



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto de Investigación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico.

Título del Proyecto de Investigación:

**“CARACTERIZACIÓN DEL MAPA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE
PARA UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE ENCENDIDO
PROVOCADO EN CONDICIONES REALES DE FUNCIONAMIENTO”**

Autor:

Daniela María Borrero Sandoval

Director del proyecto de investigación:

PhD. Edwin Raúl Grijalva Campana

Quevedo – Los Ríos – Ecuador.

2021

2021

Caracterización del mapa de consumo de combustible para un motor de combustión interna de encendido provocado en condiciones reales de funcionamiento.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Daniela María Borrero Sandoval**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Daniela María Borrero Sandoval

C.C # 2450294562

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **PhD. EDWIN RAÚL GRIJALVA CAMPANA**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante **DANIELA MARÍA BORRERO SANDOVAL**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**Caracterización del mapa de consumo de combustible para un motor de combustión interna de encendido provocado en condiciones reales de funcionamiento**”, previo a la obtención del título de **Ingeniera Mecánica**, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.



.....
PhD. Edwin Raúl Grijalva Campana

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

Por medio del presente me permito certificar, que la Srta. **DANIELA MARÍA BORRERO SANDOVAL**, egresada de la carrera de Ingeniería Mecánica, una vez revisada la tesis de grado titulada “**Caracterización del mapa de consumo de combustible para un motor de combustión interna de encendido provocado en condiciones reales de funcionamiento**”, tengo a bien informar que se realizó la revisión respectiva por medio del sistema Urkund, con un porcentaje favorable del 8%, cumpliendo con el reglamento de Graduación de Estudiantes de Pregrado y la Normativa establecida por la Universidad.

Se adjunta el resultado del sistema URKUND

Document Information

Analyzed document	TESIS BORRERO DANIELA.pdf (D117593888)
Submitted	2021-11-05 18:19:00
Submitted by	
Submitter email	daniela.borrero2016@uteq.edu.ec
Similarity	8%
Analysis address	egrijalvac.uteq@analysis.urkund.com



.....
PhD. Edwin Raúl Grijalva Campana

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Caracterización del mapa de consumo de combustible para un motor de combustión interna de encendido provocado en condiciones reales de funcionamiento”

Presentado al Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de Ingeniera Mecánica.

Aprobado por:



Firmado electrónicamente por:
**ERNESTO JAVIER
RUANO HERRERÍA**

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Ernesto Ruano Herrería. MSc



Firmado electrónicamente por:
**RODGER
BENJAMIN
SALAZAR LOOR**

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Rodger Salazar Loor. MSc



Firmado electrónicamente por:
**DANIEL ROBERTO
ZAPATA HIDALGO**

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Daniel Zapata Hidalgo. MSc

QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR

2021

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitirme estar hoy aquí escribiendo mi proyecto investigativo y tener a todos mis seres queridos con salud y bienestar. Toda mi carrera profesional se ha forjado a base del siguiente pensamiento: “Esfuézate que poco a poco se logrará”, por lo tanto, el agradecimiento se dirige hacia todas y cada una de las personas que me abrieron las puertas para formarme como un ser humano paciente, responsable y actualmente como Ingeniera Mecánica.

Daniela María Borrero Sandoval.

DEDICATORIA

Mi proyecto investigativo se lo dedico a mis padres Juan Carlos Borrero y María Sandoval que siempre creyeron en mí a pesar de las dificultades que se presentaron.

A Juan Sebastián Vera Borrero, que es mi motor fundamental.

A mi hermano Juan Daniel Borrero, por estar conmigo en las buenas y malas.

A mi tía Bertha Sandoval, por ser una fuente de apoyo e inspiración.

A Stuart Peralta, por su gran dedicación de cariño y tiempo hacia mí.

A mis familiares que desde la distancia me deseaban siempre lo mejor.

A mis compañeros de clase, que fueron personas excepcionales y excelentes amigos.

Daniela María Borrero Sandoval.

RESUMEN

El proyecto investigativo tiene como objetivo principal caracterizar el mapa de consumo específico de combustible de un auto liviano Kia Sportage del año 2010. La investigación se centra en el motor de encendido provocado del automóvil que trabaja bajo el Ciclo Otto. El modelo establecido es Motor Beta 2.0 L de tipo DOHC. En esta investigación se realizaron 10 pruebas de ruta, las cuales se ejecutaron en la vía Santo Domingo – Quevedo. Durante la experimentación se utilizaron instrumentos los cuales son CAN edge1 y la estación portátil multifunción Skywatch GEOS 11 para la obtención de datos indispensables en el estudio. El dispositivo CAN edge1 es un instrumento de diagnóstico a bordo que funciona bajo el protocolo OBDII y entrega variables específicas en tiempo real. A partir de los parámetros obtenidos se calcula el flujo másico de aire en $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$, debido a que el automóvil no cuenta con sensor MAF y posteriormente se calcula el SFC (Consumo específico de combustible). Una vez obtenidos los valores de SFC, se procede a caracterizar de manera puntual en un diagrama que se encuentra en función al par y potencia establecidas para el motor del auto. A su vez se evidenció las curvas características del motor generadas por el fabricante en condiciones ideales y el diagrama obtenido mediante la experimentación en las pruebas de ruta ejecutadas en condiciones de operación. Este diagrama permite verificar que los resultados se mantienen por debajo de la curva característica generada por el fabricante.

Palabras clave: Consumo específico de combustible, Curvas características del motor, Motor Beta II, Sensor MAF.

ABSTRACT

The main objective of the research project is to characterize the specific fuel consumption map of a 2010 Kia Sportage light car. The research is focused on the car's spark ignition engine working under the Otto Cycle. The established model is Beta 2.0 L engine of DOHC type. In this research 10 road tests were carried out, which were executed on the Santo Domingo - Quevedo. During the experimentation, CAN edge1 and the Skywatch GEOS 11 portable multifunction station were used to collect the data required for the study. The CAN edge1 device is an on-board diagnostic instrument that works under the OBDII protocol and delivers specific variables in real time. From the parameters obtained, the air mass flow in $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$ is calculated, since the car does not have a MAF sensor, and then the SFC (Specific Fuel Consumption) is calculated. Once the SFC values have been obtained, we proceed to characterize them in a diagram that is a function of the torque and power established for the car's engine. At the same time, the characteristic curves of the engine generated by the manufacturer under ideal conditions and the diagram obtained through experimentation in the road tests carried out under operating conditions were shown. This diagram allows us to verify that the results remain below the characteristic curve generated by the manufacturer.

Keywords: Specific fuel consumption, Engine characteristic curves, Beta II engine, MAF sensor.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
CÓDIGO DUBLÍN	xx
NOMENCLATURA.....	xxii
GLOSARIO DE TÉRMINOS	xxiv
1. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. Problema de investigación.	3
1.1.1. Planteamiento del problema.	3
1.1.2. Formulación del problema.	3
1.1.2. Sistematización del problema.....	4
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo General.	4
1.2.2. Objetivos Específicos.....	4
1.3. Justificación.	5

CAPÍTULO II.....	6
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	6
2.1. Marco conceptual.....	7
2.1.1. Motor.....	7
2.1.2. Motor de combustión interna.	7
2.1.3. Ciclo Otto.	8
2.1.4. Par.....	8
2.1.5. Potencia.	9
2.1.6. Componentes del motor de combustión interna.	9
2.1.7. Tiempos de un motor de combustión interna.	10
2.1.8. Características del Motor Beta – II DOHC.	11
2.1.9. Características del vehículo de experimentación.	13
2.1.10. Sensores Automotrices.....	14
2.1.12. Parámetros de identificación PIDs.	20
2.1.13. Combustible.	21
2.1.15. Consumo específico de combustible.....	23
2.1.15.1. Consumo de combustible en l/100 km	24
2.1.16. Flujo másico de aire consumido por el vehículo.....	24
2.1.17. Presión media efectiva.	25
2.1.18. Caudal de combustible.	25
2.1.18.1. Flujo másico de combustible.....	26
2.1.18.2. Método para la determinación del consumo de combustible en ruta.	26
2.1.19. Mapa de motor.	26
2.1.19.1. Mapa de consumo de combustible específico.	27
2.1.19. Parámetros principales para la generación del mapa de consumo de combustible en un MCI.	27
2.1.20. Propiedades termodinámicas del sitio de las pruebas de ruta.	29

2.2. Marco referencial.....	31
2.2.1. Metodología de medición SFC en vehículos en operación.....	32
CAPÍTULO III	33
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	33
3.1. Localización.....	34
3.2. Tipo de investigación.....	36
3.2.1. Investigación descriptiva.....	36
3.2.2. Investigación bibliográfica.....	36
3.2.3. Investigación de campo.....	36
3.2.4. Investigación cuantitativa.....	37
3.3. Métodos de investigación.....	37
3.3.1. Método Comparativo.....	37
3.3.2. Validez y confiabilidad de instrumentos.....	37
3.4. Fuentes de recopilación de información.....	38
3.5. Diseño de la investigación.....	39
3.5.1. Diseño experimental.....	39
3.6. Instrumentos de investigación.....	40
3.6.1. CAN edge1.....	40
3.6.2. Estación portátil Skywatch GEOS 11.....	41
3.6.3. Canmod GPS.....	42
3.7. Tratamientos de los datos.....	42
3.8. Recursos humanos y materiales.....	43
3.8.1. Equipos.....	43
3.8.2. Recursos.....	43
CAPÍTULO IV	44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1. Proceso de obtención de datos experimentales.....	45

4.1.1. Horario de ejecución de las pruebas de ruta.	45
4.1.2. Proceso de obtención de datos.	46
4.2. Reconocimiento de variables de trabajo.	47
4.2.1. Par.....	47
4.2.2. Potencia efectiva.	48
4.2.4. Flujo volumétrico de aire.	49
4.2.5. Flujo másico de aire.	50
4.2.6. Caudal de combustible (gasolina).	50
4.2.7. Flujo másico de combustible.....	50
4.2.8. Consumo de combustible específico del freno.....	51
4.2.10. Proceso de obtención de mapas de contorno de consumo de combustible.	53
4.3. Discusión.	57
4.3.1. Ausencia de sensor MAF.	57
4.3.2. Curva RPM frente a Par – RPM frente a Potencia.....	58
4.3.3. Caracterización de mapa de consumo específico de combustible.....	62
CAPÍTULO V	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
5.1. Conclusiones.....	73
CAPÍTULO VI	75
BIBLIOGRAFÍA	75
6.1. Bibliografía.....	76
CAPÍTULO VII.....	79
ANEXOS	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del Motor Beta II.....	12
Tabla 2. Características del vehículo.....	13
Tabla 3. PIDS CAN edge1.....	21
Tabla 4. Requerimientos de la gasolina según norma NTE INEN 935.....	22
Tabla 5. Poder calorífico superior e inferior de la gasolina.....	23
Tabla 6. Características meteorológicas de Santo Domingo.....	35
Tabla 7. Características meteorológicas de Quevedo.....	35
Tabla 8. Horario pruebas de ruta.....	46
Tabla 9. Consumo de combustible.....	52
Tabla 10. Flujo másico y potencia en distintos regímenes.....	57
Tabla 11. Regímenes de operación.....	62

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Componentes de Motor de Combustión Interna.....	7
Ilustración 2. Ciclo Otto.....	8
Ilustración 3. Partes principales de un MCI.....	10
Ilustración 4. Tiempos de un MCI.....	11
Ilustración 5. Motor Beta II 2.0 L.....	12
Ilustración 6. Vehículo Kia Sportage 2010.....	14
Ilustración 7. Sensores.....	15
Ilustración 8. Sensor MAP.....	16
Ilustración 9. Inyector.....	16
Ilustración 10. Sensor CKP.....	17
Ilustración 11. Sensor MAF.....	18
Ilustración 12. Sensor IAT.....	18
Ilustración 13. Sensor TPS.....	19
Ilustración 14. CAN edge 1.....	20
Ilustración 15 Mapa de consumo de combustible.....	28
Ilustración 16. Mapa parametrizado de SFC.....	31
Ilustración 17. Probador de rodillos.....	32
Ilustración 18. Ubicación de la prueba de ruta.....	34
Ilustración 19. Coeficiente de Correlación de Pearson.....	38
Ilustración 20. Diseño de la investigación.....	40
Ilustración 21. CAN edge1 - Equipo de medición.....	41
Ilustración 22. Estación multifunción portátil Skywatch.....	41
Ilustración 23. Canmod GPS.....	42
Ilustración 24. Proceso de obtención de datos.....	46
Ilustración 25. Curva estándar RPM frente a Par-Potencia.....	47
Ilustración 26. Curva estándar – ScanIt.....	48
Ilustración 27. Consumo de combustible l/100 km.....	53
Ilustración 28. Hoja de trabajo – Minitab.....	54
Ilustración 29. Construcción del mapa.....	54
Ilustración 30. Proceso de interpolación.....	55
Ilustración 31. Edición de líneas de contorno.....	55

Ilustración 32. Mapa de consumo de combustible.....	56
Ilustración 33. RPM frente flujo másico y potencia a distintos regímenes.	58
Ilustración 34. Curva RPM frente a Par-Potencia.....	59
Ilustración 35. Diagrama RPM frente a Par.....	60
Ilustración 36. Diagrama RPM frente a Potencia.	61
Ilustración 37. Par frente a SFC.....	62
Ilustración 38. Mapa de consumo.	67

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Potencia.....	9
Ecuación 2. Consumo específico de combustible.....	24
Ecuación 3. Consumo de combustible.....	24
Ecuación 4. Flujo volumétrico teórico de aire.....	25
Ecuación 5. Flujo másico de aire.....	25
Ecuación 6. Presión media efectiva.....	25
Ecuación 7. Caudal de combustible.....	26
Ecuación 8. Flujo másico de combustible.....	26
Ecuación 9. Potencia efectiva.....	28
Ecuación 10. Densidad.....	29
Ecuación 11. Densidad del aire.....	30
Ecuación 12. Litros repostados.....	70

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de consumo de combustible – Prueba 1.	80
Anexo 2. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 1.	80
Anexo 3. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 1.....	81
Anexo 4. Mapa de consumo de combustible – Prueba 2.	81
Anexo 5. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 2.	82
Anexo 6. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 2.....	82
Anexo 7. Mapa de consumo de combustible – Prueba 3.	83
Anexo 8. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 3.	83
Anexo 9. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 3.....	84
Anexo 10. Mapa de consumo de combustible – Prueba 4.	84
Anexo 11. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 4.	85
Anexo 12. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 4.....	85
Anexo 13. Mapa de consumo de combustible – Prueba 5.	86
Anexo 14. Gráficas de RPM frente a Par - Prueba 5.....	86
Anexo 15. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 5.....	87
Anexo 16. Mapa de consumo de combustible – Prueba 6.	87
Anexo 17. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 6.	88
Anexo 18. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 6.....	88
Anexo 19. Mapa de consumo de combustible – Prueba 7.	89
Anexo 20. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 7.	89
Anexo 21. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 7.....	90
Anexo 22. Mapa de consumo de combustible – Prueba 8.	90
Anexo 23. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 8.	91
Anexo 24. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 8.....	91
Anexo 25. Mapa de consumo de combustible – Prueba 9.	92
Anexo 26. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 9.	92
Anexo 27. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 9.....	93
Anexo 28. Mapa de consumo de combustible – Prueba 10.	93
Anexo 29. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 10.	94
Anexo 30. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 10.....	94
Anexo 31. Ficha técnica motores Hyundai.	95

