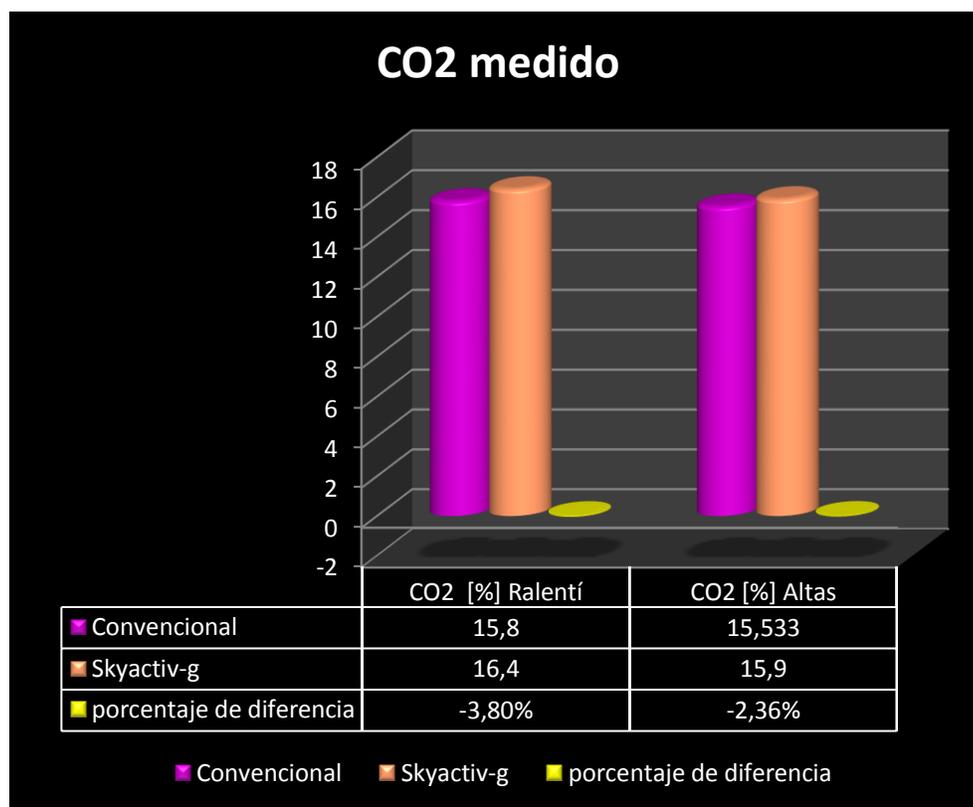


Figura 53. Comparación gráfica emisión de CO2

En la figura 53 la emisión de dióxido de carbono del motor convencional a ralentí es de -3,80% menor que el motor con sistema Skyactiv-g, siendo también así menor en revoluciones altas con un -2,36%. De lo que se dice que el motor convencional emite menos dióxido de carbono que el motor con la nueva tecnología.

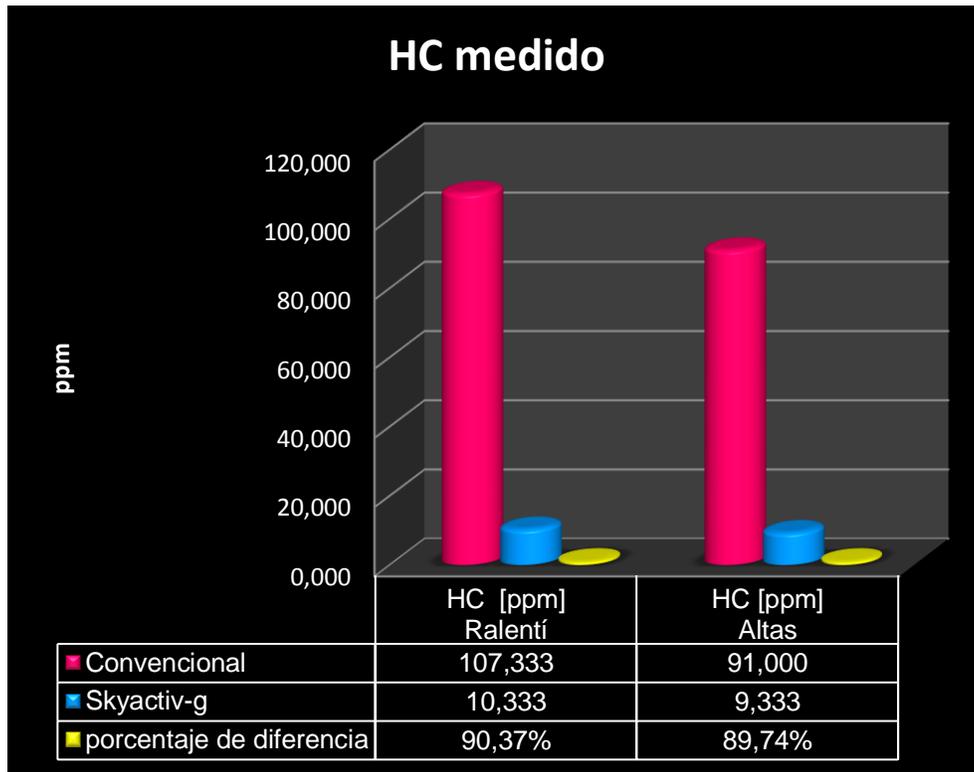


Figura 54. Comparación gráfica emisión de HC

En la figura 54 la emisión de hidrocarburos del motor convencional a ralentí es de 90,37% mayor que el motor con sistema Skyactiv-g, siendo también así mayor en revoluciones altas con un 89,74%. De lo que se puede decir que el motor convencional emite más monóxido de carbono que el motor con la nueva tecnología.

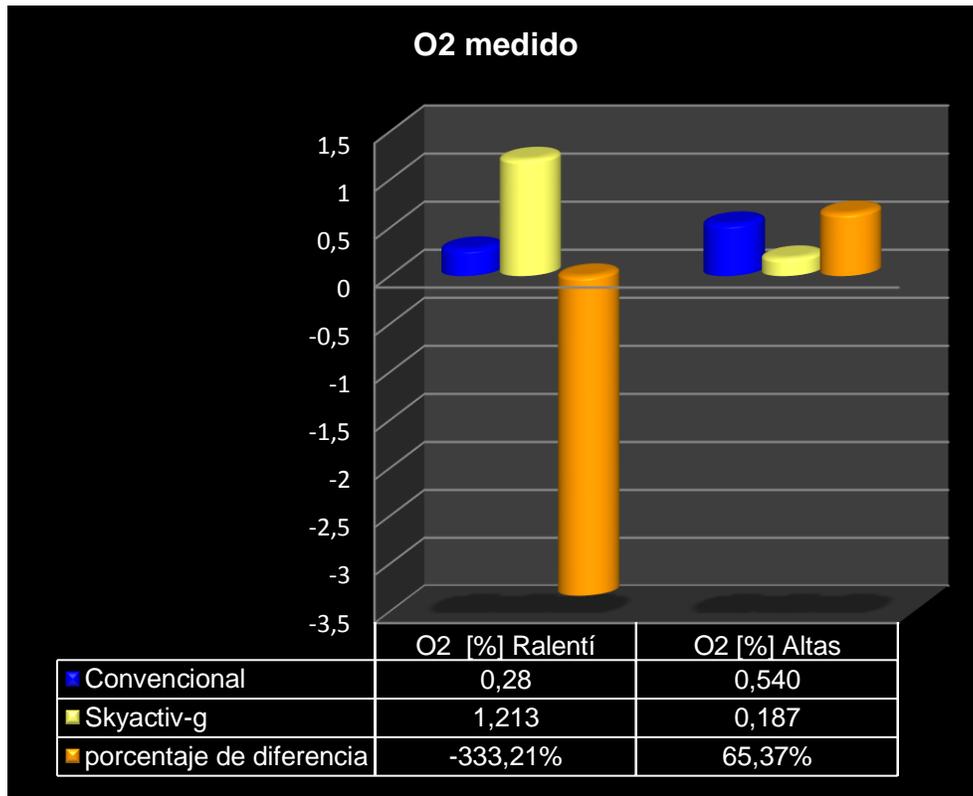


Figura 55. Comparación gráfica emisión de O2

En la figura 55 la emisión de oxígeno medido del motor convencional a ralentí es de **-333,21%** menor que el motor con sistema Skyactiv-g, siendo también así menor en revoluciones altas con un 65,37%. De lo que se podría decir que el que posee mayor porcentaje medido de oxígeno es decir el Skyactiv-g tiende a tener una mezcla más pobre que el convencional.

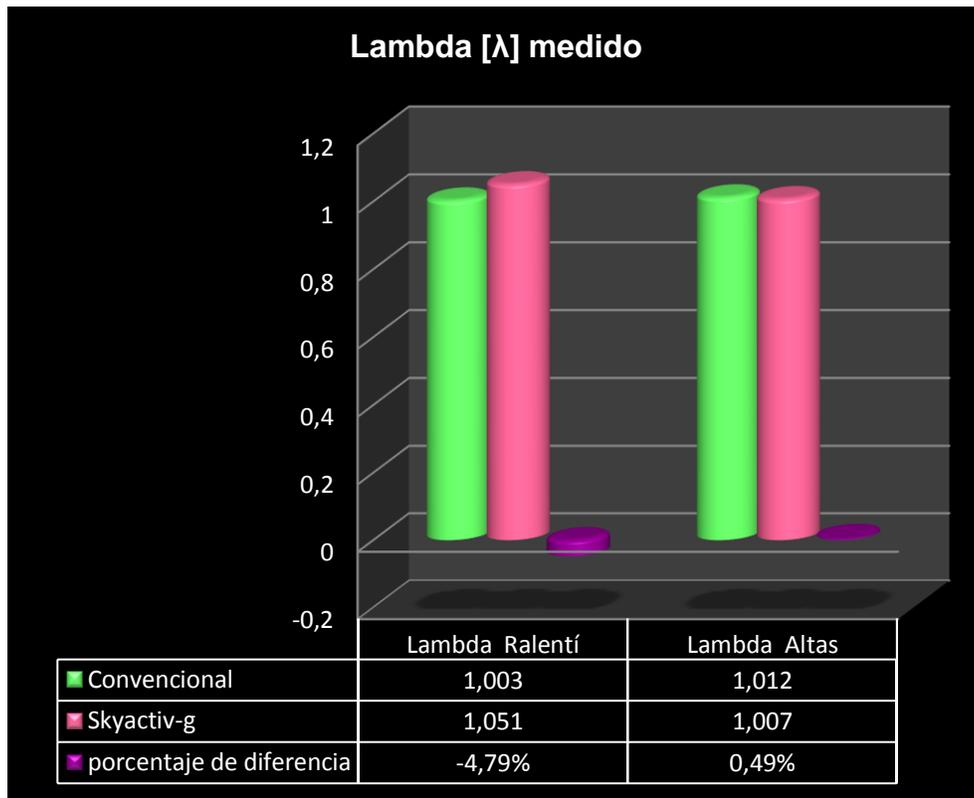


Figura 56. Comparación gráfica emisión de Lambda

En la figura 56 se observa que lambda para mediciones en condiciones de ralentí el motor convencional se aproxima más a 1, teniendo así una diferencia del 4,79% entre lambda Skyactiv-g y lambda convencional. En revoluciones altas al contrario el motor con tecnología Skyactiv-g es cual tiende a 1, sin embargo presenta una mínima diferencia del 0,49% del motor convencional.