Anexo 32. Vista frontal.....	95
Anexo 33. Vista izquierda.....	96
Anexo 34. Vista derecha.....	96
Anexo 35. Vista posterior.....	97
Anexo 36. Conexión vehículo – OBDII.....	97
Anexo 37. Conexión OBDII.....	98
Anexo 38. Conexión OBDII.....	98

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	Caracterización del mapa de consumo de combustible para un motor de combustión interna de encendido provocado en condiciones reales de funcionamiento.			
Autor:	<u>Borrero Sandoval Daniela María</u>			
Palabras clave:	Consumo específico de combustible (SFC)	Curvas características del motor	Motor Beta II	Sensor MAF
Fecha de publicación:				
Editorial:	Quevedo: UTEQ, 2021.			
Resumen: (hasta 300 palabras)	<p>Resumen. - El proyecto investigativo tiene como objetivo principal caracterizar el mapa de consumo específico de combustible de un auto liviano Kia Sportage del año 2010. La investigación se centra en el motor de encendido provocado del automóvil que trabaja bajo el Ciclo Otto. El modelo establecido es Motor Beta 2.0 L de tipo DOHC. En esta investigación se realizaron 10 pruebas de ruta, las cuales se ejecutaron en la vía Santo Domingo – Quevedo. Durante la experimentación se utilizaron instrumentos los cuales son CAN edge1 y la estación portátil multifunción Skywatch GEOS 11 para la obtención de datos indispensables en el estudio. El dispositivo CAN edge1 es un instrumento de diagnóstico a bordo que funciona bajo el protocolo OBDII y entrega variables específicas en tiempo real. A partir de los parámetros obtenidos se calcula el flujo másico de aire en $\frac{kg}{s}$, debido a que el automóvil no cuenta con sensor MAF y posteriormente se calcula el SFC (Consumo específico de combustible). Una vez obtenidos los valores de SFC, se procede a caracterizar de manera puntual en un diagrama que se encuentra en función al par y potencia establecidas para el motor del auto. A su vez se evidenció las curvas características del motor generadas por el fabricante en condiciones ideales y el diagrama obtenido mediante la experimentación en las pruebas de ruta ejecutadas en condiciones de operación. Este diagrama permite verificar que los resultados se mantienen por debajo de la curva característica generada por el fabricante.</p> <p>Abstract. - The main objective of the research project is to characterize the specific fuel consumption map of a 2010 Kia Sportage light car. The research is focused on the car's spark ignition engine working under the Otto Cycle. The established model is Beta 2.0 L engine of DOHC type. In this research 10 road tests were carried out, which were executed on the Santo Domingo - Quevedo. During the experimentation, CAN edge1 and the Skywatch GEOS 11 portable multifunction station were used to collect the data required for the study. The CAN edge1 device is an on-board diagnostic instrument that works under the OBDII protocol and delivers specific variables in real time.</p>			

	<p>From the parameters obtained, the air mass flow in $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$ is calculated, since the car does not have a MAF sensor, and then the SFC (Specific Fuel Consumption) is calculated. Once the SFC values have been obtained, we proceed to characterize them in a diagram that is a function of the torque and power established for the car's engine. At the same time, the characteristic curves of the engine generated by the manufacturer under ideal conditions and the diagram obtained through experimentation in the road tests carried out under operating conditions were shown. This diagram allows us to verify that the results remain below the characteristic curve generated by the manufacturer.</p>
Descripción:	124 hojas: dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM
URI:	

NOMENCLATURA

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
CAN	Controller Area Network (Controlador de Red de Zona)
CKP	Sensor de posición del cigüeñal
DBC	Dynamic Brake Control (Control Dinámico de Frenado)
DOHC	Double Overhead Camshaft (Doble Árbol de Levas)
ECM	Módulo de Control Electrónico
ECU	Unidad de Control Electrónico
GNSS	Global Navigation Satellite System (Sistema Global de Navegación por Satélite)
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
IAT	Intake Air Temperature (Temperatura de Entrada de Aire)
ICH	Harmonised Tripartite Guideline
IDE	Integrated Development Environment (Entorno de Desarrollo Integrado)
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
MAF	Mass Air Flow (Flujo Másico de Aire)
MAP	Manifold Absolute Pressure (Presión Absoluta del Múltiple)
MCI	Motor de Combustión Interna
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PIDs	Control Proporcional Integral Derivativo
PME	Presión Media Efectiva

PMI	Punto Muerto Inferior
PMS	Punto Muerto Superior
RPM	Revoluciones Por Minuto
SAE	Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros de Automoción)
SD	Secure Digital
SFC	Specific Fuel Consumption (Consumo Específico de Combustible)
TCM	Módulo de Control de la Transmisión
TPS	Throttle Position Sensor (Posición de la Mariposa)

GLOSARIO DE TÉRMINOS

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
∂	Factor de conversión rpm a rps (0,016)	--
α	Revolución por carrera de potencia	--
f	Consumo de combustible	$\frac{l}{100 \text{ km}}$
h_r	Humedad relativa	%
km_{anual}	Kilometraje anual	km
l_{rep}	Litros reposteados	l
m	Masa	kg
\dot{m}	Flujo másico de aire	$\frac{kg}{s}$
MAF	Flujo de aire admitido	$\frac{gal}{h}$
M_p	Flujo másico de combustible	$\frac{kg}{h}$
nc	Factor de 4 tiempos del motor	--
N	Revoluciones por minuto	rpm
ρ	Densidad	$\frac{kg}{m^3}$
ρ_a	Densidad del aire	$\frac{kg}{m^3}$
$\dot{\rho}_c$	Densidad de combustible	$\frac{kg}{m^3}$
P	Potencia	kW
PME	Presión media efectiva	MPa

P_{atm}	Presión Atmosférica	hPa
P_e	Potencia efectiva	kW
\dot{Q}_c	Caudal de combustible	$\frac{m^3}{s}$
SFC	Consumo específico de combustible	$\frac{g}{kWh}$
T	Par	Nm
t	Tiempo	s
V	Volumen	m^3
\dot{v}	Volumen de llenado	m^3
V_d	Flujo volumétrico de aire	$\frac{m^3}{s}$
vs	Velocidad del vehículo	$\frac{km}{h}$
w	Velocidad angular	$\frac{rad}{s}$

1. INTRODUCCIÓN

El consumo de combustible de un vehículo de carretera es una característica fundamental para su puesta en marcha. Dicho consumo se puede cuantificar por medio de varios métodos o ensayos, para los cuales se deben plantear una serie de variables en cuanto a las condiciones ambientales, tipo de vehículo y ciclos de conducción.

En un laboratorio mediante un dinamómetro se puede determinar el consumo específico de combustible y otros parámetros técnicos del motor de combustión interna en distintas condiciones de funcionamiento. Una vez realizada esta actividad se obtienen datos que deben ser procesados para en lo posterior convertirse en diagramas característicos del motor, denominados mapas de consumo.

El principal objetivo de esta investigación es la obtención de mapas de consumo de combustible idóneos en condiciones de operación distintas a la estándar, es decir a presión atmosférica de 101,3 kPa y 25°C de temperatura ambiente, indicando las zonas óptimas del motor a nivel experimental. La ruta establecida para el ensayo es la vía Santo Domingo – Quevedo, la cual presenta una presión atmosférica 102,4 kPa, con una temperatura ambiente promedio de 21°C.

La problemática de estudio, se fundamenta en que los mapas de consumo de motor de los fabricantes difieren con respecto a los automóviles particulares de acuerdo al lugar donde se realiza la ruta, debido a que cada empresa fabricante genera sus respectivos mapas en condiciones estándar, surge la idealización de plantear ensayos en condiciones distintas para encontrar mapas de consumo específicos de acuerdo al ciclo de conducción que ejerce el motor con una velocidad en un instante de tiempo dentro de un área determinada. Los ensayos son ejecutados en el automóvil Kia Sportage, Active 2.0 del año 2010. Es un vehículo utilitario deportivo, posee una potencia máxima de 102 kW a 6000 rpm y un par de 184 Nm a 4500 rpm. Es un motor a gasolina con una cilindrada de 1975 cm³ con 4 cilindros en línea.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

El problema de investigación surge debido a que el mapa de consumo específico de combustible para el motor está generado en condiciones estándar de funcionamiento, por ende, se ejecutan pruebas de ruta desde la ciudad de Santo Domingo en dirección hacia Quevedo con el objetivo de recolectar las variables de operación fundamentales para el proceso de caracterización de las curvas de par y potencia y los respectivos mapas de contorno del consumo de combustible específico.

Con el avance de la tecnología se denota la importancia que tienen las pruebas de ensayo en el funcionamiento de vehículos, que, a través de pruebas de manejo y rendimiento se pueden obtener datos de relevante importancia, sin embargo, algunas pruebas son realizadas en condiciones que no son cercanas a los factores de operación que un automóvil experimenta en terreno real. Es por esto por lo que los datos proporcionados por los fabricantes no son del todo óptimos para obtener el parámetro de consumo de combustible ideal en diferentes puntos de operación.

A través de la presente investigación se pretende obtener mapas de consumo de combustible en condiciones reales, ya que el fabricante posee mapas estándares que difieren con la realidad, por lo tanto, la cantidad de combustible que utiliza el motor para realizar un trabajo útil es desconocida bajo pares y rpm variables.

1.1.2. Formulación del problema.

Hoy en día es fundamental que un motor de encendido provocado sea eficiente, en cuanto al rendimiento mecánico requerido para realizar un trabajo útil en un determinado tiempo. Debido a esto surge la necesidad de establecer el consumo de combustible específico al freno en condiciones operativas distintas a las ideales.

1.1.2. Sistematización del problema.

- ¿Cómo impactan los requerimientos de par y el principio de perfil de velocidades en un motor Ciclo Otto?
- ¿Cuáles son los parámetros que inciden en el consumo de combustible en un motor con Ciclo Otto?
- ¿Cómo se pueden transformar los datos obtenidos mediante los equipos de medición a mapas de consumo de combustible?
- ¿Se puede optimizar el consumo de combustible en una ruta específica?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo General.

Obtener mapas de consumo de un motor de combustión interna Ciclo Otto a través de métodos experimentales.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Investigar mediante documentación bibliográfica las características del vehículo en el cual se llevará a cabo el proyecto investigativo.
- Describir los factores que inciden en el consumo de combustible al freno en el vehículo Kia Sportage, active 2.0, 2010.

- Medir parámetros como velocidad, presión atmosférica, revoluciones por minuto, par y potencia para la recolección de datos en tiempo real del vehículo en operación.
- Analizar los resultados obtenidos por los equipos de experimentación para la obtención de los diagramas de consumo específicos del vehículo en condiciones en ruta.

1.3. Justificación.

Para determinar el consumo de combustible específico de un automóvil existen los mapas de consumo establecidos por el fabricante, los cuales son obtenidos mediante ensayo en condiciones estándar. En la cotidianidad no siempre se presentan las condiciones ideales, es más, existen variables distintas que interfieren en dicho consumo. Las condiciones climáticas no son las mismas que la expuestas en las pruebas de fábrica, es por esto por lo que el presente documento recopila la información suficiente para la creación de gráficas y/o tablas paramétricas de un automóvil en las condiciones requeridas, una vez realizadas dichas parametrizaciones, deben ser analizadas para su posterior transformación a través del equipo OBDII a datos puntuales en mapas de consumo, el cual es generado en función del par y la potencia del motor.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual.

2.1.1. Motor.

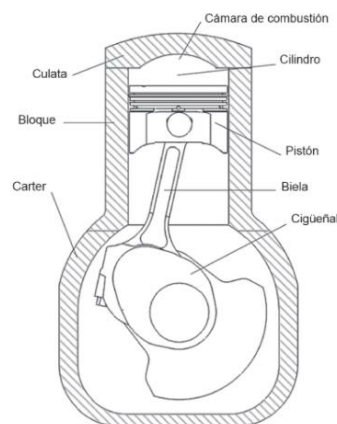
El motor es una máquina que permite el funcionamiento del sistema, ejecuta un trabajo que es transformar la energía eléctrica o de combustión en energía mecánica para ejercer el movimiento necesario del elemento que lo contiene.

2.1.2. Motor de combustión interna.

Se trata de un motor térmico de desplazamiento positivo, en el cual el trabajo se produce mediante el desplazamiento lineal del émbolo de un mecanismo denominado biela-manivela. Su nombre hace referencia al estado térmico que se genera en el fluido de trabajo que permite la evolución o arranque del motor. Este tipo de motor se compone por pistones alternativos en el cual se empieza a designar el motor a gasolina.

Los motores de combustión interna a gasolina realizan el trabajo por medio del ciclo termodinámico denominado Otto, en el cual se deduce que al finalizar el proceso de compresión se obtiene una mezcla de aire-combustible que es combustionada mediante la acción de una chispa, la misma que es capaz de propagarse por la cámara de combustión para generar el trabajo requerido del ciclo.

Ilustración 1. Componentes de Motor de Combustión Interna.

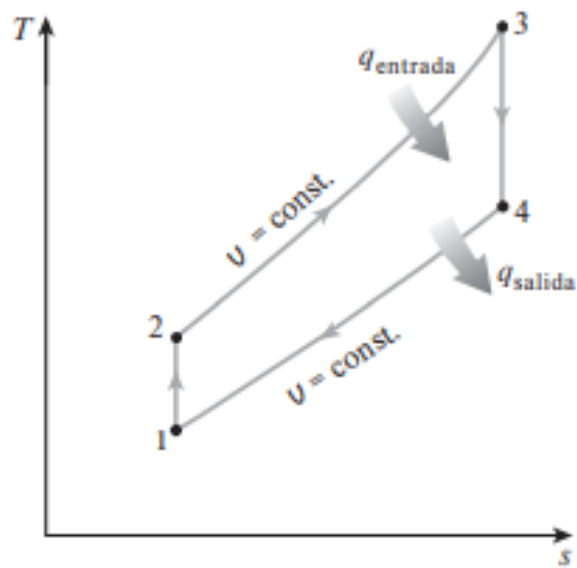


Fuente: Motores de combustión interna, [1]

2.1.3. Ciclo Otto.

Es el ciclo ideal para las máquinas térmicas recíprocas de encendido por chispa. [2]. En la mayoría de las máquinas de encendido por chispa el émbolo ejecuta cuatro tiempos completos (dos ciclos mecánicos) dentro del cilindro, y el cigüeñal completa dos revoluciones por cada ciclo termodinámico. [3]

Ilustración 2. Ciclo Otto.



Fuente: Termodinámica, [3]

2.1.4. Par.

Es una magnitud física que mide el momento de fuerza que se aplica a un eje que gira sobre sí mismo a una determinada velocidad, siendo entonces la fuerza necesaria para que el cigüeñal del motor gire y sea capaz de transmitir dicho movimiento al resto de los elementos mecánicos. [4]

2.1.5. Potencia.

El concepto de potencia expresa cuántas veces está disponible el par motor en el tiempo, es decir, con qué velocidad se puede disponer del par. [5] La potencia desarrollada por un motor depende de la relación de compresión y de la cilindrada, ya que a mayores valores de estas le corresponde mayor explosión y más fuerza aplicada al pistón; también depende íntimamente de las revoluciones por minuto a las que gira el motor. [6]

$$P = T \cdot w$$

Ecuación 1.

2.1.6. Componentes del motor de combustión interna.

Pistón: es un dispositivo con movimiento rectilíneo alternativo, es denominado émbolo del mecanismo biela-manivela y permite aumentar o reducir el volumen en el cilindro.

Biela: es un elemento que permite convertir el movimiento lineal del pistón en la rotación del cigüeñal.

Cigüeñal: es un dispositivo que tiene un movimiento rotativo, en él se encuentra integrada la manivela del mecanismo.

Cilindro: es la cavidad donde se aloja el fluido de trabajo, se cuantifica en unidades de volumen.

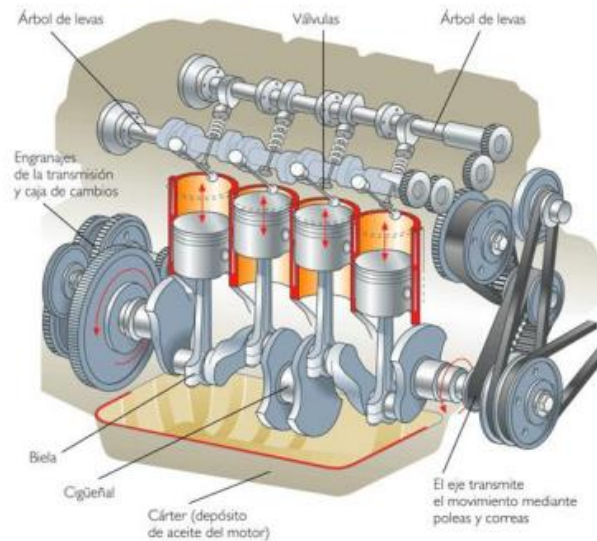
Cámara de combustión: es el espacio volumétrico que está por encima del pistón al terminar el proceso de compresión y es allí donde se produce la combustión de los gases.

Culata: es un elemento que permite cerrar la parte superior de los cilindros.

Bloque: es una pieza que contiene a los cilindros del motor.

Cárter: es el cierre inferior del motor, está integrado por aceite para la lubricación del sistema. [7]

Ilustración 3. Partes principales de un MCI.



Fuente: Análisis de fallas del tren alternativo del motor Opel - Corsa 1600 mediante el uso de herramientas computacionales, [7]

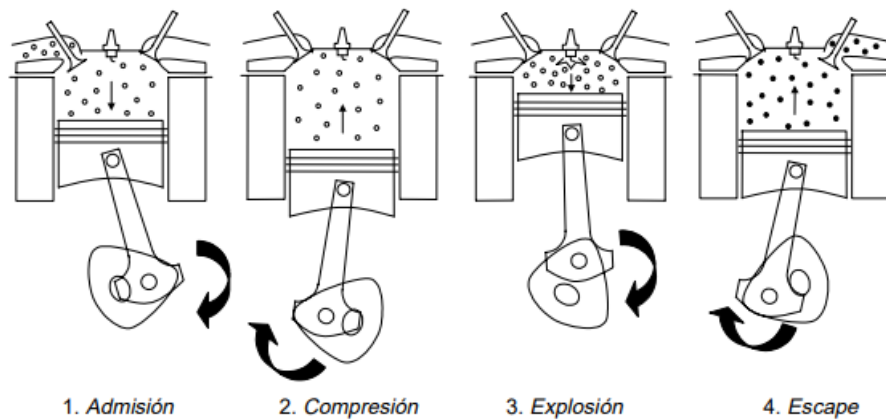
2.1.7. Tiempos de un motor de combustión interna.

1. **Admisión:** En este tiempo el fluido aire entra a la cámara de combustión mediante la válvula de admisión, la cual se encuentra abierta y el pistón se encuentra desplazándose hacia el punto muerto inferior (PMI).
2. **Compresión:** La válvula de admisión está cerrada y el pistón comienza a desplazarse hacia el punto muerto superior (PMS), de esta manera se comprime el volumen que se encuentra dentro de la cámara de combustión. El inyector permite el ingreso del combustible en la cavidad de la cámara de combustión para realizar el proceso de mezclado con el fluido aire y ocurra la compresión respectiva en una mezcla homogénea.
3. **Expansión:** Una vez que la mezcla de los fluidos de trabajo (aire-combustible) se encuentre totalmente comprimida esta es encendida por medio de una chispa ocasionada por el elemento denominado bujía. Dicha combustión mantiene un

proceso de expansión que permite el empuje del pistón hacia el punto muerto inferior, generando el trabajo del ciclo.

4. **Escape:** Durante este tiempo la válvula de escape se encuentra abierta y el pistón se mantiene desplazándose hacia el punto muerto superior, esto permite empujar los gases combustionados hacia el exterior y completar las 4 carreras del pistón que equivalen a un ciclo de trabajo para volver a iniciar el ciclo en la fase inicial denominada proceso de admisión.

Ilustración 4. Tiempos de un MCI.



Fuente: Motores de combustión interna, [1]

2.1.8. Características del Motor Beta – II DOHC.

Para el estudio experimental se emplea el motor 2.0 L Beta II DOHC que opera con gasolina. Las especificaciones técnicas del motor de combustión interna se describen en la siguiente tabla a continuación:

Tabla 1. Características del Motor Beta II.

Características	Valor
Relación de compresión	13.5:1
Par	184 Nm
Potencia	102 kW
Bore x Stroke	82 x 93.5 mm
Peso	156 kg
Número de cilindros	4
Cilindrada	1975 cm ³

Fuente: Hyundai.

Elaborado: Hyundai engine, [8]

Las características del motor Beta-II son las siguientes: posee un mecanismo de válvula MLA, correa y cadena de distribución, a su vez contiene un sistema de combustible sin retorno, no tiene distribuidor en el sistema de encendido, maneja un control de avance al encendido con un dispositivo sensorial para la respectiva detonación, ECM integrado con el TCM y el sistema de Inyección Siemens.

Ilustración 5. Motor Beta II 2.0 L.



Fuente: Motor – especificaciones técnicas, [9]

2.1.9. Características del vehículo de experimentación.

2.1.9.1. Automóvil Kia Sportage 2.0.

Es un vehículo liviano, en el cual se combinan elementos propios de un automóvil que se adapta a todo tipo de lugar, cuenta con buen aislamiento de ruido externo, su 4x4 funciona de manera significativa. El interior del auto es agradable, la disposición de las herramientas es conveniente. El automóvil Kia Sportage genera emisiones de CO₂ en aproximadamente 237 gramos por kilómetro. La longitud del Kia Sportage es de 435 cm, es un automóvil talla mediana. A continuación, en la Tabla 2, se especifican las características del vehículo:

Tabla 2. Características del vehículo.

Especificación	Valor
Masa en vacío [m_v]	1467 kg
Masa máxima admisible [m_a]	2050 kg
Área frontal [A_f]	2,58 m ²
Coefficiente aerodinámico [C_x]	0,4
Densidad del aire [ρ_a]	1,225 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Aceleración gravitacional [g]	9,81 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Coefficiente de rodadura [fr]	0,02
Factor de mayoración de masa [γ]	1,042
Velocidad máxima [$V_{\text{máx}}$]	180 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$
Radio de rueda estático [r_e]	0,287
Radio de rueda dinámico [r_d]	0,301
Tiempo de aceleración de 0 a 100 Km/h [t_a]	10,4 s

Fuente: Hyundai.

Elaborado por: Hyundai engine, [8]

Ilustración 6. Vehículo Kia Sportage 2010.



Fuente: Kia Sportage 2010, [10]

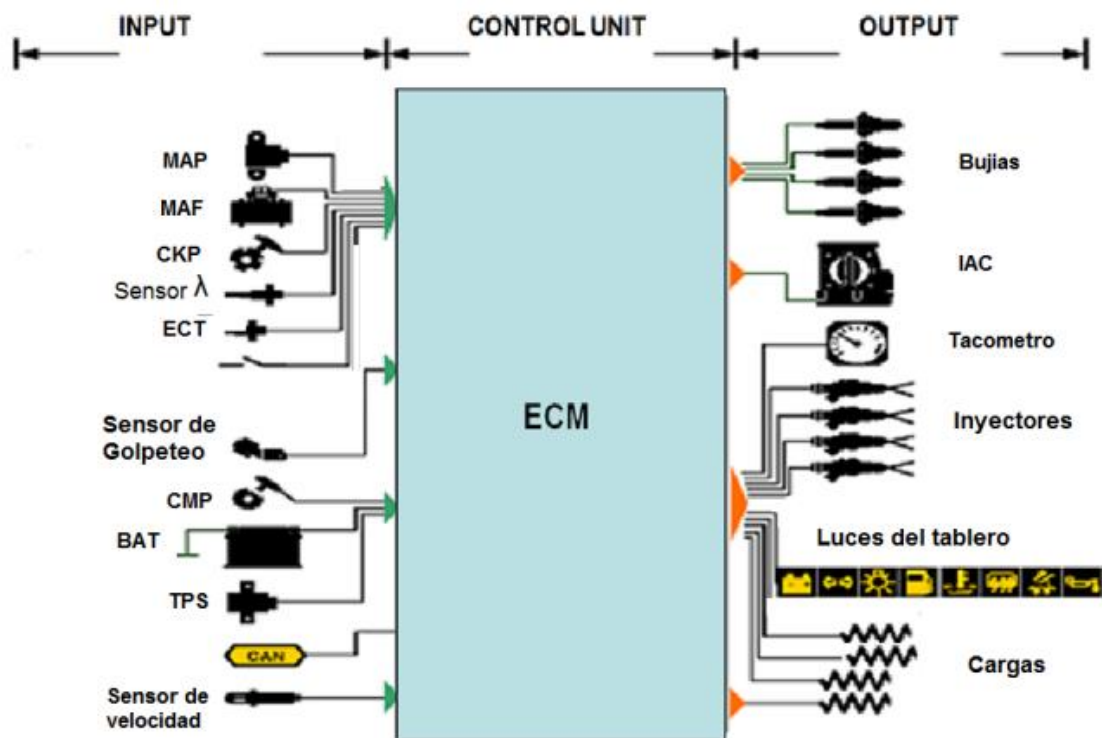
2.1.10. Sensores Automotrices.

Permiten el control de las condiciones de funcionamiento del automóvil, debido a que transforman la información de operación en una señal de voltaje que es transferido a la ECU (Unidad de control electrónico), donde se procesan los datos recibidos y se compara con la información pregrabada, luego del análisis de los valores referenciales la ECU transmite la orden a los actuadores para las distintas aplicaciones que se requieren.

Los sensores del vehículo manejan datos de la aceleración, posición, temperaturas, flujo másico de aire admitido, entre otros.

Ilustración 7. Sensores.

Control unit



Fuente: Motores.

Elaborado: Santiago Ruíz, [11]

2.1.10.1. Sensor MAP (Presión absoluta del múltiple).

El sensor MAP es un dispositivo electrónico, que permite verificar el proceso de succión o vacío en el múltiple de admisión, y en relación de la variable de vacío entrega mayor o menor voltaje a la ECU del automóvil que se encarga de controlar la cantidad de combustible a través de los inyectores. Este dispositivo realiza la comparación entre la presión atmosférica con respecto al múltiple de admisión. Por lo tanto, se genera una señal entre 0,2V – 0,4V hasta 4,8V- 5V de voltaje y se transmite hacia la computadora interna del vehículo.

Ilustración 8. Sensor MAP.

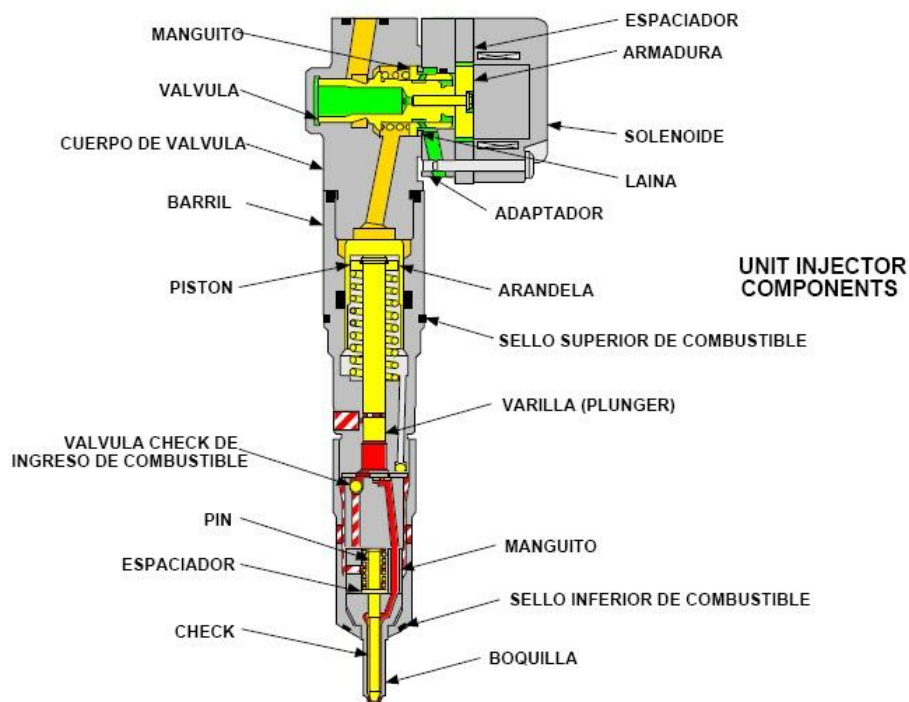


Fuente: Sensores automotrices, [12]

2.1.10.2. Inyectores.

Permiten añadir el carburante en presiones elevadas al ciclo de combustión que ejerce el motor. Son electroválvulas que se abren y se cierran multitud de veces mediante una señal eléctrica que los acciona.

Ilustración 9. Inyector.



Fuente: Sensores automotrices.

Elaborado: Santiago Medina, [12]

2.1.10.3. Sensor CKP (Posición del cigüeñal).

Es el sensor de posición del cigüeñal, este dispositivo le informa a la ECU en que posición se encuentra el cigüeñal y con ello sincronizar el proceso de encendido del automóvil.

Los tipos de sensores CKP que existen son:

- Inductivo
- Efecto hall
- Óptico

El sensor CKP inductivo genera una señal de voltaje alterno siempre que existan variaciones del campo magnético que produce el imán permanente, su ubicación es en la rueda fónica. El CKP de efecto hall y óptico reciben el voltaje, la masa y permiten la generación de una señal digital.

Ilustración 10. Sensor CKP.



Fuente: Sensores automotrices, [12]

2.1.10.4. Sensor MAF (Flujo másico de aire).

Es el sensor de flujo másico de aire que permite cuantificar el flujo de aire en el colector de admisión succionado, tiene un paquete resistente donde incluye procesamiento de señal electrónica en estado sólido, este sensor genera una señal que varía según sea el caso de flujo de masa de aire. Convierte la cantidad de aire que el motor succiona hacia la admisión, en señal de voltaje.

Ilustración 11. Sensor MAF.



Fuente: Sensores automotrices, [12]

2.1.10.5. Sensor IAT (Temperatura de aire de entrada).

Es un dispositivo termistor, esto quiere decir que el sensor posee una resistencia que transmite señales con variación de acuerdo con la temperatura. Cuando el sensor va incrementando su temperatura la resistencia es menor. Este elemento puede venir integrado en el sensor MAF o de manera individual.

Ilustración 12. Sensor IAT.



Fuente: Sensores automotrices, [12]

2.1.10.6. Sensor TPS (Posición de la mariposa).

Este elemento indica la posición de la mariposa en el cuerpo de aceleración. Dependiendo de su abertura indica a la ECU para que tome decisiones que pudiesen afectar al ralentí, proceso de encendido y a la cantidad de combustible inyectado.

Ilustración 13. Sensor TPS.



Fuente: Sensores automotrices, [12]

2.1.11. Sistema de OBDII.

El sistema es parte del vehículo y se encarga de monitorear constantemente todos los sistemas funcionales del auto y además registra y almacena ciertos códigos de errores referentes a fallas que ocurren en el automóvil para un correcto manejo en operación y los elementos que influyen la contaminación por la ignición.