4.5 Cálculos termodinámicos ideales del motor

Para facilitar los cálculos de un motor de ciclo Otto se toman consideraciones y datos definidos en el desarrollo ideal, los mismos que se indican en la tabla número 43 que se presenta a continuación:

Tabla 43

Datos y consideraciones tomadas en los cálculos del motor convencional

q_1	48983,157 KJ/kg	Poder calorífico superior de gasolina
P_1	73,410 kPa	Presión atmosférica de Quito
T_1	296,78 °K	Temperatura atmosférica de Quito
k	1,4	Coefficiente del fluido de trabajo
m/n	0,0296 kg/mol	Peso molecular del fluido
R_m	286,9 J/kg °K	Constante del aire
c_v	5R/2	Calor específico a volumen constante
R	8,314	Constante

4.5.1 Presión de Admisión

Presión atmosférica, tomada del sensor del banco de pruebas del dinamómetro de chasis MAHA LPS 300.

$$P_1 = 73,41 \text{ kPa}$$

4.5.2 Temperatura de Admisión

Temperatura ambiente, tomada del sensor del banco de pruebas del dinamómetro de chasis MAHA LPS 300.

$$T_1 = 296,78 \text{ }^\circ K$$

4.5.3 Presión de Compresión

Presión dada por el fabricante del motor, tomada del manual de taller del vehículo Mazda convencional.

$$P_2 = P_1 \varepsilon^k$$
$$P_2 = 73,41(10)^{1,4}$$
$$P_2 = 1843,96 \text{ kPa}$$

4.5.4 Temperatura de Compresión

$$T_2 = T_1 \frac{P_2}{P_1} \left(\frac{V_B}{V_A} \right)$$
$$T_2 = 296,78 \left(\frac{1843,96}{73,41} \right) \left(\frac{1}{10} \right)$$
$$T_2 = 745,47 \text{ }^\circ K$$

4.5.5 Temperatura de expansión

$$m = \frac{P_1 V_1}{R_m T_1}$$

$$m = \frac{73410 (0,001999)}{286,9 (296,78)}$$

$$m = 0,001723$$

$$Q_1 = m q_1$$

$$Q_1 = 0,001723(48983,157)$$

$$Q_1 = 84,82 \text{ KJ}$$

$$Q_1 = \Delta U$$

$$T_3 = T_2 + \frac{m q_1}{n c_v}$$

$$T_3 = 745,47 + \frac{(0,02896)(48983,157)}{(2,5)(8,314)}$$

$$T_3 = 813,72 \text{ } ^\circ K$$

4.5.6 Presión de Expansión

$$P_3 = P_2 \left(\frac{T_3}{T_2} \right)$$

$$P_3 = 1843,96 \left(\frac{813,72}{745,47} \right)$$

$$P_3 = 2012,78 \text{ kPa}$$

4.5.7 Presión de Escape

$$P_4 = \frac{P_3}{\varepsilon^k}$$

$$P_4 = \frac{2012,78}{10^{1,4}}$$

$$P_4 = 80,13 \text{ kPa}$$

4.5.8 Temperatura de Escape

$$T_4 = T_1 \frac{P_4}{P_1}$$

$$T_4 = (296,78) \frac{80,13}{73,41}$$

$$T_4 = 323,95 \text{ }^\circ\text{K}$$

4.5.9 Representación gráfica del ciclo teórico

El diagrama de presión volumen se presenta en la figura 58, es su curva encierra el trabajo con el cual se desempeña el ciclo, sin embargo no un valor real pues el ciclo es ideal.

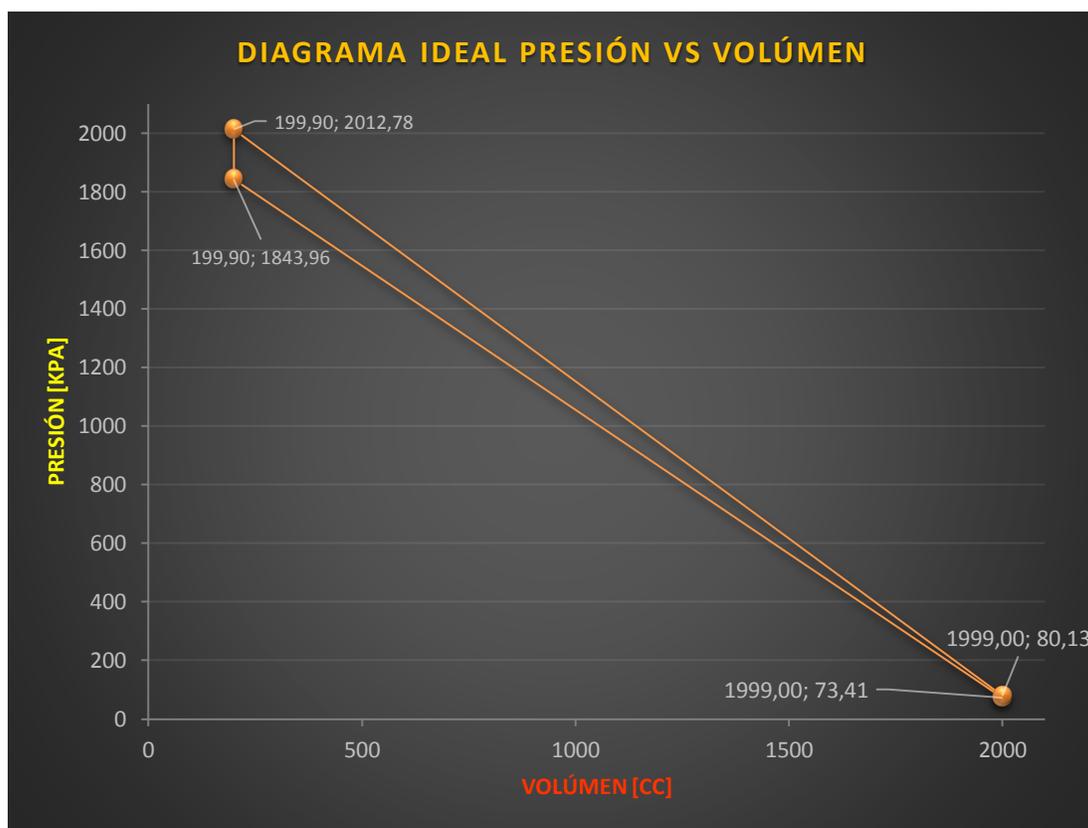


Figura 57. Diagrama de presión vs volumen ciclo ideal Otto

Tabla 44

Resumen del ciclo Otto ideal calculado

Resumen ciclo ideal			
Tiempo ciclo	volumen [cc]	presion [kPa]	temperatura [°K]
Admisión	1999,00	73,41	296,78
Compresión	199,90	1843,96	745,47
Expansión	199,90	2012,78	813,72
Escape	1999,00	80,13	323,95

El motor con Skyactiv-g 2.0 PE explícitamente trabaja con un ciclo Miller no turbo alimentado por lo que cae en un ciclo Otto con variación en la apertura de válvulas e inyección directa a alta presión, con lo que para facilitar los cálculos del motor se toman consideraciones y datos definidos en el desarrollo, de los cuales se tiene:

Tabla 45

Datos y consideraciones tomadas en el cálculo del motor con Skyactiv-g

q_1	48983,157 KJ/kg	Poder calorífico superior de gasolina
P_1	73,81 kPa	Presión atmosférica de Quito
ϵ	14	Relación de compresión
T_1	289,37 °K	Temperatura atmosférica de Quito
k	1,4	Coeficiente del fluido de trabajo
m/n	0,0296 kg/mol	Peso molecular del fluido
R_m	286,9 J/kg °K	Constante del aire
c_v	5R/2	Calor específico a volumen constante
R	8,314	Constante

4.5.10 Presión de Admisión

Presión atmosférica, tomada del sensor del banco de pruebas del dinamómetro de chasis MAHA LPS 300.

$$P_1 = 73,81 \text{ kPa}$$

4.5.11 Temperatura de Admisión

Temperatura ambiente, tomada del sensor del banco de pruebas del dinamómetro de chasis MAHA LPS 300.

$$T_1 = 289,37 \text{ } ^\circ K$$

4.5.12 Presión de Compresión

Presión dada por el fabricante del motor, tomada del manual de taller del vehículo Mazda Skyactiv-g.

$$P_2 = P_1 \varepsilon^k$$
$$P_2 = 73,81(14)^{1,4}$$
$$P_2 = 2969,58 \text{ kPa}$$

4.5.13 Temperatura de Compresión

$$T_2 = T_1 \frac{P_2}{P_1} \left(\frac{V_B}{V_A} \right)$$
$$T_2 = 289,37 \left(\frac{2969,58}{73,81} \right) \left(\frac{1}{14} \right)$$
$$T_2 = 831,58 \text{ } ^\circ K$$

4.5.14 Temperatura de expansión

$$m = \frac{P_1 V_1}{R_m T_1}$$

$$m = \frac{73810 (0,001998)}{286,9 (289,37)}$$

$$m = 0,001776$$

$$Q_1 = mq_1$$

$$Q_1 = 0,001776(48983,157)$$

$$Q_1 = 87,01 \text{ KJ}$$

$$Q_1 = \Delta U$$

$$T_3 = T_2 + \frac{mq_1}{nc_v}$$

$$T_3 = 831,58 + \frac{(0,02896)(48983,157)}{(2,5)(8,314)}$$

$$T_3 = 899,83 \text{ } ^\circ\text{K}$$

4.5.15 Presión de Expansión

$$P_3 = P_2 \left(\frac{T_3}{T_2} \right)$$

$$P_3 = 2969,58 \left(\frac{899,83}{831,58} \right)$$

$$P_3 = 3213,30 \text{ kPa}$$

4.5.16 Presión de Escape

$$P_4 = \frac{P_3}{\varepsilon^k}$$

$$P_4 = \frac{3213,30}{14^{1,4}}$$

$$P_4 = 79,87 \text{ kPa}$$

4.5.17 Temperatura de Escape

$$T_4 = T_1 \frac{P_4}{P_1}$$

$$T_4 = (289,37) \frac{79,87}{73,81}$$

$$T_4 = 313,12 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Tabla 46

Resumen del ciclo Miller no alimentado (Otto)

Resumen del ciclo del motor		
Tiempo ciclo	Presión [kPa]	Temperatura [°K]
Admisión	73,81	289,37
Compresión	2969,58	831,58
Expansión	3213,3	899,83
Escape	79,87	313,12

Los puntos principales de análisis son los de compresión y expansión del ciclo ya que en el sistema Skyactiv-g la compresión tiene un espacio menor de recorrido del

émbolo; sin embargo produce una presión de 2969,58 kPa mayor a la del motor convencional que es de 1843,96 kPa.

Así mismo la presión de expansión del motor Skyactiv-g es de 3213,3 kPa en comparación al del motor convencional que es de 2012,78 kPa, esta es mucho mayor. Lo que concluye en un desarrollo mayor trabajo del motor Mazda con Skyactiv-g.

4.6 Matriz de comparación de resultados

Los resultados medidos así como los calculados en base a principios de la relación de compresión nos dejan resultados esperados en cuanto al desarrollo de la tecnología Skyactiv-g de Mazda Motor Corporation.