Sus características son:

- ✓ Verifica el estado de los sensores encargados de las emisiones.
- ✓ Permite detectar averías eléctricas o mecánicas.
- ✓ Examina el fallo y guarda un registro donde están las condiciones en las que se género.
- ✓ Posee un conector genérico para todos los automóviles.

Para la ejecución y lectura de los resultados obtenidos en la experimentación se utiliza el instrumento denominado CAN edge1, este dispositivo permite registrar en tiempo real variables indispensables para el proyecto investigativo.

Ilustración 14. CAN edge1.



Fuente: CSS electronics, [13]

2.1.12. Parámetros de identificación PIDs.

Los PIDs son códigos empleados para tener acceso a datos del vehículo, utilizados como herramienta de diagnóstico. La norma SAE J/1979 define muchos IDE específicos para sus vehículos. Todos los vehículos ligeros vendidos en América del Norte desde 1996, así como los vehículos de servicio mediano a partir de 2005, y los vehículos pesados a partir de 2010, deben admitir diagnósticos OBDII, utilizando un conector de enlace de datos estandarizado, principalmente para las inspecciones de emisiones exigidas por el estado.

Tabla 3. PIDS CAN edge1.

PID	Descripción	Unidad	Fórmula
0F	Sensor de temperatura de aire a la entrada (IAT).	°C	A-40
0B	Sensor de presión absoluta del múltiple (MAP).	kPa	A
11	Posición TPS.	---	$A \cdot \frac{100}{255}$
0C	Revoluciones por minuto.	rpm	$\frac{(A \cdot 256) + B}{4}$

Fuente: OBDII PIDs.

Elaborado: OBDII Codes Definition, [14]

2.1.13. Combustible.

2.1.13.1. Gasolina.

La gasolina es una combinación de varios hidrocarburos líquidos, volátiles e inflamables, es decir, compuestos orgánicos formados solo por carbono e hidrógeno, obtenida por destilación fraccionada del petróleo a la que se le añaden aditivos para mejorar sus propiedades, es utilizada ampliamente como combustible en motores de combustión interna. Las propiedades críticas de la gasolina son el índice de octano, su volatilidad y la presión de vapor.

2.1.13.2. Gasolina Extra.

En la norma NTE INEN 935 se establecen los requerimientos que debe mantener el producto denominado gasolina extra para el funcionamiento en motores de combustión interna bajo el ciclo Otto.

Tabla 4. Requerimientos de la gasolina según norma NTE INEN 935.

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo
Número de octanos	-----	87	-----
Presión de vapor	kPa	-----	60
Destilación 10%	°C	-----	70
Destilación 50%	°C	77	121
Destilación 90%	°C	-----	189

Fuente: Productos derivados de petróleo. Gasolina. Requisitos.

Elaborado: Norma Técnica Ecuatoriana, [15]

2.1.13.2. Poder calorífico.

Es la magnitud de energía liberada por unidad de volumen de carburante debido a la reacción química del proceso de combustión que permite la formación de CO₂ y H₂O. El poder calorífico inferior ilustrado en la Tabla 5, es el calor de la combustión que no aprovecha la energía de condensación del agua. A su vez, el poder calorífico superior es el aprovechamiento energético de la combustión completa de la gasolina cuando el vapor de agua se encuentra en estado de condensación.

Tabla 5. Poder calorífico superior e inferior de la gasolina.

	PCS (kJ/kg)	PCI (kJ/kg)
Gasolina	47300	44000

Fuente: Productos derivados de petróleo. Gasolina. Requisitos.

Elaborado: Norma Técnica Ecuatoriana, [15]

El poder calorífico superior es cuando el agua que se encuentra en los gases de combustión se condensa por completo con esto se recupera el calor de vaporización.

El poder calorífico inferior es cuando el agua se expulsa en estado de vapor. Su diferencia radica en el calor de vaporización del agua que se forma mientras se da la reacción.

2.1.14. Ciclo de combustión interna en el motor.

El proceso de la combustión ocurre por la reacción química entre el combustible (gasolina) y el comburente (oxígeno). El proceso se denomina perfecto cuando el carbono y el oxígeno forman dióxido de carbono CO_2 , y el elemento hidrógeno genera agua en conjunto con el oxígeno. Una mezcla estequiométrica proporciona un proceso de combustión perfecto, donde se indica que debe haber 1 gramo de gasolina por cada 14,7 gramos de aire admitido durante el proceso.

2.1.15. Consumo específico de combustible.

Es la cuantificación de flujo másico de combustible que el motor requiere para generar un trabajo útil dividido por la potencia efectiva respectiva. El flujo másico se mide en unidades de masa sobre tiempo $[\frac{\text{g}}{\text{h}}]$ y la potencia, igual que en la mayoría de las aplicaciones se mide en kilovatios [kW], por ende, el consumo específico se mide en $[\frac{\text{g}}{\text{kWh}}]$, [16]. El diagrama de consumo específico de combustible representa la variación en relación con el régimen de giro del cigüeñal y sirve para comparar la eficiencia del motor. [17]

Para encontrar el combustible óptimo de funcionamiento para motores de diferentes tamaños, es decir, para encontrar con qué tipo de combustible se produce menor consumo y mayor cantidad de potencia para un motor en específico. [18]

$$SFC = \frac{M_p \cdot 1000}{P_e} \quad \text{Ecuación 2.}$$

2.1.15.1. Consumo de combustible en l/100 km

Es el consumo cuantificado en unidades de volumen sobre distancia recorrida del vehículo. La velocidad del vehículo es un parámetro fundamental en el consumo de combustible debido a que a mayor velocidad mayor gasto de gasolina. Si bien el flujo másico de aire se encuentra estandarizado estequiométricamente como 14,7 g de aire por cada gramo de gasolina, durante la experimentación varía en base al tiempo y a las condiciones en ruta. Por lo tanto, el consumo de combustible en $[\frac{l}{100 \text{ km}}]$ se calcula de la siguiente manera:

$$f = \frac{v_s}{MAF} \quad \text{Ecuación 3.}$$

2.1.16. Flujo másico de aire consumido por el vehículo.

El flujo másico es la cantidad de aire que el vehículo consume, esto se lo relaciona en función a las propiedades termodinámicas del medio ambiente que rodea al objeto de estudio, en este caso al vehículo. Para el cálculo del flujo volumétrico de aire teórico se toman como referencia las características técnicas del motor, tales como diámetro del cilindro, número de revoluciones por minuto, número de cilindros del motor que en este caso posee 4 cilindros en línea, la longitud de carrera del pistón y el número de tiempos del motor.

Para el cálculo se emplea la siguiente ecuación:

$$V_d = n \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \cdot \frac{N}{60 \cdot k} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Una vez evaluada la ecuación anterior se puede calcular el flujo másico de aire mediante la densidad del aire y el flujo volumétrico de aire teórico que ingresa al motor cuando este se encuentra en operación.

$$\dot{m} = \rho \cdot V_d \quad \text{Ecuación 5.}$$

2.1.17. Presión media efectiva.

Es un parámetro que permite valorar la capacidad de un motor para ejercer un trabajo útil e independiente del motor. Se considera como la presión promedio que actúa sobre el pistón durante las distintas fases del ciclo. Depende del llenado del cilindro y del uso del combustible que se aprovecha en el motor de combustión interna.

Se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$PME = 2\pi \cdot n_c \cdot \frac{T}{d} \quad \text{Ecuación 6.}$$

2.1.18. Caudal de combustible.

Es el volumen de combustible que atraviesa la superficie en un tiempo establecido. El volumen de llenado lo que representa el volumen de combustible por ciclo respecto al tiempo.

Para obtener esta variable se aplica la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_c = \frac{\dot{v}}{t}$$

Ecuación 7.

2.1.18.1. Flujo másico de combustible.

Es la variación de masa de combustible que ingresa a un dispositivo para provocar mediante la mezcla con el oxígeno lo cual provoca la combustión necesaria para formar calor y generar un trabajo útil.

Se calcula de la siguiente manera:

$$M_p = \rho_c \cdot \dot{Q}_c$$

Ecuación 8.

2.1.18.2. Método para la determinación del consumo de combustible en ruta.

Existen algunos métodos para determinar el consumo de combustible en un automóvil, los cuales pueden ser: vía OBDII, gravimétrico, balance de carbono, flujómetro, pruebas en equipo dinamómetro, etc. En el caso de medición del consumo de combustible en ruta el automóvil debe soportar y vencer fuerzas que se oponen al movimiento, dichas fuerzas son: fuerza de arrastre, resistencia de inercia, resistencia a la pendiente y a la rodadura.

Para la realización del proyecto investigativo se empleó el método vía OBDII.

2.1.19. Mapa de motor.

Los mapas de motor son mapas cartográficos, permiten identificar el funcionamiento del motor en un tiempo real, según la característica a evaluar, un mapa de consumo de combustible describe una relación en la utilización del combustible $[\frac{cm^3}{min}]$, según parámetros de par [Nm], velocidad de giro [RPM] y presión de admisión [bar].

2.1.19.1. Mapa de consumo de combustible específico.

Para caracterizar correctamente el consumo de combustible y el rendimiento general de un vehículo, es esencial un mapa completo del motor que describa el consumo de combustible en todo rango operativo, incluido el ralentí, el acelerador completamente abierto, el par mínimo y la velocidad operativa máxima, es por ello por lo que los mapas de consumo de combustible de motor deben cumplir una función específica de proveer valores de consumo segundo a segundo y en todo rango operativo.

2.1.19. Parámetros principales para la generación del mapa de consumo de combustible en un MCI.

2.1.19.1. Par.

Es una magnitud física que mide el momento de fuerza que se aplica a un eje que se encuentra girando sobre sí mismo a una determinada velocidad, siendo entonces la fuerza necesaria para que el cigüeñal del motor gire y sea capaz de transmitir dicho movimiento al resto de los elementos mecánicos. [4]

2.1.19.2. Potencia.

El concepto de potencia indica las veces que está disponible el par motor en el tiempo, es decir, con qué velocidad se puede disponer del par. [5] Cuando el motor posee valores altos en cuanto a relación de compresión y cilindrada se genera una mayor explosión y esto repercute en la potencia ejecutada por el motor para su funcionamiento. La presión media efectiva es una variable que hace referencia a la presión uniforme que durante un ciclo es capaz de producir un trabajo. A su vez la potencia depende de la velocidad angular de operación. La potencia se puede aumentar incrementando el desplazamiento volumétrico, la PME y la velocidad. [6]

Para hallar la potencia de salida en función a la presión media efectiva se establece la siguiente ecuación:

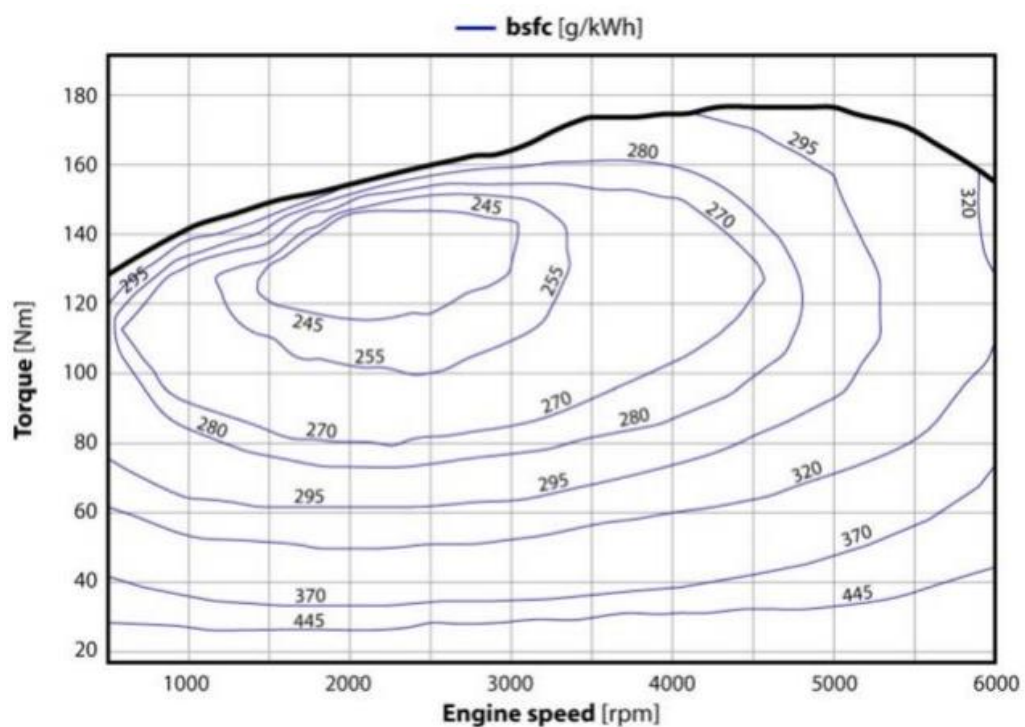
$$P_e = \frac{d \cdot P_{ME} \cdot N \cdot \partial}{\alpha}$$

Ecuación 9.

2.1.19.3. Revoluciones por minuto.

Pertenece a la cantidad de rotaciones completas que ejecuta el cigüeñal en un determinado lapso, a su vez el número de veces que los pistones recorren el cilindro respectivamente.

Ilustración 15 Mapa de consumo de combustible.



Fuente: A method to calculate the fuel mass flow rate consumed by a diesel engine in driving cycles.

Elaborado: Pedro Carvalheira, [19]

2.1.20. Propiedades termodinámicas del sitio de las pruebas de ruta.

2.1.20.1. Presión atmosférica.

La presión atmosférica es la cantidad de fuerza por unidad de área que ejerce el aire, que es formado por la atmósfera en la superficie de la tierra. Posee una relación indirectamente proporcional con la altura del lugar, es decir a mayor altura menor presión y a menor altura mayor presión atmosférica. La presión atmosférica en la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas en Ecuador tiene una presión atmosférica equivalente a 1000,6 hPa lo cual es 100,06 kPa.

2.1.20.2. Densidad.

La densidad hace referencia a la cantidad de masa por unidad de volumen, la densidad de una sustancia va a depender de otras dos propiedades termodinámicas que son la temperatura y la presión. Se calcula en base a la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Ecuación 10.

2.1.20.3. Densidad del aire.

La densidad del aire es la relación existente entre la masa y el volumen del aire, en una forma estandarizada es equivalente a $1,22 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, pero este es menor cuando la humedad, temperatura y la altitud aumentan, y por ende la velocidad o energía cinética del viento se ve influenciada por esta propiedad. La densidad del aire en la provincia Tsáchila varía desde 1,12 hasta 1,17 en las condiciones ambientales analizadas.

La ecuación para el cálculo de la densidad del aire durante una experimentación en distintos puntos es:

$$\rho_a = \frac{0,34848 \cdot P_{atm} - 0,009 \cdot h_r^{(0,061 \cdot T)}}{273,15 + T} \quad \text{Ecuación 11.}$$

2.1.20.4. Temperatura.

Es una propiedad termodinámica que resulta de la transferencia de calor entre la atmósfera y el planeta tierra, indica mediante variables cuantitativas el nivel de energía interna que posee un sitio en un instante de tiempo. La temperatura investigada para el área de las pruebas de ruta es equivalente a 23°C.

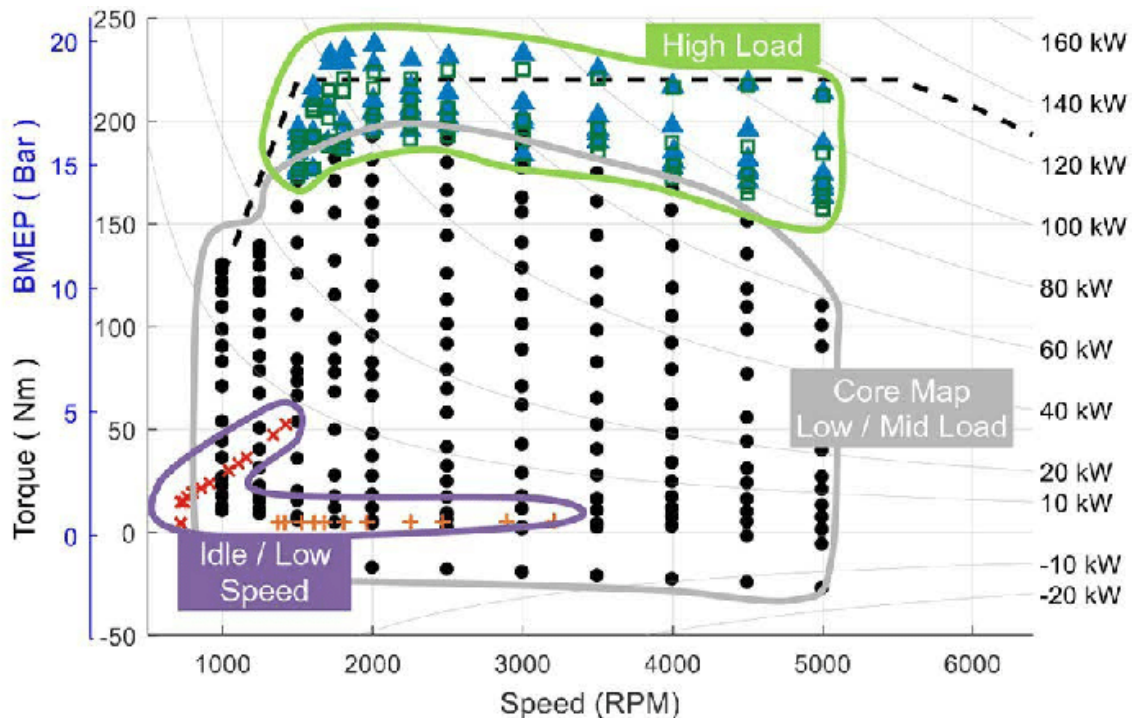
2.1.20.5. Humedad relativa.

Es una variable que expresa la relación entre la presión del vapor de agua y la presión del vapor saturado a la temperatura del bulbo seco. Esta propiedad aumenta cuando el aire se enfría o cuando se añade vapor de agua.

2.2. Marco referencial.

El consumo de combustible es un parámetro técnico muy importante y difícil de medir en vehículos que se encuentran en operación, sin embargo, es necesario conocer su magnitud puesto que indica en qué rangos de ejecución es más eficiente en rendimiento y economía. Los mapas de consumo de combustible manejan 3 aspectos fundamentales, estos son: curva de par y potencia, revoluciones por minuto y presión de admisión, estos son los límites que rigen en el diagrama. Mediante la figura se pueden observar las zonas características de cada variable.

Ilustración 16. Mapa parametrizado de SFC.



Fuente: Construcción de mapas de motor para el modelado completo de simulación de vehículo.

Elaborado: Dekraker, P., Barba, D., Moskalik, A., & Butters, K., [20]

2.2.1. Metodología de medición SFC en vehículos en operación.

En un laboratorio se establecen condiciones operativas requeridas para la ejecución de pruebas, tales como: densidad del aire, propiedades mecánicas de los materiales, calibración de balanzas y equipamiento de medición de fuerzas como el dinamómetro, entre otros. Se puede utilizar la siguiente metodología:

- ✓ Mediante un probador de rodillos con accesorios se cuantifica el consumo de combustible en un vehículo que se encuentra con todas las condiciones de carga permisibles en los alrededores del cuerpo dinámico.

Ilustración 17. Probador de rodillos.



Fuente: Manual de usuario, [21]

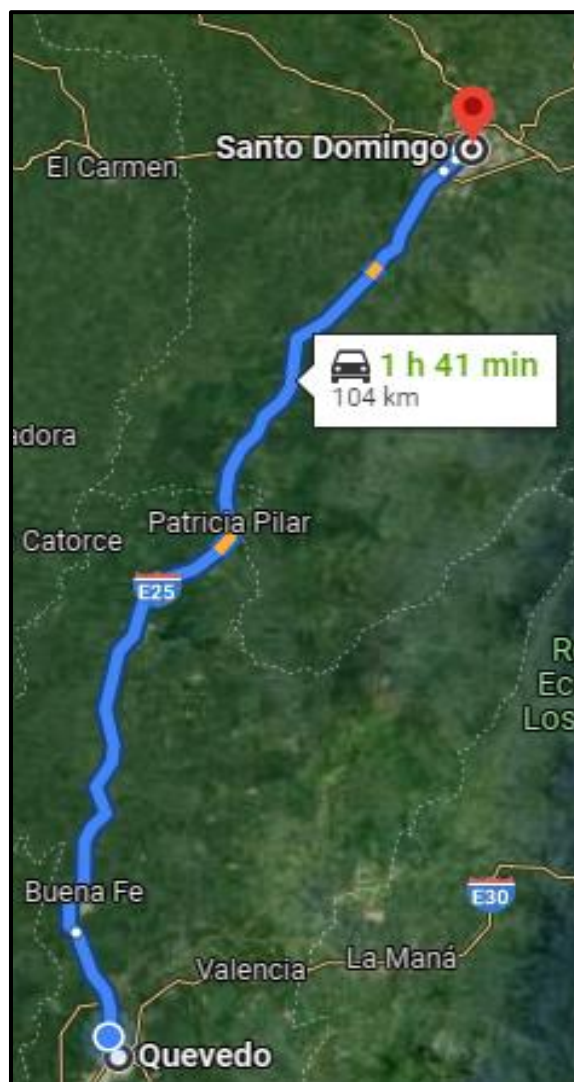
- ✓ Equipo de medición que se puede integrar al vehículo como el OBDII, CAN edge1 y GPS, los cuales arrojan resultados como densidad del aire, rpm, TPS, IAT, presión, temperatura, entre otros.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización.

El proceso investigativo cubre la ruta entre las ciudades Santo Domingo y Quevedo. La vía cuenta con 104 km de distancia respectivamente. La ruta inicia en Santo Domingo y finaliza en la ciudad de Quevedo, se la ejecuta en un vehículo Kia Sportage Active del año 2010.

Ilustración 18. Ubicación de la prueba de ruta.



Fuente: Google Maps.

Elaborado: Autora.

Tabla 6. Características meteorológicas de Santo Domingo.

Características	Valor
Temperatura	23°C promedio
Densidad del aire	1,12 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Presión atmosférica	1028 hPa
Altitud m.s.n.m	625 m
Superficie	152,2 km ²
Provincia	Santo Domingo de los Tsáchilas

Fuente: INAMHI, [22]

Elaborado: Autora.

Tabla 7. Características meteorológicas de Quevedo.

Características	Valor
Temperatura	27°C promedio
Densidad del aire	1,18 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Presión atmosférica	1014 hPa
Altitud m.s.n.m	74 m
Superficie	303 km ²
Provincia	Los Ríos

Fuente: INAMHI, [22]

Elaborado: Autora.

3.2. Tipo de investigación.

3.2.1. Investigación descriptiva.

Corresponde a un proceso investigativo experimental de pruebas de ruta en función a parámetros como el MAF (flujo másico de aire admitido) para posteriormente reconocer el SFC (consumo específico de combustible). Es decir, busca describir una variable que permite conocer el consumo específico de combustible que tiene el motor beta del auto. A su vez estudia los alrededores del vehículo que son factores indispensables en el consumo de combustible, tales como: presión atmosférica, densidad del aire, tiempo de prueba, potencia entre otros.

3.2.2. Investigación bibliográfica.

Este tipo de investigación permite la utilización de datos existentes de investigaciones anteriores para solventar inquietudes del tema de investigación. Pretende hallar solución a los problemas planteados relacionando datos existentes y proporcionando una visión panorámica y sistemática. [23] La investigación bibliográfica establece la capacidad de potencia máxima del motor, par, presión media efectiva, procesos del Ciclo Otto, entre otras propiedades fundamentales para el desarrollo de la caracterización de los mapas de isoconsumo.

3.2.3. Investigación de campo.

Por medio de este tipo de investigación se logra recopilar datos de variables de funcionamiento reales, y se logra manipular una variable externa en este caso el SFC no conocido en parámetros particulares de funcionamiento, con el fin de describir de qué modo o porque causas se produce una situación o acontecimiento particular. [24]

3.2.4. Investigación cuantitativa.

Es el proceso de obtención, representación, simplificación, análisis y proyección de propiedades o variables numéricas del estudio investigativo para mejorar la comprensión de la influencia del consumo de combustible en la operación de vehículo con el fin de transformar en mapas de consumo las variables de estudio generadas. [25]

3.3. Métodos de investigación.

3.3.1. Método Comparativo.

Este método refleja una forma crítica entre los factores del objeto de estudio tales como presión, temperatura ambiental, velocidades, par y potencia para ser representados por variables y constantes de la realidad estudiada y compararla con otras realidades similares. [26]

3.3.2. Validez y confiabilidad de instrumentos.

La validez de los datos obtenidos se analiza como un tipo de validez de contenido, en donde las variables: tiempo de ruta, presión atmosférica, rpm, velocidad del vehículo, temperatura del aire, entre otras, cubren el dominio de la experimentación, es decir, permiten el cálculo de las variables (potencia, par, flujo másico de aire y combustible y SFC) requeridas para el proceso de caracterización del motor de encendido provocado. [27]

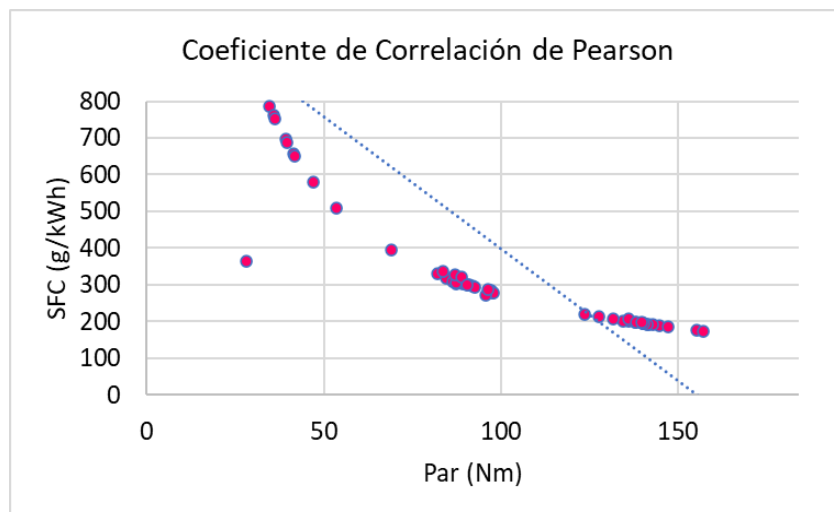
Según la investigación bibliográfica teórica se cumple que entre el par y el SFC existe una relación inversamente proporcional, por ende, para determinar la confiabilidad entre las variables cuantitativas continuas denominadas par y consumo específico de combustible, se debe calcular el coeficiente de Correlación de Pearson con el fin de interpretar el grado de asociación entre estas dos variables de trabajo. [26]

Rangos de interpretación:

- ✓ Correlación menor a cero: Si la correlación es menor a cero, siendo negativa la asociación, significa que las variables se relacionan inversamente.
- ✓ Correlación mayor a cero: Si la correlación es igual a +1 significa que es positiva perfecta. En este caso significa que la correlación es positiva, es decir, que las variables se correlacionan directamente.
- ✓ Correlación igual a cero: Cuando la correlación es equivalente a cero significa que no es posible determinar su covariación. Sin embargo, no es un indicador de que no exista una relación no lineal entre las variables.

El resultado de la Correlación de Pearson entre estas dos variables es de -0.89, por lo tanto, se cumple que el aumento del par disminuye la cantidad de consumo específico de combustible en el motor de encendido provocado.

Ilustración 19. Coeficiente de Correlación de Pearson.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

3.4. Fuentes de recopilación de información.

Fuentes primarias: En este proyecto investigativo se obtendrán resultados mediante la observación directa en tiempo real de las variables de trabajo obtenidas por medio los equipos de medición empleados en las pruebas de ruta.

Fuentes secundarias: Las fuentes secundarias empleadas en esta investigación son de tipo bibliográficas en libros, tesis, ensayos realizados con anterioridad que permitan trazar la información relevante para la obtención de mapas de consumo específico de combustible.

3.5. Diseño de la investigación.

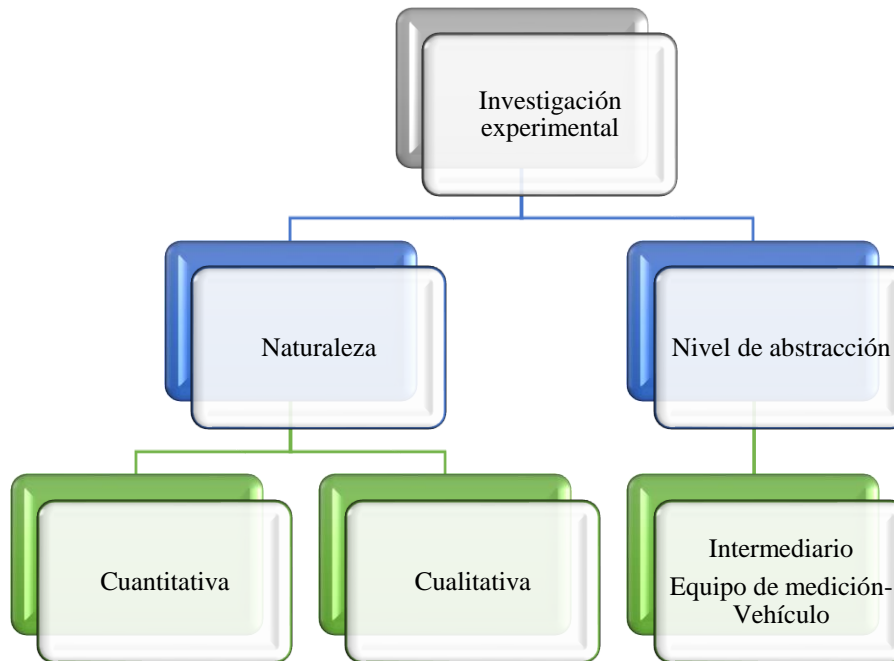
3.5.1. Diseño experimental.

El proyecto investigativo posee una base experimental en función de pruebas de ruta realizadas en la vía Santo Domingo – Quevedo. Se realizan 10 pruebas de ruta que oscilan entre los 104 km cada una. Se integra en el vehículo de marca Kia modelo Sportage active del año 2010, equipos de medición para la obtención de la densidad del aire, revoluciones por minuto, presión y temperatura en tiempo real en base a la velocidad del vehículo.

A partir de la finalización de las pruebas se realiza un procesamiento de datos, seleccionando los adecuados para la aplicación de ecuaciones que permitan deducir el consumo específico de combustible del vehículo. Posteriormente mediante ficheros en Excel, se generan las variables precisas para la caracterización de mapas de consumo de combustible. Las variables son de naturaleza cuantitativa debido a su valor expresado numéricamente y cualitativas en función a la descripción de funcionamiento/propiedades investigadas bibliográficamente.