4.6.1 Comparación de valores de los parámetros de desempeño del motor entre valor especificado y medido

La matriz de comparación que se realiza en la tabla 47 contrasta los valores medidos de los parámetros de desempeño del motor versus los indicados por la fábrica; sin embargo estos valores pueden variar debido a las condiciones donde se conduzca el vehículo (temperatura ambiente, altura, presión atmosférica, humedad, etc).

Tabla 47

Matriz de comparación medido vs indicado

Parámetro	Medido / Calculado		Indicado		Porcentaje de variación	
	LF	PE	LF	PE	LF	PE
Torque [Nm]	140,1	197,14	187	200	25,08%	1,43%
Potencia [Kw]	77,3	116,03	112	115	30,98%	-0,90%
Consumo [km/gal]	54,203	50,419	59,15	56,1	8,36%	10,13%

En la figura 58 se puede apreciar el cambio o deterioro de los parámetros de desempeño de los motores sometidos a ensayo, debido a las condiciones climáticas y uso de los vehículos, existiendo variaciones significativas entre las medidas y las indicadas, siendo así para el torque una diferencia de 25,08% siendo mayor el indicado, para la potencia un 30,98% siendo el medido un valor mayor y en el consumo una diferencia del 8,36% teniendo un mejor consumo el valor indicado.

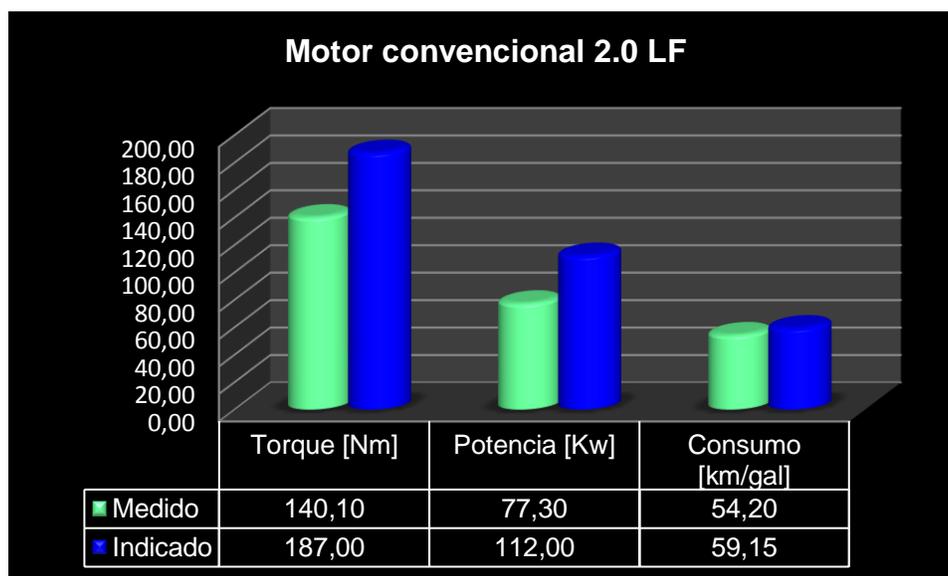


Figura 58. Contraste de los parámetros medidos versus los indicados en el motor convencional Mazda

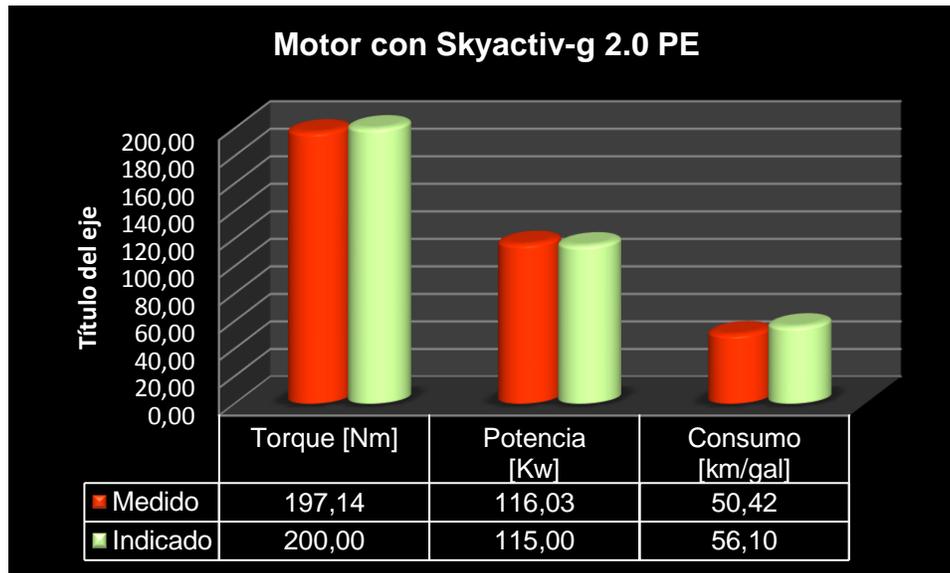


Figura 59. Contraste de parámetros medidos versus indicados en el motor Skyactiv-g

La figura 59 muestra los parámetros del motor Skyactiv-g indicados versus los medidos, de lo cual se deduce que no varían mucho los medidos de los indicados, en torque varía un 1,43%, en potencia varían en 0,90% siendo mayor la medida y en consumo varia en un 10,13% de igual manera teniendo un mejor consumo con el valor medido.

4.6.2 Comparación de valores de los parámetros de desempeño del motor convencional y Skyactiv-g

La matriz representada en la tabla 48 contrasta los valores de los parámetros de desempeño de los motores y el porcentaje de variación que existe entre ellos, consistiendo en una tabla que concluye dichos valores en la investigación.

Tabla 48*Matriz de parámetros de desempeño del motor convencional vs Skyactiv-g*

Parámetro	Convencional	Skyactiv-g	Porcentaje de variación
Torque [Nm]	140,1	197,14	28,93%
Potencia [Kw]	77,3	116,03	33,38%
Consumo [km/gal]	54,203	50,419	-7,51%
Emisiones			
CO [%]	0,163	0,013	92,02%
CO2 [%]	15,8	16,4	-3,80%
HC [%]	107,33	10,33	90,38%
O2 [%]	0,28	1,213	-333,21%
Lambda	1,003	1,051	-4,79%
Presión compresión [kPa]	1843,96	2969,58	-61,04%
Presión expansión [kPa]	2012,78	3213,3	-59,64%
Temperatura compresión[°K]	745,47	831,58	-11,55%
Temperatura expansión [°K]	813,72	899,83	-10,58%

4.7 Análisis de los diagramas de mando de los motores Mazda 2.0

El diagrama de mando de las válvulas de admisión y escape de los motores determinan adelantos o retrasos al cierre o apertura de estas, lo que tiene como principal función el tiempo de encendido y las duraciones de los tiempos del motor, entregando así mayor volumen en los cilindros.

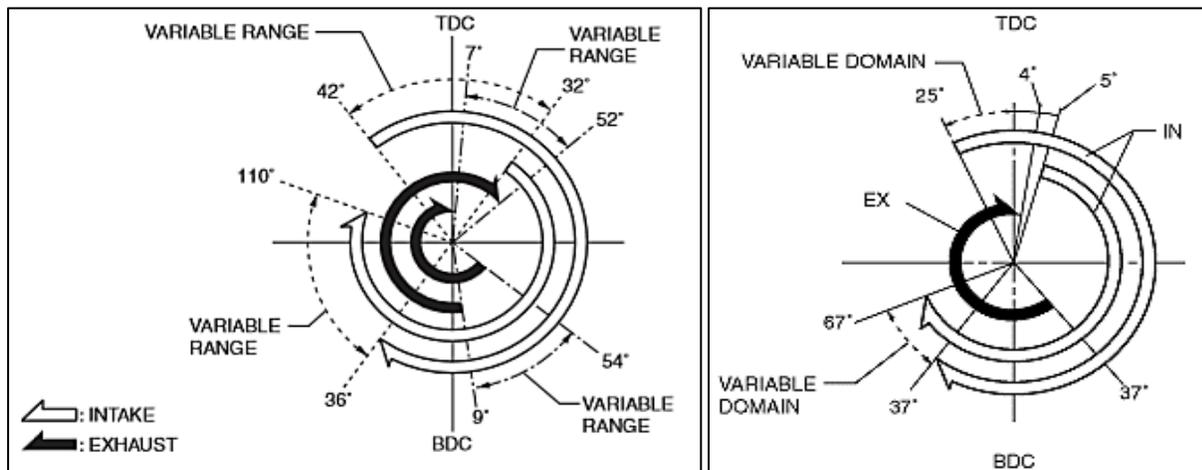


Figura 60. Análisis del diagrama de mando de los motores Mazda Skyactiv-g y convencional

Tabla 49

Análisis de los diagramas de mando de los motores de los Mazda 3 2.0

SKYACTIV-G			CONVENCIONAL		
ADMISIÓN	V.A 1	V.A 2	ADMISIÓN	V.A 1	V.A 2
PMS [°]	ANTES	DESPUES	PMS [°]	ANTES	DESPUÉS
	42	32		25	5
PMI [°]	DESPUÉS	DESPUÉS	PMI [°]	DESPUÉS	DESPUÉS
	36	5		37	67
ESCAPE	V.E 1	V.E 2	ESCAPE	V.E	
PMI [°]	ANTES	ANTES	PMI [°]	ANTES	
	54	5		37	
PMS [°]	DESPUÉS	DESPUÉS	PMS [°]	DESPUÉS	
	7	59		4	

El motor Skyactiv-g posee dos válvulas de admisión y dos válvulas de escape, 42° antes de que el pistón comience el recorrido de admisión la válvula N° 1 está abierta

hasta 36° después del PMI. La válvula de admisión N° 2 se apertura 32° después de que el pistón ha bajado en su carrera de admisión hasta 5° después del PMI.

La válvula de escape N°1 se apertura 54° antes de que él pistón comience su ascenso en el tiempo de escape (aun estando en expansión) hasta después de 7° de haber llegado al PMS. La válvula N°2 de escape se abre 5° antes de comenzar la etapa de escape hasta 59° después del PMS (hasta la apertura de la admisión).

El motor convencional posee dos válvulas de admisión y una válvula de escape, la válvula de admisión N°1 se abre 25° antes de que comience la carrera de descenso de la admisión hasta 37° después del PMI (en la carrera de ascenso de compresión). La válvula de admisión N° 2 se abre 5° después de que el pistón empezó su fase de admisión hasta 67° después de llegar al PMI (estando ya en la fase de compresión).

La única válvula de escape se apertura 37° antes de que comience el pistón el ascenso en la etapa de escape del motor hasta 4° después de que el pistón acaba esta fase después de alcanzar el PMS estando ya en admisión.

4.8 Análisis de las señales de los sensores y actuadores de los motores Mazda 2.0

Con la ayuda de la herramienta IDS Mazda, se ingresó al computador de cada uno de los vehículos sometidos a la investigación de donde se pudo hacer la comparación de los sensores y actuadores existentes en ellos.