El nivel de abstracción de los datos obtenidos mediante los equipos colocados en el vehículo en operación es de tipo lógico puesto que se relacionan las variables necesarias para la obtención del consumo específico de combustible del automóvil.

Ilustración 20. Diseño de la investigación.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

3.6. Instrumentos de investigación.

Para la ejecución del proyecto experimental es necesario conocer los datos característicos de funcionamiento del motor, tales como: rpm, velocidad del vehículo, sensor de oxígeno MAP, posición del acelerador, relación estequiométrica, temperatura del líquido refrigerante, todos estos parámetros se conocen mediante la conexión de la ECU con un microcontrolador programable al OBDII del vehículo.

3.6.1. CAN edge1.

Es un dispositivo de medición que sirve para registrar los datos de bus CAN (SD+RTC), registra datos en tiempo real con su marca respectiva de tiempo (horas, minutos y segundos) en una tarjeta SD extraíble de 8 GB. Posee conversión J1939/OBDII DBC y diagramas gráficos. El CAN edge1 es ideal para monitorear sistemas de bus CAN durante períodos prolongados, por ejemplo, para fines legales, desarrollo de vehículos, diagnóstico, mantenimiento o investigación. [28]

Ilustración 21. CAN edge1 - Equipo de medición.



Fuente: CSS electronics, [13]

Elaborado: CSS electronics.

3.6.2. Estación portátil Skywatch GEOS 11.

Se trata de un equipo multifunción con gran capacidad de memoria para la correcta medición de la presión atmosférica, velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, punto de rocío entre otras variables que permiten el reconocimiento de las propiedades del lugar donde se ejecuta el ensayo.

Ilustración 22. Estación multifunción portátil Skywatch.



Fuente: Instruction Manual, [29]

Elaborado: Skywatch Geos.

3.6.3. Canmod GPS.

Es un equipo autónomo de GPS a CAN, el cual arroja la posición GNSS y datos 3D mediante un giroscopio y acelerómetro, transfiere los resultados mediante marcos de bus CAN configurables.

Ilustración 23. Canmod GPS.



Fuente: CSS electronics, [13]

Elaborado: CSS electronics.

3.7. Tratamientos de los datos.

Los datos fueron procesados mediante el programa Excel y para la manipulación de los datos se usó el software Minitab.

- Excel
- Minitab
- Word
- ScanIt

3.8. Recursos humanos y materiales.

3.8.1. Equipos.

- Canedge1: 2x registrador de datos de bus can (sd + rtc)
- Canmod: GPS
- Estación portátil multifunción Skywatch geos 11
- Vehículo Kia Sportage 2.0, 2010

3.8.2. Recursos.

- Equipo de cómputo (laptop)
- Equipos de medición de presión
- Equipos de medición de temperatura
- Calculadora
- Computadora
- Información estadística.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Proceso de obtención de datos experimentales.

En la presente investigación se pretende caracterizar el mapa de consumo de combustible de un vehículo de encendido provocado, el vehículo de marca Kia Sportage Active 2.0 cuenta con un motor denominado “Beta” de 2.0 L con una potencia de salida equivalente a 102 kW y un par máximo de 184 Nm en 4500 rpm.

Mediante los equipos de medición instalados en el vehículo que recorre 102 km desde Santo Domingo hasta la ciudad de Quevedo se obtuvieron las siguientes variables:

- Tiempo [h, min, s]
- Velocidad del vehículo [$\frac{\text{km}}{\text{h}}$]
- Densidad del aire [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$]
- Revoluciones por minuto [rpm]
- Presión atmosférica [hPa]

4.1.1. Horario de ejecución de las pruebas de ruta.

Las pruebas de ruta se ejecutaron a partir de las 4:00 am, en donde se inició la recolección de datos mediante los equipos específicos. La distancia hasta la ciudad de Quevedo es de 104 km, la hora promedio de llegada fue a las 6:30 am, en donde se pausa la medición y se obtienen los datos de la prueba de ida. Posteriormente a esto se inicia nuevamente la recolección de datos desde Quevedo con dirección hacia Santo Domingo, empezando a las 7:00 am y la hora de llegada promedio es a las 9:30 am, que es cuando se finaliza la experimentación en tiempo real.

Los horarios fueron establecidos en base a la aglomeración de automóviles. Puesto que la vía Santo Domingo – Quevedo es altamente transitada por vehículos pesados, esto provocaría que hubiese lapsos donde la velocidad disminuye drásticamente provocando cambios en todas las variables de la experimentación.

Tabla 8. Horario pruebas de ruta.

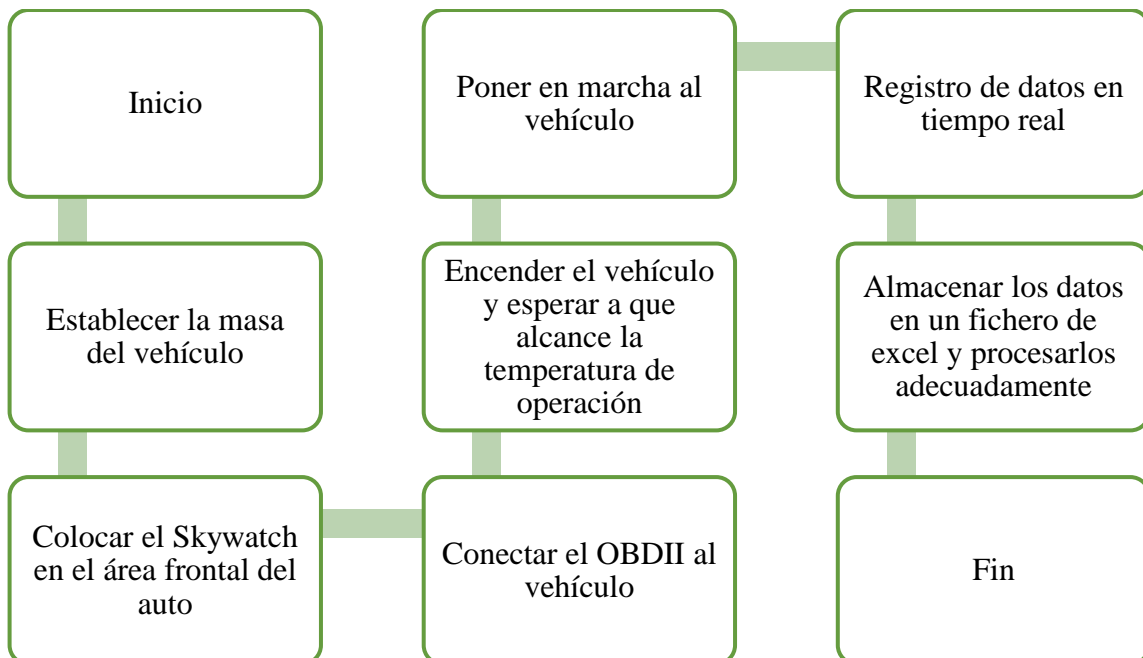
Actividad	Horas
Inicio Santo Domingo - Quevedo	4:00; 06:30 am
Finalización en Quevedo	06:30 am
Tiempo de obtención de datos	20 min
Inicio Quevedo – Santo Domingo	7:00; 9:30 am
Finalización en Santo Domingo	9:30 am

Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

4.1.2. Proceso de obtención de datos.

Ilustración 24. Proceso de obtención de datos.



Fuente: Proceso de recolección de datos.

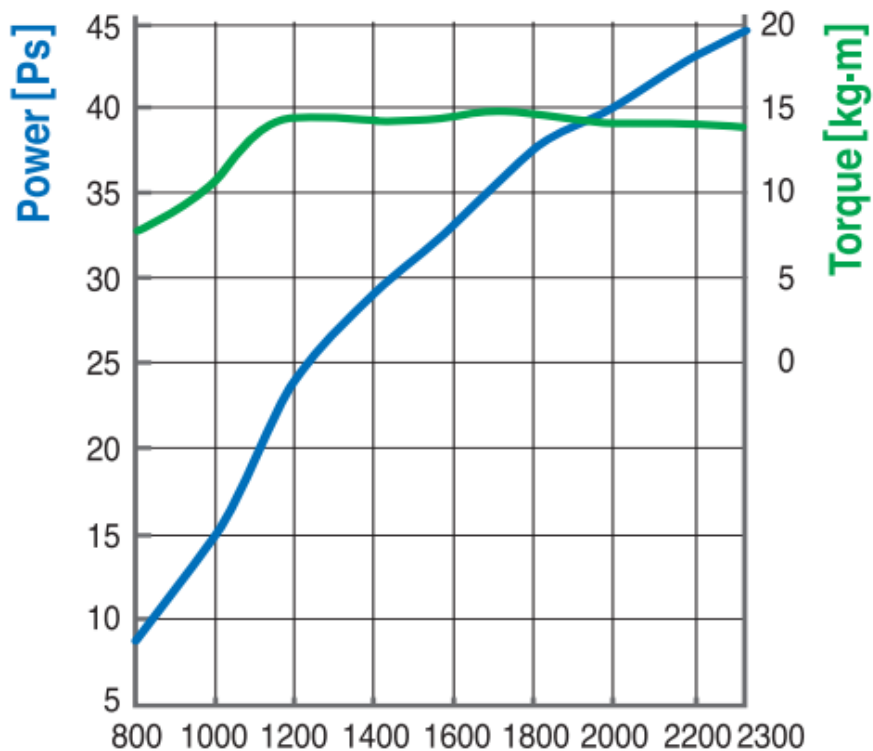
Elaborado: Autora.

4.2. Reconocimiento de variables de trabajo.

4.2.1. Par.

El motor posee un par de 184 Nm en 4500 rpm, mediante el software ScanIt se pudo extraer datos gráficos específicos de la curva de par y potencia del motor beta 2.0L.

Ilustración 25. Curva estándar RPM frente a Par-Potencia.

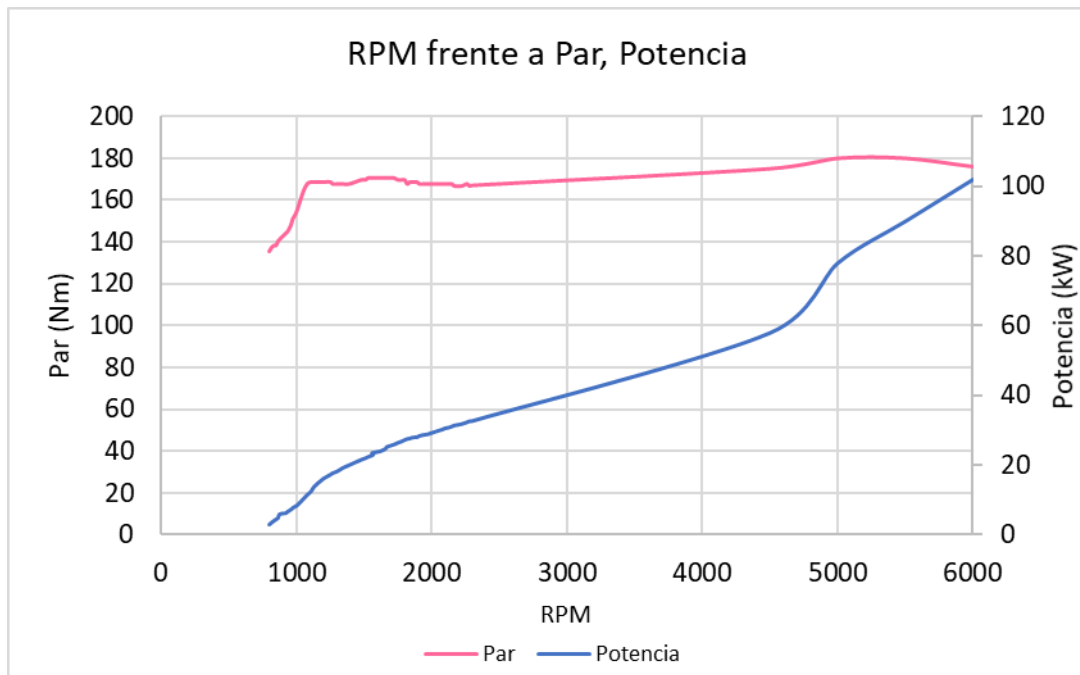


Fuente: Hyundai. [8]

Elaborado: Autora.

La Ilustración 26 es el diagrama obtenido mediante el programa ScanIt de la curva potencia y par generados por el fabricante permite la deducción que en 3000 rpm maneja un par equivalente a 170 Nm y 30 kW de potencia

Ilustración 26. Curva estándar – ScanIt.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

4.2.2. Potencia efectiva.

Es la potencia disponible en el eje del motor, también denominada potencia efectiva se obtiene midiendo mediante un torsiómetro o freno, durante el ensayo se deben mantener las siguientes condiciones de operación:

- Régimen de giro del motor uniforme.
- Establecer las condiciones de trabajo específicas del motor.

La potencia efectiva se calcula en base a la **Ecuación 9**. Para ello se debe cuantificar la presión media efectiva mediante la **Ecuación 6**.

$$PME = 2\pi \cdot n_c \cdot \frac{T}{d}$$

$$PME = 2 \cdot 3,1416 \cdot 2 \cdot \frac{184 \text{ Nm}}{0,001975 \text{ m}^3} = 1170743,089 \text{ Pa} \cdot \frac{1 \text{ MPa}}{1 \cdot 10^6} = 1,17 \text{ MPa}$$

Por ende, la potencia en el ralenti del motor el cual se mantiene en 800 rpm es:

$$P_e = \frac{0,001975 \text{ m}^3 \cdot 1170000 \text{ Pa} \cdot 800 \text{ rpm} \cdot 0,016}{2} = 14788,8 \text{ W} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} = 14,78 \text{ kW}$$

4.2.3. Densidad del aire.

La densidad del aire en diferentes puntos de la trayectoria recorrida durante las pruebas de ruta ejecutadas fue determinada en base a la **Ecuación 11**. En promedio para la ciudad de Santo Domingo se determinó que:

$$\rho_a = \frac{(0,34848 \cdot 960,3) - (0,009 \cdot 76,5)^{(0,061 \cdot 23,6)}}{273,15 + 23,6} = 1,12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

La densidad del aire en la ciudad de Quevedo es:

$$\rho_a = \frac{(0,34848 \cdot 1000,8) - (0,009 \cdot 77,09)^{(0,061 \cdot 23,79)}}{273,15 + 23,79} = 1,17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

4.2.4. Flujo volumétrico de aire.

Debido a que el automóvil no cuenta con sensor MAF, es necesario determinar el caudal volumétrico de aire teórico, mediante la **Ecuación 4**.

$$V_d = 4 \cdot \frac{\pi \cdot (0,082)^2}{4} \cdot 0,0935 \cdot \frac{800}{60 \cdot 2} = 0,013 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

4.2.5. Flujo másico de aire.

Posteriormente, mediante la **Ecuación 5**, se calcula el caudal másico de aire admitido por el motor, en 800 rpm y $1,12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ es:

$$\dot{m} = 1,12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,013 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,015 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

4.2.6. Caudal de combustible (gasolina).

El caudal de combustible se calcula mediante la **Ecuación 7**, donde la variable $0,017172 \text{ m}^3$ es equivalente al volumen de gasolina que el motor consume en un determinado instante de tiempo, el mismo que es establecido en tiempo real por el OBDII.

$$\dot{Q}_c = \frac{0,017172 \text{ m}^3}{3600 \text{ s}} = 0,00000477 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

4.2.7. Flujo másico de combustible.

El flujo másico de combustible se calcula con la **Ecuación 8**, y depende de la densidad de la gasolina en base al flujo volumétrico que se está generando.

$$M_p = 735 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,00000477 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \frac{3600\text{s}}{1 \text{ h}} = 12,6 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

4.2.8. Consumo de combustible específico del freno.

Posteriormente, el SFC es una variable indispensable para procesar la caracterización del mapa de isoconsumo, y se calcula en base a la **Ecuación 2**.

$$\text{SFC} = \frac{12,6 \cdot 1000}{14,78 \text{ kW}} = 852,50 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$$

Es decir, el motor utiliza $852,50 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$, para realizar un trabajo útil.