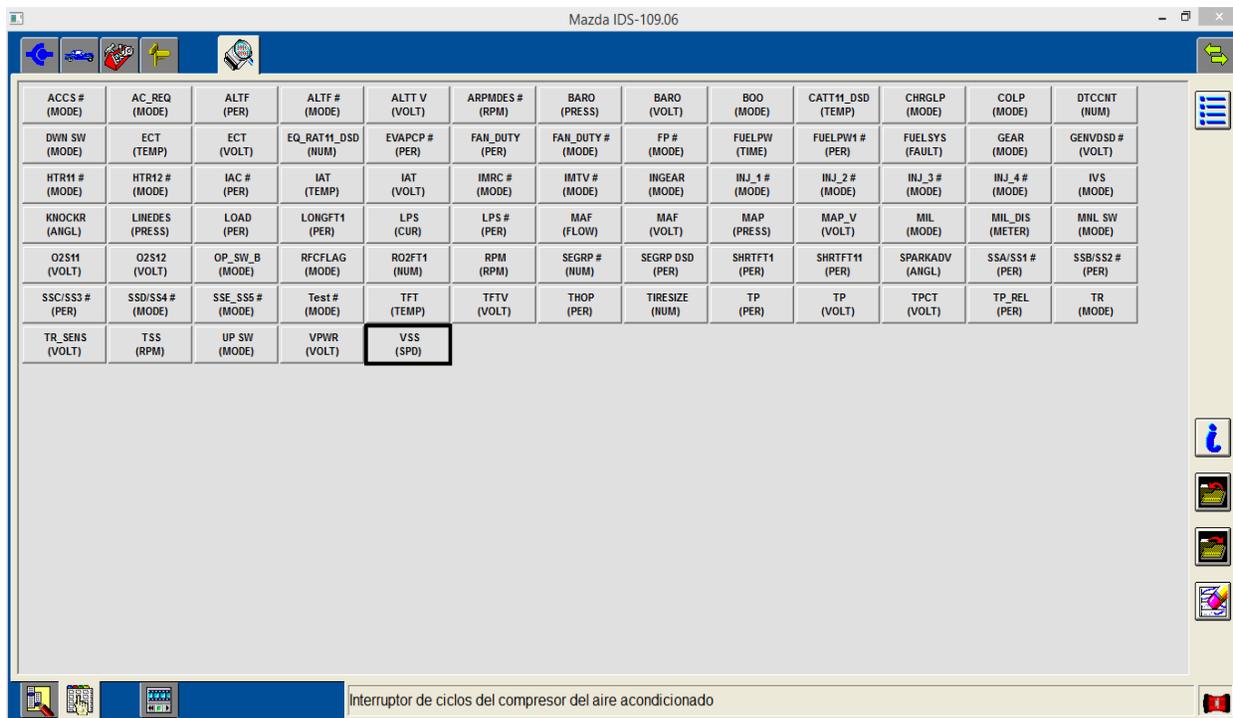


Figura 61. Interfaz IDS Mazda vehículo Mazda 3 convencional puerto OBD II

En la figura 61 se puede observar 83 ítem entre los sensores y actuadores que interactúan en el motor y en el vehículo convencional Mazda 3, los mismos que se pueden revisar en su forma de funcionamiento (voltaje / temperatura) para poder emitir criterios de fallas o respaldar síntomas. Sobre todo dichos elementos delimitan el comportamiento del motor a cada segundo alimentando con datos a la PCM para que esta emita acciones de acuerdo a lo informado.

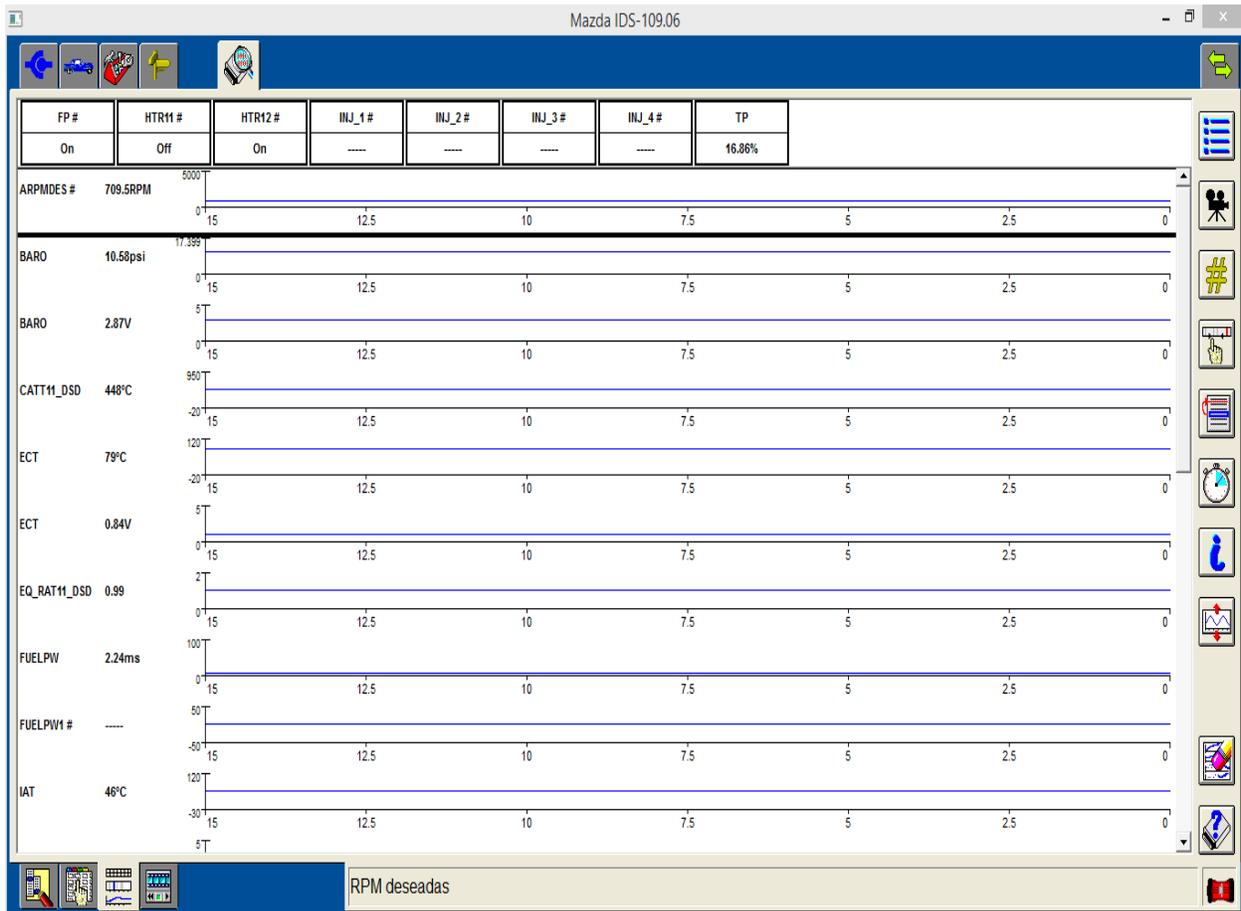


Figura 62. Curvas y valores de funcionamiento de los sensores y actuadores del motor Mazda convencional en tiempo real

En la figura 62 se presenta el comportamiento de los sensores del motor Mazda 2.0 LF en una prueba KOER realizada con el IDS en donde se observa medidores que se encargan de cuantificar las RPM, la presión barométrica del sistema, temperatura del catalizador, la temperatura del refrigerante del motor, el tiempo de inyección de la bomba de combustible y la temperatura del aire que ingresa al motor; por lo general

estos datos se representan en voltaje ya que cada modelo posee rangos de valores de correcto funcionamiento que son detectados por la computadora del automóvil.

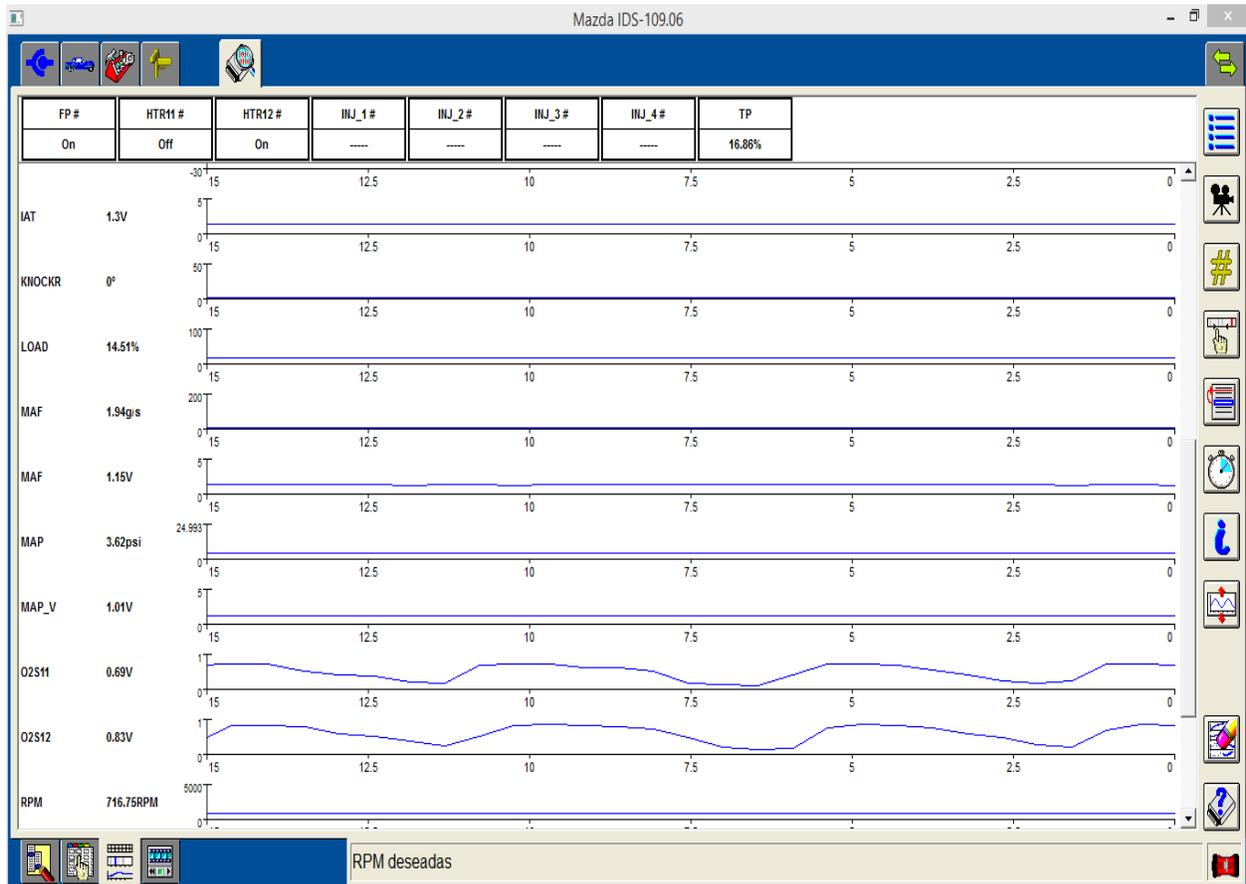


Figura 63. Curvas y valores de funcionamiento de los sensores y actuadores del motor Mazda convencional en tiempo real

En la figura 63 se observa que el funcionamiento del resto de sensores del vehículo Mazda 3 LF, donde se censa valores como el golpeteo del motor, porcentaje de carga, volumen de aire que ingresa al motor, supervisa la succión o vacío en la admisión, la cantidad de oxígeno, las rpm en tiempo real, los mismo que son enviados a la

computadora del vehículo para monitorear estos y así tomar decisiones en el funcionamiento del motor.