4.2.9. Consumos de combustible en base a la distancia recorrida.

Prueba 1 (ida). –

Para realizar el proceso de cálculo se establece la **Ecuación 3**, para cada instante de tiempo de la experimentación. Se conoce el flujo del MAF promedio que es $2 \frac{\text{gal}}{\text{h}}$, la velocidad del vehículo promedio durante la prueba es de $58,31 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, mediante estos dos parámetros iniciales se procede a calcular el consumo de combustible en $[\frac{\text{km}}{\text{gal}}]$, y posteriormente se transforma a $[\frac{\text{km}}{\text{l}}]$.

$$f = \frac{58,31 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{2 \frac{\text{gal}}{\text{h}}} = 29,15 \frac{\text{km}}{\text{gal}} \cdot \frac{0,26 \frac{\text{km}}{\text{l}}}{1 \frac{\text{km}}{\text{gal}}} = 7,7 \frac{\text{km}}{\text{l}}$$

El vehículo se encuentra consumiendo 1 litro de gasolina por cada 7,7 km de distancia recorrida, por ende, mediante una regla de tres se deduce que en 100 km se requieren 12,98 litros de gasolina.

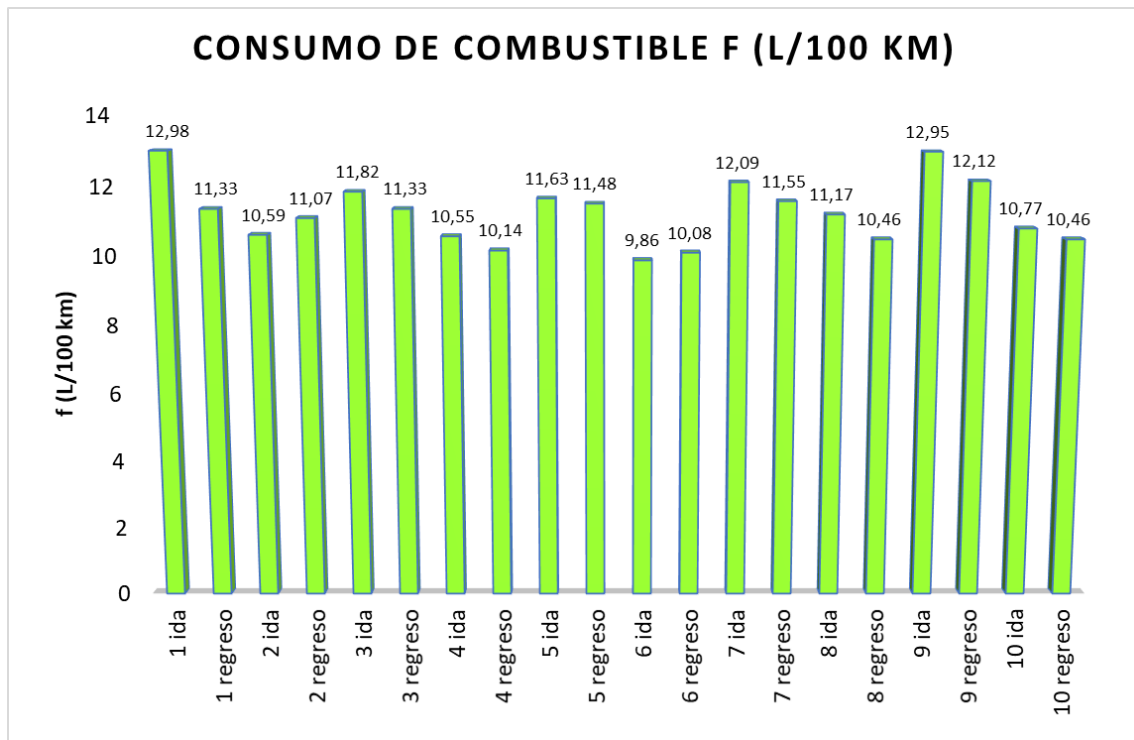
Tabla 9. Consumo de combustible.

Número de prueba de ruta	Consumo de combustible ($\frac{l}{100 \text{ km}}$)
Prueba 1 ida	12,98
Prueba 1 regreso	11,33
Prueba 2 ida	10,59
Prueba 2 regreso	11,07
Prueba 3 ida	11,82
Prueba 3 regreso	11,33
Prueba 4 ida	10,55
Prueba 4 regreso	10,14
Prueba 5 ida	11,63
Prueba 5 regreso	11,48
Prueba 6 ida	9,86
Prueba 6 regreso	10,08
Prueba 7 ida	12,09
Prueba 7 regreso	11,55
Prueba 8 ida	11,17
Prueba 8 regreso	10,46
Prueba 9 ida	12,95
Prueba 9 regreso	12,12
Prueba 10 ida	10,77
Prueba 10 regreso	10,46

Fuente: Pruebas de ruta.**Elaborado: Autora.**

En la Ilustración 27, se puede observar que el consumo de combustible en litros por la distancia recorrida en 100 km es una variable prácticamente uniforme en la mayoría de las pruebas de ruta ejecutadas, debido a que se mantiene una velocidad promedio estándar de 70 a 90 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. El consumo de combustible promedio es de 11,22 $\frac{l}{100 \text{ km}}$.

Ilustración 27. Consumo de combustible.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

4.2.10. Proceso de obtención de mapas de contorno de consumo de combustible.

El proceso de obtención de los mapas de SFC en función al par y potencia respectivamente, fue mediante el software Minitab, el cual es un programa de manejo básico para estudios estadísticos y de índole ingenieril.

En primer lugar, se debe establecer en la hoja de trabajo, el archivo .xlsx que contiene el fichero de datos obtenido mediante el OBDII. Se debe verificar que no exista una colinealidad entre los valores numéricos establecidos.

Ilustración 28. Hoja de trabajo – Minitab.

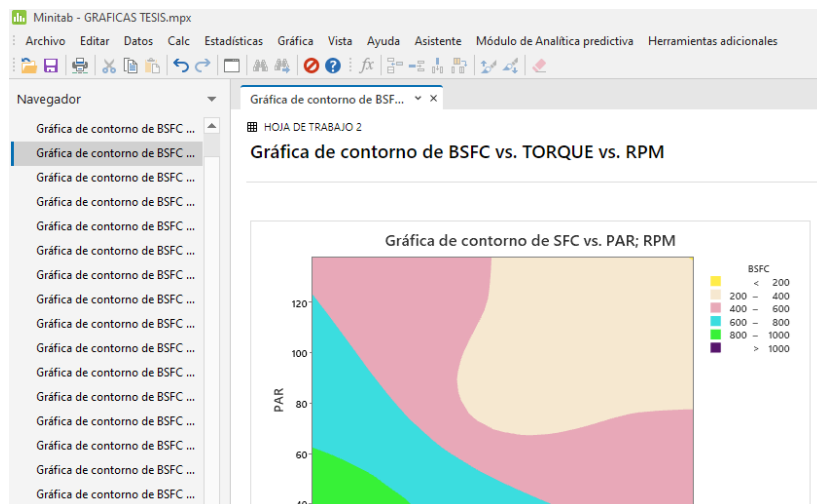
↓	C1	C2	C3	C4
	RPM	TORQUE	POTENCIA	SFC
1	850	34,000	15,71	801,24
2	3091	123,640	57,14	220,34
3	613	24,520	11,33	1111,02
4	654	26,160	12,09	1010,00
5	2054	82,170	37,97	331,58
6	705	28,200	13,03	366,00
7	3447	137,880	63,72	197,60
8	687	27,480	12,69	991,30
9	699	26,000	12,83	981,30
10	2241	89,130	41,42	303,90

Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

El programa detecta a las variables establecidas en el documento .xlsx generado, posteriormente procede a generar el diagrama de contorno, denominado así por las isólineas que representa en función al SFC, par o potencia y rpm.

Ilustración 29. Construcción del mapa.

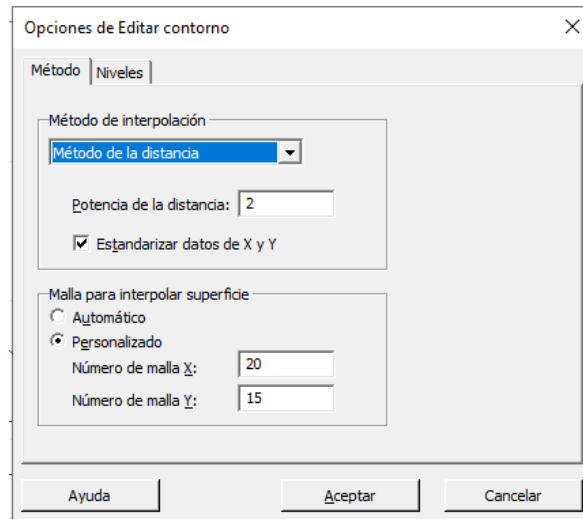


Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

El programa permite editar la colorimetría del diagrama, líneas, barra de concentración de datos, texto en el gráfico, entre otras características de presentación generales. Para obtener una gráfica más precisa en cuanto a los puntos de consumo se debió editar la zona de datos internos en los contornos, de la siguiente manera:

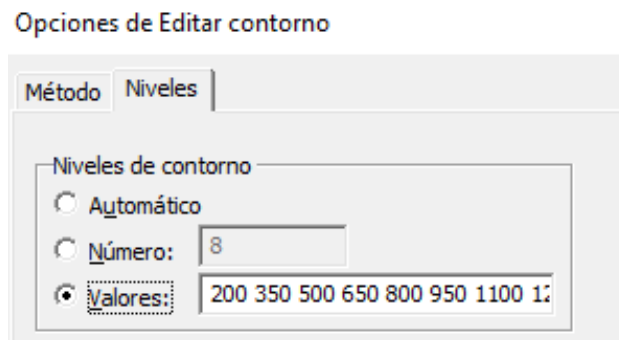
Ilustración 30. Proceso de interpolación.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

Ilustración 31. Edición de líneas de contorno.

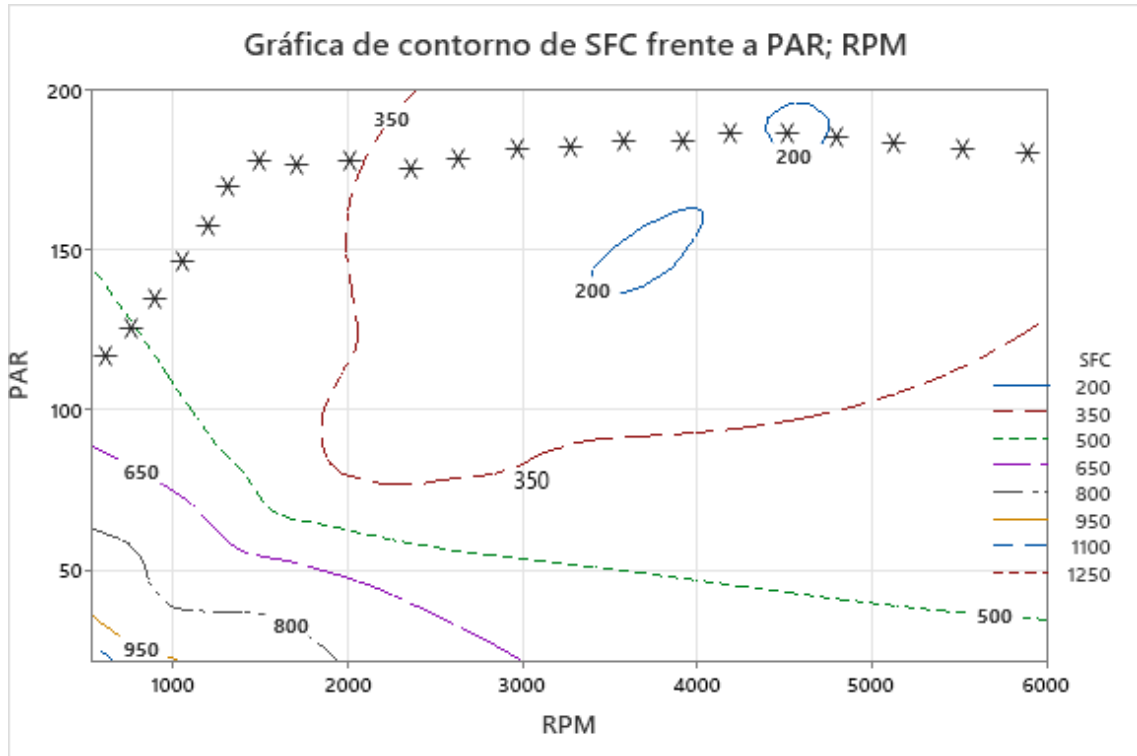


Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

A partir de las modificaciones, se obtiene un diagrama específico de consumo específico de combustible en función de las RPM y el par obtenido mediante experimentación.

Ilustración 32. Mapa de consumo de combustible.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

4.3. Discusión.

4.3.1. Ausencia de sensor MAF.

El vehículo de experimentación es el Kia Sportage Active del año 2010, por ende, el fabricante durante esa temporada no presentaba este tipo de automóviles con el sensor MAF integrado, el cual es el encargado de cuantificar la cantidad de aire que ingresa por el motor en un instante de tiempo determinado, y transferir una señal eléctrica a la unidad de control. Debido a la problemática surgida se calculó el flujo de ingreso de aire al motor en forma teórica en base a las características propias del motor. Las variables son:

Tabla 10. Flujo másico y potencia en distintos regímenes.

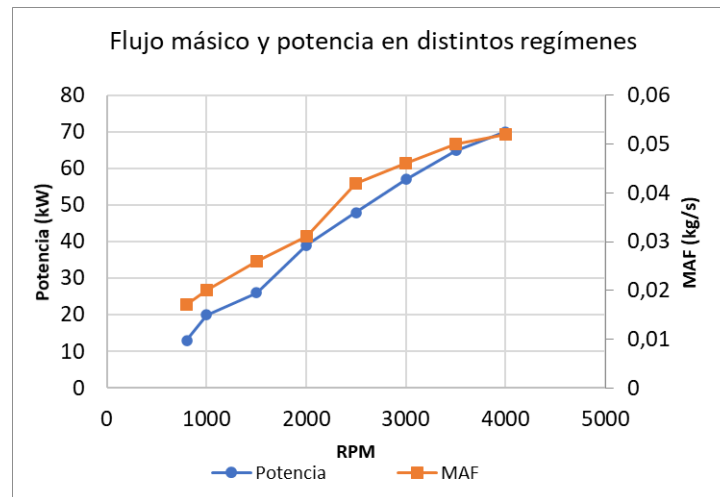
Régimen del motor	Valor ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$)	Potencia (kW)
800	0,017	13
1000	0,020	20
1500	0,026	26
2000	0,031	39
2500	0,042	48
3000	0,046	57
3500	0,050	65
4000	0,052	70

Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

En la Ilustración 33, se evidencia un aumento directamente proporcional entre las revoluciones por minuto y el ingreso de aire al motor. Esto da como resultado un aumento de potencia en el motor, el mismo que requiere de mayor consumo de aire a mayores regímenes en el motor.