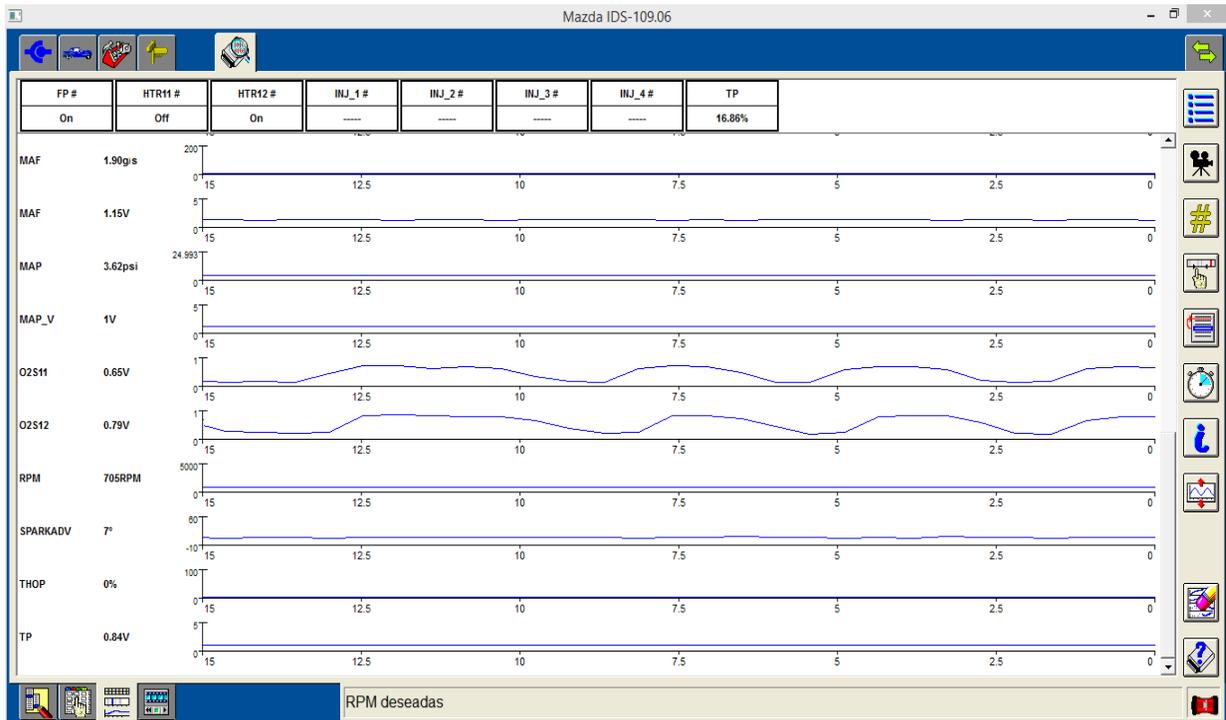


Figura 64. Curvas y valores de funcionamiento de los sensores y actuadores del motor Mazda convencional en tiempo real

En la figura 64 se presentan valores de otro grupo de sensores y actuadores del vehículo Mazda 3 LF, donde censa el flujo de la masa de aire que ingresa, presión absoluta del colector, la cantidad de oxígeno que posee las emisiones, el avance al encendido y la posición del acelerador.

ACCS # (MODE)	AC_PRES (PRESS)	AC_PRES (VOLT)	AC_REQ (MODE)	AIRSHUT_DSD # (MODE)	ALTF (PER)	ALTF_ACT (PER)	ALTT V (VOLT)	AMB_TEMP (TEMP)	APP (PER)	APP1 (PER)	APP1 (VOLT)	APP2 (PER)
APP2 (VOLT)	ARPMDES (RPM)	ARPMDES # (MODE)	BARO (PRESS)	BOO (MODE)	BPA (MODE)	CAP_SYS 13 (MODE)	CAP_SYS 14 (MODE)	CAP_SYS 15 (MODE)	CAP_SYS 16 (MODE)	CAP_SYS 10 (MODE)	CATT11_DSD (TEMP)	CHRGPL (MODE)
ECT (TEMP)	ECT (VOLT)	EG_RUN_TIME (TIME)	EQ_RAT11 (NUM)	EQ_RAT11_DSD (NUM)	ETC_ACT (ANGL)	ETC_DSD (ANGL)	ETC_DSD (PER)	EVAPCP # (PER)	FAN # (MODE)	FAN2 # (MODE)	FAN3 # (MODE)	FAI_DUTY # (MODE)
FIA (NUM)	FLI (PER)	FP # (MODE)	FP_DUTY (PER)	FRP_A (PRESS)	FRP_A_CMD (PRESS)	FRP_A_CMD_S (MODE)	FRP_A_S (MODE)	FRT_A (TEMP)	FT_A_S (MODE)	FUELPW (TIME)	FUELSYS (FAULT)	FUEL_PRES (PRESS)
FUEL_PRES (PRESS)	FUEL_PRES (VOLT)	FUEL_P_DSD (PRESS)	GEAR (MODE)	HTR11 (MODE)	HTR11 (PER)	HTR12 (MODE)	HTR12 (PER)	IAT (TEMP)	IAT (VOLT)	IAT2 (TEMP)	IAT2 (VOLT)	IMRC # (MODE)
IMTV # (MODE)	INGEAR (MODE)	INJ_1 # (MODE)	INJ_2 # (MODE)	INJ_3 # (MODE)	INJ_4 # (MODE)	ISC_FBK (PER)	ISC_FBK_LRN (PER)	IVS (MODE)	KNOCKR (ANGL)	LOAD (PER)	LONGFT1 (PER)	LONGFT12 (PER)
LOW_OIL (MODE)	LRN_KCS (NUM)	MAF (FLOW)	MAF (VOLT)	MAP (PRESS)	MAP_V (VOLT)	MF_CAT1 (NUM)	MF_CAT_2 (NUM)	MF_CAT_3 (NUM)	MF_CAT_4 (NUM)	MF_CAT_FCC (NUM)	MF_CAT_TTL (NUM)	MF_EML1 (NUM)
MF_EML_2 (NUM)	MF_EML_3 (NUM)	MF_EML_4 (NUM)	MF_EML_FCC (NUM)	MF_EML_TTL (NUM)	MIL (MODE)	MIL_DIS (METER)	O2S11 (CUR)	O2S12 (VOLT)	OIL_P_SOL # (MODE)	OIL_TEMP (TEMP)	PH_SW (MODE)	PRE_CHG_DIS (METER)
REV_SW (MODE)	ROZFT1 (PER)	RPM (RPM)	SHRTFT1 (PER)	SHRTFT12 (PER)	SPARKADV (ANGL)	Test # (MODE)	TP1 (PER)	TP1 (VOLT)	TP2 (PER)	TP2 (VOLT)	TPCT (VOLT)	TPCT2 (VOLT)
TP_REL (PER)	VPWR (VOLT)	VSS (SPD)	VT_EX_ACT (ANGL)	VT_EX_DES (ANGL)	VT_EX_DUTY (PER)	VT_IN_ACT (ANGL)	VT_IN_DES (ANGL)					

Figura 65. Interfaz IDS Mazda vehículo Mazda 3 Skyactiv-g puerto OBD II

En la figura 65 se puede observar 125 ítems en el interfaz del IDS que presenta el vehículo Mazda 3 Syactiv-g, a diferencia del convencional este posee una cantidad mayor de sensores y actuadores, superando el monitoreo y control del motor en un 33,6%. Al igual que en el vehículo convencional los sensores y actuadores que interactúan en el motor emiten información por lo general presentada en voltaje, temperatura, presión, tiempos o ángulos, lo que nos permite evaluar criterios de fallas.

En la figura 66 se presenta valores que son censados en tiempo real durante el funcionamiento del motor, donde se observa el comportamiento del sensor de la temperatura ambiente, el ángulo de posición del pedal acelerador, las rpm deseadas en ese instante, la presión barométrica, la temperatura del catalizador, la temperatura del refrigerante del motor y relación de equivalencia, medidas que pueden ser comparadas

con las establecidas por el fabricante como valores de buen funcionamiento.

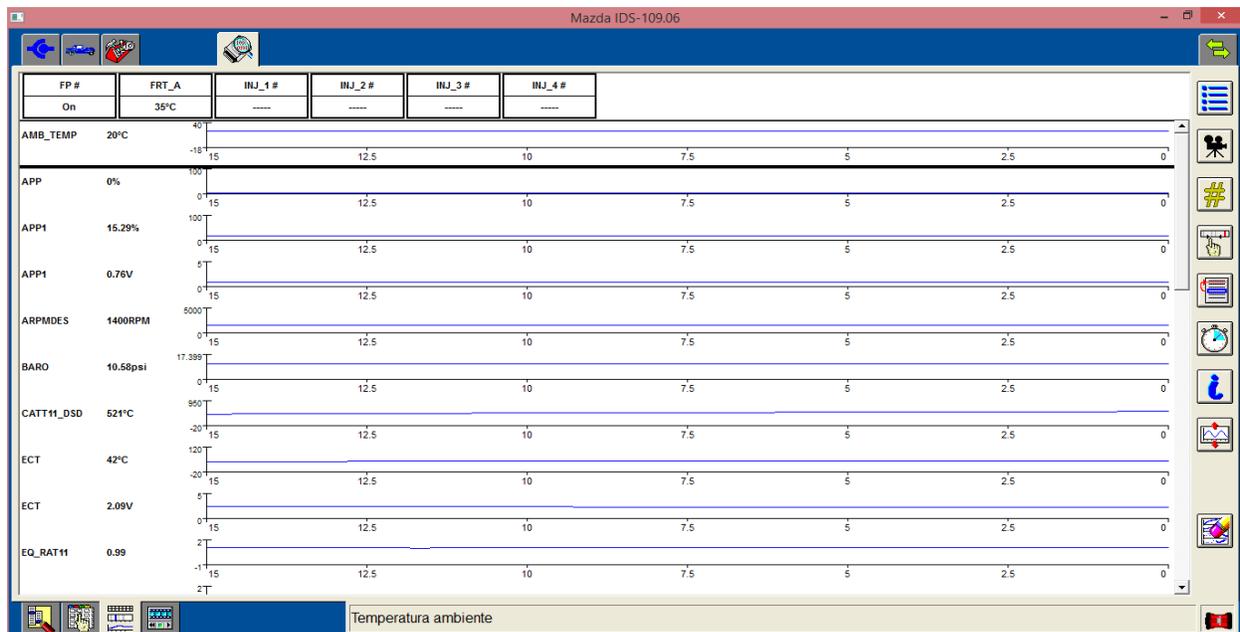


Figura 66. Pulsaciones y valores de funcionamiento de los sensores y actuadores del motor Mazda Skyactiv-g en tiempo real

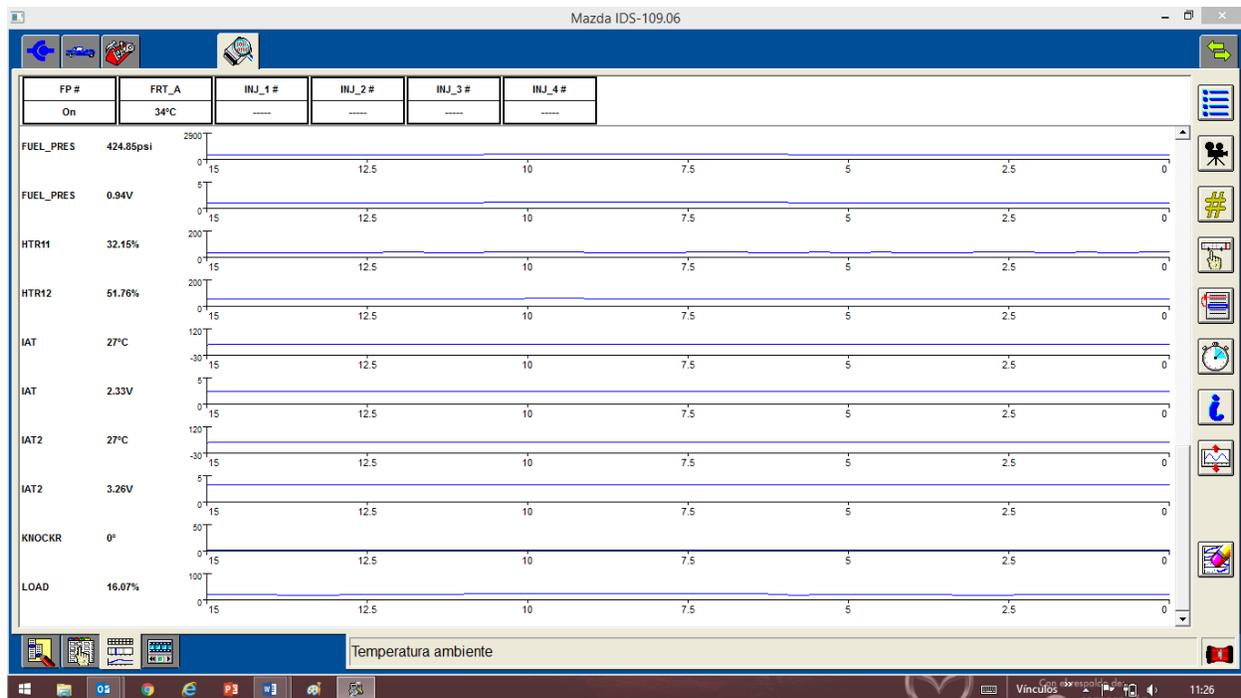


Figura 67. Pulsaciones y valores de funcionamiento de los sensores y actuadores del motor Mazda Skyactiv-g en tiempo real

En la figura 67 se refleja valores censados en tiempo real, donde se observa el comportamiento de algunos sensores seleccionados para analizar, teniendo así la presión del combustible, la cantidad de oxígeno presente, la temperatura del aire con que ingresa, sensor de golpeteo y sensor de carga, de donde se puede concluir varias apreciaciones de funcionamiento del motor.

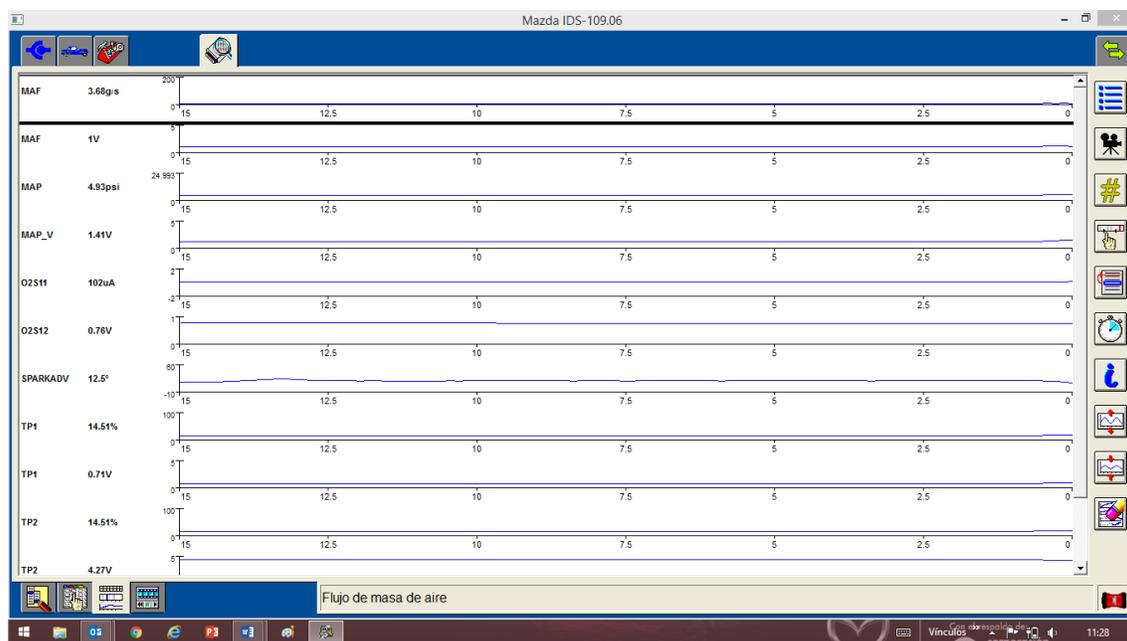


Figura 68. Pulsaciones y valores de funcionamiento de los sensores y actuadores del motor Mazda Skyactiv-g en tiempo real

En la figura 68 se puede censar valores en tiempo real de parámetros de funcionamiento del motor, donde se observa sensores como el medidor de volumen que ingresa al motor, sensor de supervisión de succión o vacío del múltiple, sensor de la cantidad de oxígeno en las emisiones, el adelanto al encendido, sensor que indica la

posición de la mariposa de aceleración, de los cuales se deduce que el funcionamiento del motor.

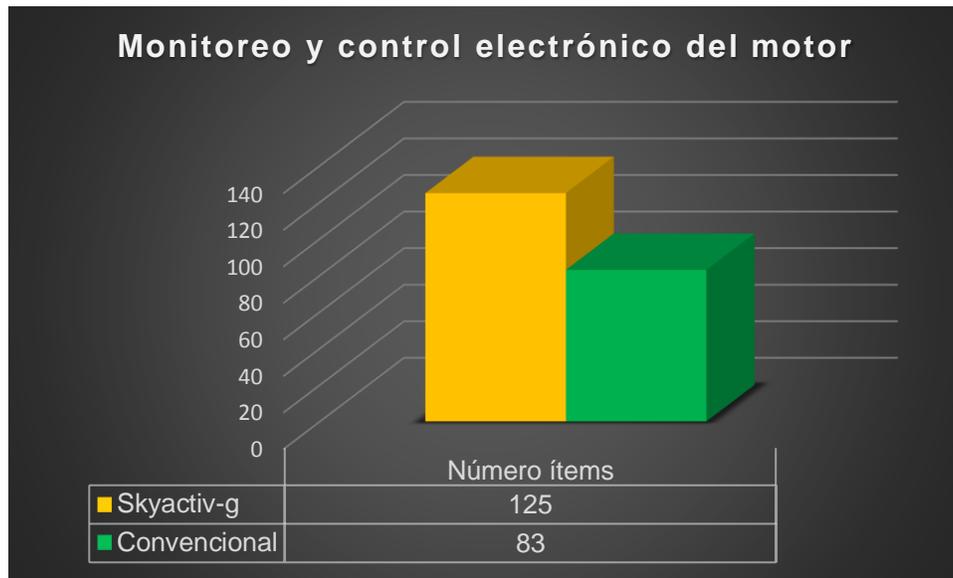


Figura 69. Análisis del aumento de ítems que monitorean y controlan el motor

En la figura 69 se observa el análisis del aumento de monitoreo y control del motor Skyactiv-g por medio de la cantidad de sensores y actuadores que posee en comparación con el motor convencional, teniendo 42 ítem adicionales para poder analizar su comportamiento. Se puede decir que este control y monitoreo aumento en un 33,6% esto debido a la tecnología que se desarrolló y a la precisión de funcionamiento y regulación de inyección.

Los valores censados en tiempo real de los que se consideran los sensores principales de control del motor de combustión interna se detallan a continuación en la tabla 50, realizando una comparación entre el monitoreo del motor Skyactiv-g y el convencional.

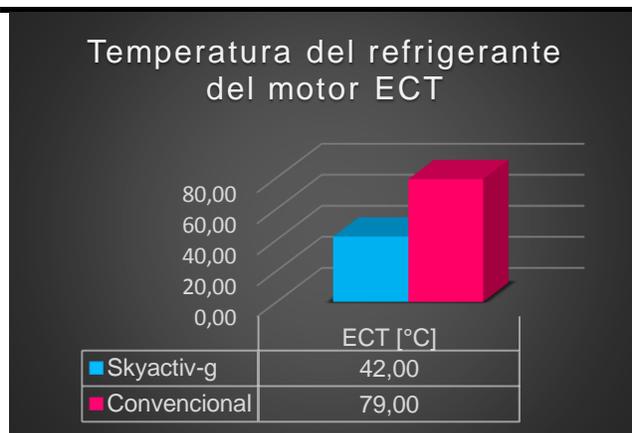
Tabla 50

Sensores que monitorean directamente el comportamiento funcional del motor

Ítem	Skyactiv-g	Convencional	Diferencia porcentual
ECT [°C]	42,00	79,00	46,84%
IAT [°C]	27,00	46,00	41,30%
MAF [g/s]	3,68	1,94	47,28%
MAP [psi]	4,93	3,62	26,57%
TP [v]	0,71	0,84	15,48%
O2S11 [v]	0,76	0,65	14,47%

Tabla 51

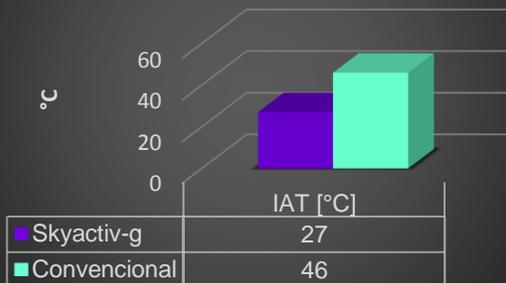
Análisis comparativo de los valores medidos en sensores



La temperatura del refrigerante del motor convencional es más alta que en el motor con Skyactiv.g en su funcionamiento. Teniendo una diferencia mayor del 46,84%, lo que puede determinar que el motor convencional necesita mayor trabajo del sistema de refrigeración.

CONTINÚA 

Temperatura del aire que ingresa al motor IAT



La temperatura del aire que ingresa al múltiple de admisión del motor Skyactiv-g es menor que el aire que entra al múltiple de admisión del motor convencional. Por un 41,30% el valor que registra el IAT del motor Skyactiv-g es menor.

Flujo de la masa del aire de ingreso



El flujo de la masa del aire medido en el motor Skyactiv-g es mayor que el del motor convencional, teniendo así una diferencia porcentual de 47,28% lo que se puede interpretar como que la demanda ingreso de aire en el motor Skyactiv-g es mayor que en el motor convencional.

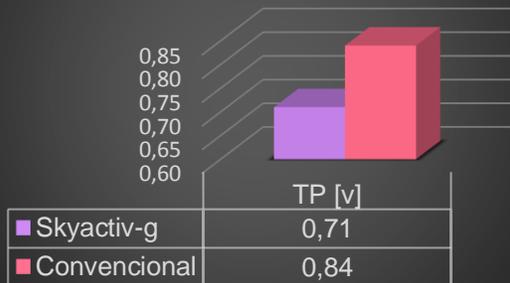
Presión absoluta en el múltiple de admisión



La presión absoluta en el múltiple de admisión es menor en el motor convencional con respecto al valor del motor con Skyactiv-g en un 26,57%.

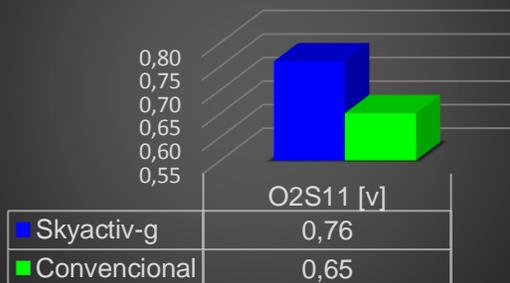
CONTINÚA 

Posición de la mariposa en el ingreso de aire



La posición de la mariposa en la garganta del ingreso del aire se indica por lo general en voltaje o ángulo de apertura, siendo proporcional el uno con el otro. En este caso el TP en voltaje medido del motor convencional es mayor que el del motor Skyactiv-g en un 15,48%, lo que se podría interpretar como que en el momento de medición la mariposa del motor convencional se encontraba mayormente abierta que la del convencional.

Sensor de la presencia de oxígeno



El sensor de oxígeno en el sistema Skyactiv-g censó un valor de voltaje mayor en 14,47% al del convencional lo que indica que la mezcla en el motor convencional fue más rica que en el motor con sistema Skyactiv-g.

4.9 Análisis del tiempo de inyección y señal de pulso se los inyectores

Los inyectores que dosifican combustible a los cilindros del motor Skyactiv-g son de alta presión y de alta precisión al inyectar, su tiempo de pulso de inyección es mucho menor al del motor convencional, así como su presión de inyección.

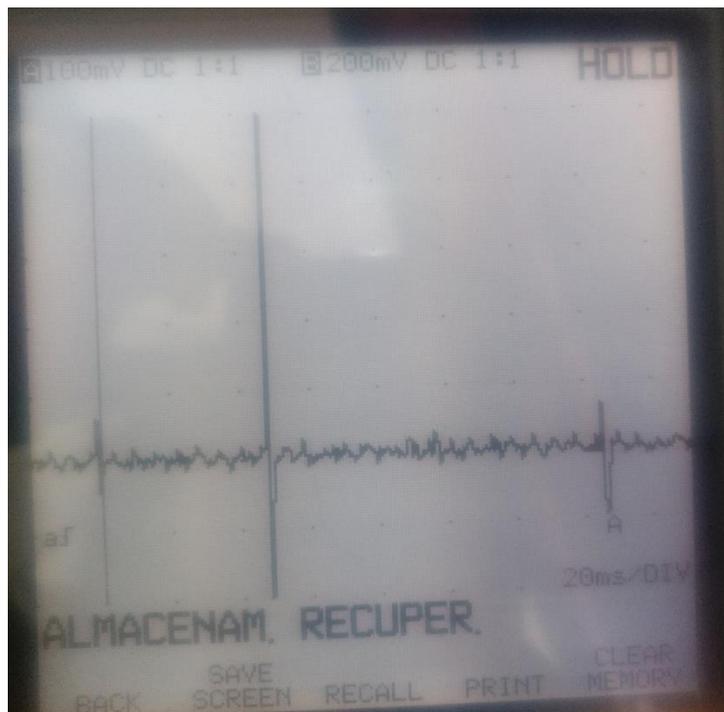


Figura 70. Oscilograma del pulso de inyección del inyector N°1

En la figura 70 se observa el oscilograma del inyector N° 1 del motor PE 2.0 con Skyactiv-g, donde el voltaje de excitación para la inyección de alta presión es de 25 mv aproximadamente en un tiempo de 1 ms para cada ciclo en ralentí.

Este inyector realiza su trabajo a una presión de 485 kPa, siendo muchas veces incluso el doble que la presión de inyección de un sistema común de inyección directa de combustible.

Conclusiones del capítulo

- Se aplicaron procedimientos y protocolos de uso regidos en el manual para la utilización de los equipos.
- Se tabularon resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el laboratorio del CCICEV de las cuales se generó las curvas de los parámetros del motor.
- Se logró evidenciar que existe una mejora en los parámetros de desempeño del motor 2.0 PE con tecnología Skyactiv-g con respecto al 2.0 LF convencional.
- Los valores de consumo de combustible fueron relativamente mayores en el motor Skyactiv-g, al contrario de lo que se esperaba.
- Se determinó que la tecnología Skyactiv-g necesita de mayor control y monitoreo para su funcionamiento eficaz.
- Se calculó el desempeño térmico de los motores sujetos a investigación, en donde el motor Skyactiv-g posee un rendimiento mayor al poseer una relación de compresión mayor al motor convencional.
- Con los resultados obtenidos en el capítulo se logró evidenciar y comparar con la información recopilada en bibliografías relacionadas, aportando y dando realce al sustento de la presente investigación.

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5.1 Recursos

Estos representan la estructura que permitió el desarrollo de la investigación durante cada una de las fases del proceso, y se enfoca en el recurso humano que intervino en el ciclo, los recursos tecnológicos que utilizó el recurso humano y los recursos materiales que se usaron para ser posible la investigación o donde se aplicó la investigación.

5.1.2 Recursos humanos

En cuanto al recurso humano que intervino en la realización de la investigación del proyecto de titulación se enfatiza a profesionales especializados en diferentes áreas técnicas, que colaboraron con su experiencia y conocimiento en las múltiples etapas que se detallan a continuación:

Estefanía Zurita Guato	Investigador y elaboración del proyecto
MSC. German Erazo Laverde	Investigador y elaboración del proyecto. Asesoría de pruebas en el dinamómetro

5.1.3 Recursos tecnológicos

Los recursos tecnológicos empleados en la investigación permitieron que el proyecto se lo realice de manera rápida y sencilla, en el transcurso de la realización de pruebas y tabulación de resultados que a continuación se detallaran:

Software LPS3000	Calibración y control prueba de potencia y torque.
Banco de potencia	Calibración y control prueba de análisis de gases contaminantes
IDS Mazda	Supervisión de sensores y actuadores de los vehículos Mazda
MESI web (Mazda Electronic Service Information)	Consultoría de manuales y protocolos de pruebas
Osciloscopio Fluke	Medición de oscilogramas
Microsoft Oficce (Word-excel-project)	Elaboración del escrito y tabulación de datos

5.1.4 Recursos materiales

Dichos recursos hacen referencia a los elementos físicos utilizados para llevar a cabo la investigación tanto al inicio como al final del mismo, entre estos se detallan:

- Automóvil sedan Mazda 3 convencional
- Automóvil sedan Mazda 3 Skyactiv-g
- Equipo de diagnóstico (Scanner automotriz IDS, Osciloscopio Automotriz)
- Caja de herramientas
- Equipos de medición automotrices (Dinamómetro de rodillos, Analizador de Gases, Limpiador de inyectores)
- Equipos electrónicos de escritorio (Laptop, calculadora)

5.2 Presupuesto

En la tabla 52 se desglosa los valores invertidos en el desarrollo de la investigación, enmarcando todos los recursos materiales y la gestión de funcionamiento de los mismos.

Tabla 52

Presupuesto invertido en el desarrollo de la investigación

Ord.	Descripción	Costo	Número	Costo total
1	Traslado de las unidades para el ensayo	48,00	4	192,00
2	Traslado urbano	3,00	26	78,00
3	Traslado interprovincial	5,00	20	100,00

CONTINÚA 

PRUEBAS DE TORQUE Y POTENCIA

4	Ensayo de torque y potencia Mazda 3 convencional	84,00	3	252,00
5	Ensayo de torque y potencia Mazda 3 Skyactiv-g	84,00	3	252,00

PRUEBAS DE CONSUMO

6	Ensayo de consumo Mazda 3 convencional	84,00	3	252,00
7	Ensayo de consumo Mazda 3 Skyactiv-g	84,00	3	252,00

PRUEBAS DE EMISIONES ESTÁTICAS

8	Ensayo de emisiones estáticas Mazda 3 convencional	28,00	3	84,00
9	Ensayo de emisiones estáticas Mazda 3 Skyactiv-g	28,00	3	84,00

IMPLEMENTOS DE LABORATORIO

10	Guaype	2,00	2	4,00
11	Mandil	35,00	1	35,00
12	Varios	55,00	1	55,00

COMBUSTIBLE

13	Gasolina super PRIMAX	12,00	1	12,00
14	Gasolina super PRIMAX	10,00	1	10,00

IMPLEMENTOS DE ESCRITORIO

15	Laptop	450,00	1	450,00
16	Impresiones	0,08	600	48,00
17	Copias	0,05	250	12,50
18	Otros	55,00	1	55,00

TOTAL 2227,50

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se investigó los parámetros característicos del motor de combustión interna 2.0 PE serie Mazda controlado a través del sistema Skyactiv-g con lo que se determinó torque, potencia, consumo y emisiones estáticas determinándose las gráficas características para poder generar una mejor apreciación y comparación.
- Se indagó información relevante para el desarrollo de la investigación el cual aportó en gran magnitud de fuentes confiables de bases digitales, repositorios académicos, artículos científicos y el uso de libros.
- Se analizó las características de operación de un motor con cilindraje de 2.0 Mazda a través de protocolos establecidos por normas internacionales ISO 1585 para torque y potencia, IM-240 para consumo de combustible y nacionales NTE 2003:2000 para las emisiones de escape.
- Se investigó los parámetros de funcionamiento tanto del motor convencional 2.0 LF, como el motor Skyactiv-g 2.0 PE; sus variaciones en los componentes mecánicos, su sistema de control electrónico y de operación.
- Se desarrollaron en el laboratorio especializado del CCICEV las pruebas de desempeño mecánico de donde se concluye que el valor de torque del motor Skyactiv-g es mejor en un 28,93% superando las expectativas de la tecnología Skyactiv-g, así mismo la potencia es mayor en un 33,38% en el motor Skyactiv-g en comparación al convencional, al contrario de ello el consumo fue ligeramente menor

en el motor convencional teniendo un ahorro del 7% en comparación al motor Skyactiv-g.

- Se matematizó tomando datos técnicos y mediciones, para determinar que el motor con tecnología Skyactiv-g posee mayor rendimiento que el motor convencional en un 7,68% al igual que la presión media del ciclo que es mayor en un 36,08 % a la del motor convencional, en oposición a esto el consumo másico de combustible calculado es menor en el motor 2.0 LF en un 28,4% presentando un consumo menos al motor Skyactiv-g.
- Se midió emisiones estáticas en ambos motores de investigación, donde se presenta que el monóxido de carbono (CO) en ralentí se presenta en mayor cantidad en el motor convencional en un 92,02% más que en motor Skyactiv-g, así como también a velocidades altas siendo mayores en un 96,63%.
- Del dióxido de carbono (CO₂) se presenta mayor presencia en el motor con Skyactiv-g, siendo mayores en ralentí en un 3,80% y en velocidades altas en un 2,36%. La emisión de hidrocarburos en cambio es mucho mayor en el motor convencional 2.0 LF en un 90,37% en ralentí y en un 89,74% en altas en comparación con el de nueva tecnología.
 - La presencia de oxígeno en las emisiones es mucho menor en el motor convencional que en el Skyactiv-g siendo así en ralentí mayor hasta en un 76,92% y en altas un 65,37%.

- En la medición lambda medida es ínfimamente menor en el motor convencional en ralentí en un 4,57%, así como es mayor en altas en el motor convencional en un 0,49%.
- Se matematizó termodinámicamente datos técnicos de los motores para realizar comparaciones en el ciclo del motor en cada uno de los puntos que delimitan la curva de trabajo, teniendo así como punto máximo de presión a la fase de expansión teniendo mayor presión en el motor Skyactiv-g en un 37,36% con respecto al convencional, como punto máximo de temperatura también en expansión siendo mayor en 9,58%, el volumen es variable para el motor Skyactiv-g debido a su ciclo y diagrama de mando irregular.
- El diagrama de mando del motor convencional se rige por el trabajo de una válvula de escape y dos válvulas de admisión, pretendiendo que el ingreso de la mezcla sea más efectivo, sin embargo el motor Skyactiv-g posee dos válvulas de admisión y dos válvulas de escape tomando en cuenta la importancia de las diferentes cargas que generan pérdida en el rendimiento del motor Skyactiv-g.
- La inyección directa de alta presión (GDI) que se realiza a 485 kPa aproximadamente posee un impulso de 30 mv en un tiempo de ciclo de inyección de 1 a 1,4 ms, a diferencia del convencional que inyecta a 350 kPa.
- Se escanearon los vehículos a fin de conocer los sensores que poseía cada uno y el comportamiento de los sensores que intervienen en el control del motor de combustión interna, el motor con tecnología Skyactiv-g posee mayor monitoreo y control que el convencional en un 33,6% debido a la complejidad de este motor.

- Se analizó todos los resultados obtenidos en la investigación y en cuanto a la comparación de los motores se concluye que el motor Skyactiv-g es un motor con mayor potencia y torque que el convencional tal como se esperaba, sin embargo no se refleja ahorro de combustible pero si reducción en las emisiones contaminantes.
- Se comparó los resultados de la matematización de lo cual se señala que el motor Skyactiv-g posee mayor rendimiento que el convencional, ya que esto se encuentra ligado al valor de la RC.
- Se contrastó y el motor Skyactiv-g con su tecnología busca que su volumen de llenado del cilindro sea menor al convencional para poder ganar una relación de compresión mayor y por tanto mejorar rendimientos.
- Se analizó lo investigado y se puede decir que la inyección directa de combustible a alta presión por seis orificios aumenta la refrigeración y estabilidad del motor con relación de compresión aumentada.
- Se comparó todos los parámetros y valores de la investigación de los motores concluyendo que el motor con tecnología Skyactiv-g cumple con el aumento de torque, potencia y relación de compresión, así mismo como con la reducción de emisiones contaminantes, pero no disminuye el consumo de combustible aunque si presenta un mejor rendimiento.

6.2 RECOMENDACIONES

- Investigar mejoras que se puedan implementar en los vehículos convencionales que permitan ser amigables con el medio ambiente en cuanto a consumo de combustibles fósiles y emisiones de escape.
- Se debe realizar las pruebas de los parámetros de desempeño de los motores a la misma altura y con la misma temperatura ambiente o similar para que no afecte estas variaciones en las mediciones de los equipos.
- Se recomienda realizar proyectos posteriores que investiguen y analicen el uso de la tecnología Skyactiv en otros sistemas del automóvil con proyección a la recreación de dichas mejoras en vehículos convencionales.
- Realizar una revisión y calibración previa de los equipos de medición para no adoptar errores en la obtención de datos.
- Utilizar equipos de seguridad personal al realizarlos ensayos tales como gafas, mascarillas, guantes, para evitar afecciones de salud.
- Antes de someter al automóvil a pruebas se debe verificar los niveles de aceite, refrigerante, agua para no tener problemas en el desarrollo de las mismas.

- Desarrollar investigaciones que abarque otros ciclos de potencia en los motores de combustión interna a gasolina para ampliar la gama de opciones de mejoras tecnológicas en la combustión.
- Verificar la ubicación correcta de los diferentes elementos del dinamómetro en el vehículo para obtener los datos más reales posibles en las mediciones.
- Se recomienda dar un adecuado manejo de los equipos e instrumentos de medición utilizados en el desarrollo de la investigación para evitar daños.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castillo, J., Rojas, V. & Martínez, J. (2017). Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina Mediante el Uso de Bujía con Sensor de Presión Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica.
- Cengel, A. Y. & Boles, M.A (2011). Termodinámica. México D.F.: Mc Graw Hill.
- Erazo Lopez J. E. (2016). Análisis del comportamiento de un motor de combustión interna a gasolina. (Disertación Ingeniería). Recuperado el 16 de febrero de 2018. Obtenido de: <https://docplayer.es/43002765-Analisis-del-comportamiento-de-un-motor-de-combustion-interna-a-gasolina.html>
- Escobar Tapia D. S. & Vaca Martinez A. D. (2010). Acondicionamiento de un motor de combustión interna a gasolina con sistema de inyección electrónica como maqueta didáctica para la implementación de los laboratorios de la especialidad en ingeniería electromecánica de la unidad académica de ciencias de la ingeniería y aplicadas de la universidad técnica de Cotopaxi, (Tesis de ingeniería). Recuperada el 22 de marzo de 2018. Obtenido de: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/1155>
- Estrada, A., & Hernández, P. (2009). El precio del petróleo y su efecto sobre el producto potencial. Eurosistema, 1 (902), 11-14.
- Fonseca Gonzales, N. E. (2012). Aspectos de la medición dinámica instantánea de emisiones de motores. Aplicación al desarrollo de un equipo portátil y una metodología para estudios de contaminación de vehículos en tráfico real (Disertación Masterado).

Recuperado el 23 de marzo de 2018. Obtenido de:
https://www.researchgate.net/profile/Natalia_Fonseca_Gonzalez/publication/285153249_Aspectos_de_la_medicion_dinamica_instantanea_de_emisiones_de_motores_Aplicacion_al_desarrollo_de_un_equipo_portatil_y_una_metodologia_para_estudios_de_contaminacion_de_vehiculos_en_trafico_real/links/565c271108aefe619b251e10/Aspectos-de-la-medicion-dinamica-instantanea-de-emisiones-de-motores-Aplicacion-al-desarrollo-de-un-equipo-portatil-y-una-metodologia-para-estudios-de-contaminacion-de-vehiculos-en-trafico-real.pdf

- Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil. (2008). Nuevos Combustibles y Tecnologías de Propulsión: Situación y Perspectivas para Automoción (1a. ed.). Madrid: Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil.
- Giacosa D. (1988) Motores endotérmicos: Motores de encendido por chispa: a carburación y a inyección Motores de encendido por compresión diésel lentos y rápidos Motores rotativos – Turbinas de gas – Teoría- Construcción- Pruebas. Barcelona: Omega
- Gonzales Calleja, D. G. (2015). Motores térmicos y sus sistemas auxiliares. Madrid: Paraninfo, SA.
- Goto, T., Isobe, R., Yamakawa, M. & Nishida, M. (2011). Industry gasoline engines. The new Mazda gasolina engine Skyactiv-g, 72, 40-46.
- Jóvaj, M. S., Máslov, G. S., & García, A. M. (1973). Motores de automóvil: teoría, cálculo y estructura de los motores de combustión interna. Moscú: MIR

- Kindler, H. & Kynast, H. (1986). Matemática aplicada para la técnica del automóvil (GTZ). Murcia: Reverté
- Liqui Moly. (2003). JetClean PLUS manual. Wieland: Liqui Moly.
- Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG. (2005). Analizador de gases 4/5 gases para el análisis de los gases de escape de vehículos equipados con motores Otto (Medición de flujo parcial) manual. (3a. ed.) España: Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG.
- Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG. (2005). Banco de potencia LPS 3000 manual. (1a. ed.). Haldenwang: Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG.
- Mayorga Gutiérrez F. M. & Núñez Freire J. M. (2015). banco de prueba para diagnóstico y mantenimiento en sistema de inyección a gasolina GDI. (Disertación Ingeniería). Recuperado el 27 de Marzo de 2018. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/10596>
- Mena L. (2011). Compilador de ejercicios de Motores de Combustión interna Diesel – Gasolina. Latacunga: Nueva Aurora.
- Muñoz, M. & Payri, F. (1994). Motores de combustión interna alternativos. Barcelona: Universidad Politécnica de Valencia.
- Quimbita Panchi A. I. & Guallichico Suntasig E. X. (2017). Determinación del potencial energético y mecánico del motor Mazda f2 al utilizar los tipos de gasolina comercial empleados en el Ecuador (Disertación Ingeniería) Recuperada el 20 de junio de 2018. Obtenido de: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13790/1/T-ESPEL-MAI-0592.pdf>

- Ruiz, R. (2007). Etapas del método científico: El método científico y sus etapas (pp.3-31). México D.F: Paraninfo.
- Ruiz, R. (2007). Introducción: El método científico y sus etapas (pp.3-31). México D.F: Paraninfo.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2009). Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas (1a. ed.). México D.F: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Urrecheaga K. & Malaver M. Análisis de las temperaturas y de la eficiencia térmica en el ciclo de Otto. PROFESORES AL DÍA [TERMODINÁMICA]. 14 (3), (138-141)

NETGRAFÍA

- De la Ossa, S. (2011). Métodos de investigación. In SlideShare, 1(1), 1-20. Recuperado de <https://es.slideshare.net/SandyDeLaOssa/mtodos-de-invetigacion>.
- Mazda Electronic Service Information (s.f). Recuperado el 5 de mayo de 2018. Obtenido de: http://esi.mazda.co.jp/scripts/public/pu_login.asp
- Mazda Colombia. (Mazda Motor Corporation). (2012). SKYACTIV-G (Gasolina) [youtube]. Recuperado el 22 de marzo de 2018. Obtenido de <http://www.mazda.com.co/tecnologia/tecnologia-skyactiv/>

- MAZDA Skyactiv – Español. (Mazda Motor Corporation). (2016). MAZDA Skyactiv [youtube]. Recuperado el 10 de enero de 2018. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=A0VYH_rHKds&t=58s

NORMAS

- Ministerio de desarrollo económico. (2001). *Norma Técnica Colombiana 1930: Traducción al español norma ISO 1585:1992*. Bogotá: Ministerio de desarrollo económico.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2000). *NTE 2203:2000. Medición de emisiones de gases de escape en motores de combustión interna*. Quito: INEN.
- Regulación federal de los Estados Unidos de América. (s.f). *Resolución 61/99 Anexo I*. Estados Unidos: Regulación federal de los Estados Unidos de América.

ANEXOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita: MARÍA ESTEFANÍA ZURITA GUATO.

En la ciudad de Latacunga, al treinta y uno del mes de agosto de 2018

Ing. German Erazo

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DE CARRERA

Aprobado por:

Dr. Darwin Albán Yépez
SECRETARIO ACADÉMICO