Ilustración 33. RPM frente flujo másico y potencia a distintos regímenes.



Fuente: Pruebas de ruta.

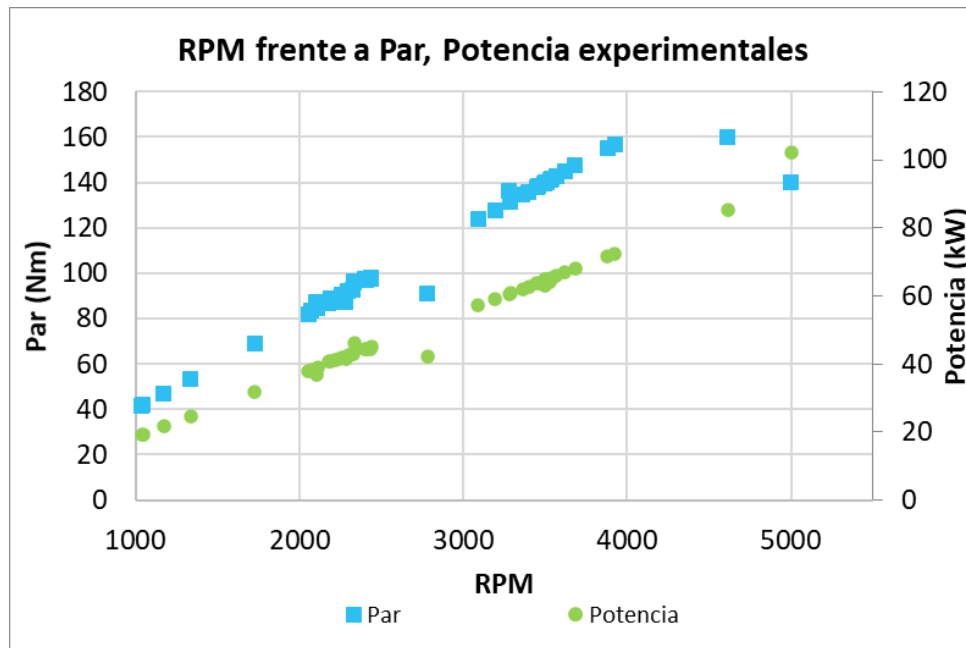
Elaborado: Autora.

4.3.2. Curva RPM frente a Par – RPM frente a Potencia.

Las condiciones medioambientales en las cuales se realizaron las pruebas de ruta permiten especificar los rangos de consumo de combustible y diferenciarlos de los realizados por el fabricante.

En el siguiente diagrama se representa la curva estándar de potencia y par en función a las revoluciones por minuto del motor ejercidas. El diagrama es generado por el fabricante del Motor Beta 2.0 L en condiciones de operación estándar. Se observa que actúan directamente proporcional a las revoluciones por minuto, puesto que aumentan conforme estas son mayores. Una particularidad del diagrama es que mientras aumentan la potencia y las revoluciones se requiere de un menor par, por ende, las revoluciones requeridas para proporcionar una máxima potencia son mayores a las necesarias para alcanzar un par máximo como se puede observar en la Ilustración 34.

Ilustración 34. Curva RPM frente a Par-Potencia.

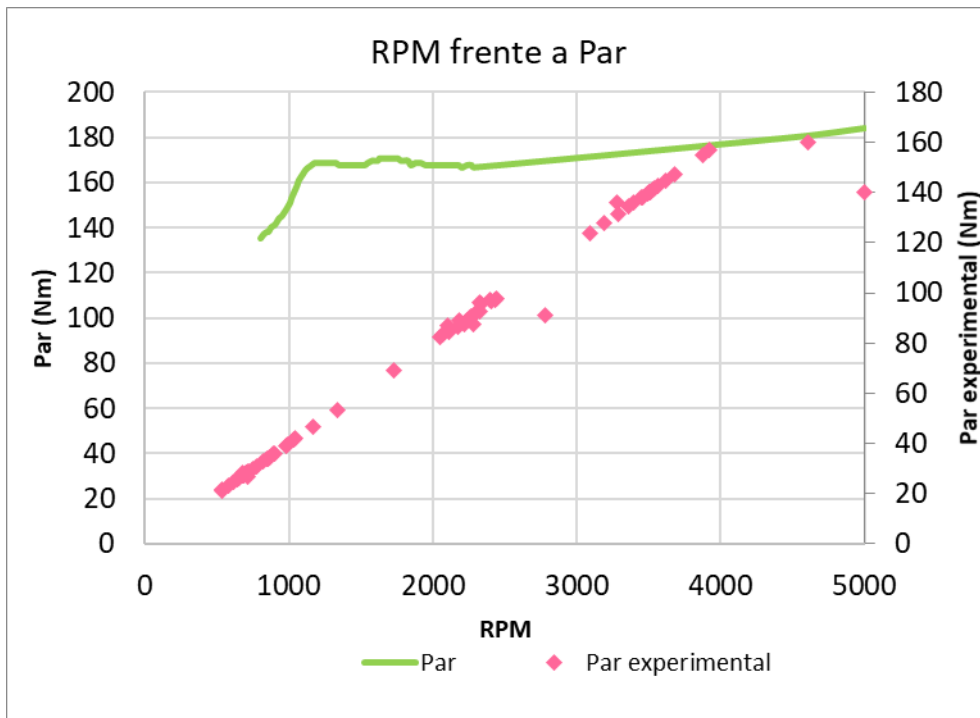


Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

Las gráficas presentadas a continuación reflejan los datos de par y potencia experimentales que fueron calculados en base a las variables arrojadas durante las pruebas de ruta. En la Ilustración 35, se evidencia que se presentó el régimen de par máximo equivalente a 180 Nm en el punto de pico más alto a 4500 rpm y con el aumento a 5000 rpm el par disminuye a 160 Nm, por ende, a mayores rpm el motor trabaja a plena carga y no requiere de mayor fuerza de trabajo. Se realizó el cálculo del porcentaje de error existente en referencia al mayor valor de par presentado por el fabricante y obtenido durante la experimentación, los cuales equivalen a 184 Nm y 160 Nm respectivamente. La diferencia entre el par establecido por el fabricante y el experimental es del 13%.

Ilustración 35. Diagrama RPM frente a Par.

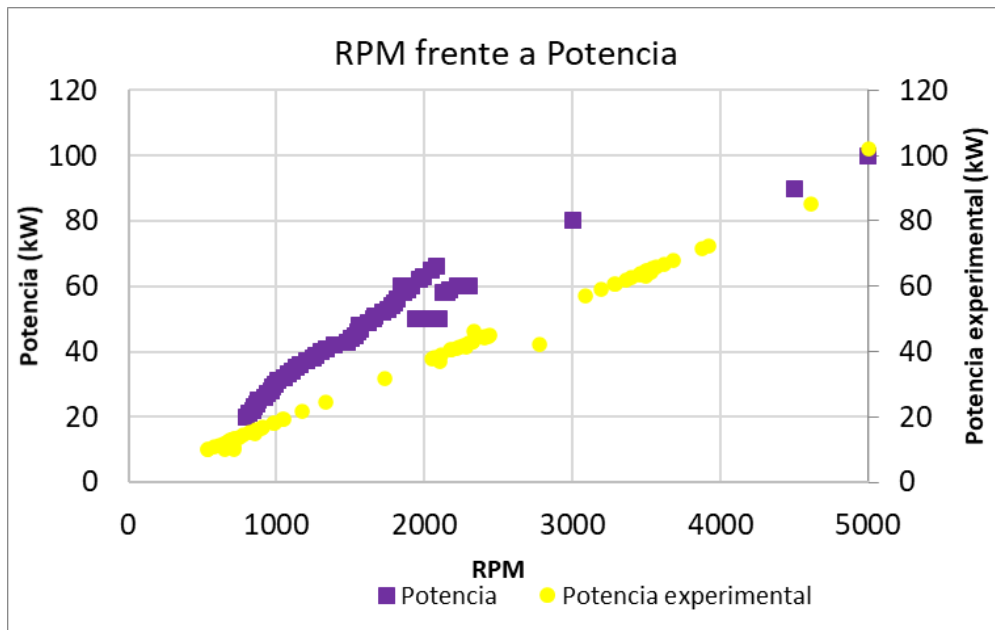


Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

Por otra parte, en la Ilustración 36, la potencia efectiva se muestra que es directamente proporcional a la velocidad angular (rpm) que ejecuta el motor en operación, es decir se obtiene una recta creciente. En el análisis de la potencia se verificó que durante la experimentación se obtuvo la potencia máxima a un régimen de 5000 rpm, por ende, el análisis del margen de diferencia se lo realiza en base a las revoluciones por minuto en las que el motor genera la potencia máxima de operación. El fabricante establece que el Motor Beta 2.0 alcanza los 102 kW a 6000 rpm y como se puede observar en la experimentación ocurre a 5000 rpm, por lo tanto, el margen de error es del 16 %.

Ilustración 36. Diagrama RPM frente a Potencia.

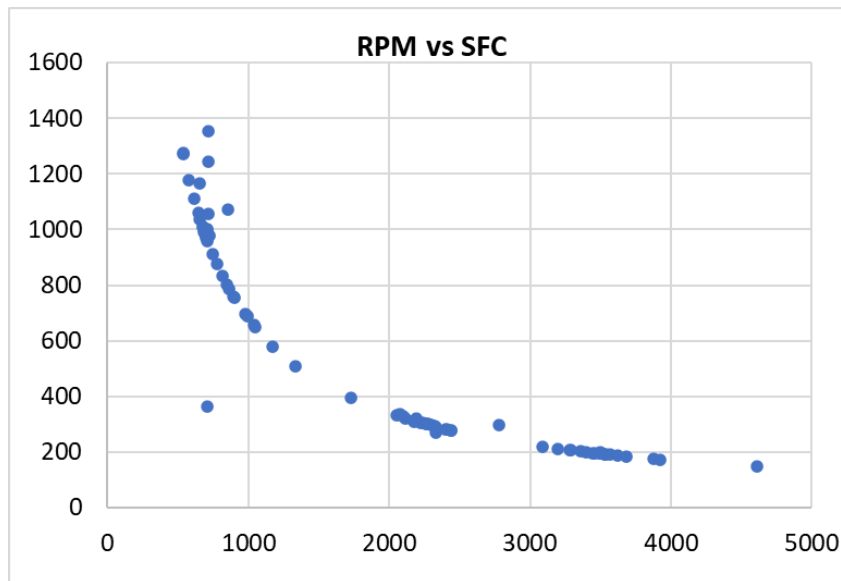


Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

A partir de los resultados, se pueden construir los diagramas de carga de trabajo que requiere la máquina térmica para cumplir con la operación. La medición de los parámetros de carga establece el punto de operación del motor en diferentes modos de ejecución. En la Ilustración 37, se observa que a mayor par operativo se reduce el consumo de combustible específico. Es decir, el motor se encuentra en una zona óptima de consumo de combustible entre 3000 y 4000 rpm con un SFC de 200-300 $\frac{g}{kWh}$.

Ilustración 37. Par frente a SFC.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

4.3.3. Caracterización de mapa de consumo específico de combustible.

Se realizó un análisis estadístico en los regímenes del motor presentados a continuación:

Tabla 11. Regímenes de operación.

Nro. Prueba	REGIMÉN	RPM	TORQUE	POTENCIA	BSFC
1 ida	Ralentí	850	34	15,71	801,24
	Torque máximo	3091	123,64	57,14	220,34
	Bsfc máximo	613	24,52	11,33	1111,02
	Variables Promedio	2054	82,17	37,97	331,58
1 regreso	Ralentí	705	28,2	13,03	366
	Torque máximo	3447	137,88	63,72	197,6

	Bsfc máximo	687	27,48	12,69	991,3
	Variables Promedio	2241	89,13	41,42	303,9
2 ida	Ralentí	865	34,6	15,99	787,34
	Torque máximo	3397	135,88	62,79	200,98
	Bsfc máximo	578	23,12	10,68	1178,297
	Variables Promedio	2111	84,44	39	319,75
2 regreso	Ralentí	895	35,8	16,54	760,96
	Torque máximo	3360	134,4	62,11	202,7
	Bsfc máximo	642	25,68	11,86	1060,83
	Variables Promedio	2779	91,16	42,2	298,89
3 ida	Ralentí	748	29,92	13,82	910,5
	Torque máximo	3498	139,92	64,66	194,69
	Bsfc máximo	715	28,6	13,21	1353,98
	Variables Promedio	2179	86,48	40,68	309,43
3 regreso	Ralentí	697	27,88	12,88	977,29
	Torque máximo	3280	136,16	60,63	207,63
	Bsfc máximo	703	28,16	13,01	994,29
	Variables Promedio	2280	87,274	41,55	302,96
4 ida	Ralentí	710	28,4	13,12	959,23
	Torque máximo	3288	131,52	60,78	207,13
	Bsfc máximo	712	28,48	11,06	1055,9
	Variables Promedio	2296	91,98	42,44	296,63

4 regreso	Ralentí	699	27,96	12,92	974,32
	Torque máximo	3500	140	64,7	194,58
	Bsfc máximo	650	26	10	1164,198
	Variables Promedio	2406	96,81	44,47	283,06
5 ida	Ralentí	777	31,08	14,36	876,52
	Torque máximo	4611	184,44	85,23	147,7
	Bsfc máximo	656	26,24	12,12	1038,2
	Variables Promedio	2219	87,33	41,08	306,92
5 regreso	Ralentí	701	28,04	12,95	971,55
	Torque máximo	3878	155,12	71,68	175,62
	Bsfc máximo	676	28,2	12,49	1007,48
	Variables Promedio	2101	87,12	37	329,06
6 ida	Ralentí	704	28,16	13,01	967,4
	Torque máximo	3457	138,28	63,9	197
	Bsfc máximo	683	27,32	12,62	997,15
	Variables Promedio	2436	97,44	44,51	279,58
6 regreso	Ralentí	817	32,68	15,1	833,61
	Torque máximo	3619	144,76	66,9	188,19
	Bsfc máximo	857	34	15	1072,53
	Variables Promedio	2402	97,38	44,4	283,54
7 ida	Ralentí	1038	41,52	19,18	656,1
	Torque máximo	3536	141,44	65,36	192,6

	Bsfc máximo	708	28,32	13,05	994,2
	Variables Promedio	2261	90,63	41,79	301,2
7 regreso	Ralentí	979	39,16	18,09	695,66
	Torque máximo	3683	147,32	68,08	184,92
	Bsfc máximo	700	28	12,99	988,47
	Variables Promedio	2322	92,73	42,94	293,31
8 ida	Ralentí	904	36,16	16,71	753,38
	Torque máximo	3567	142,68	65,93	190,93
	Bsfc máximo	716	27	10,13	1242,8
	Variables Promedio	2188	89,01	40,66	322,19
8 regreso	Ralentí	1172	46,88	21,66	581,11
	Torque máximo	3924	156,96	72,53	173,56
	Bsfc máximo	725	29	13,4	977,12
	Variables Promedio	2438	97,79	45,06	279,35
9 ida	Ralentí	990	39,6	18,3	687,94
	Torque máximo	3194	127,76	59,04	213,23
	Bsfc máximo	535	21,4	9,89	1273
	Variables Promedio	2072	83,61	38,22	337,32
9 regreso	Ralentí	1046	41,84	19,33	651,11
	Torque máximo	3529	141,16	64,23	192,99
	Bsfc máximo	707	28,28	12,55	1003,03
	Variables Promedio	2269	90,59	41,94	300,16

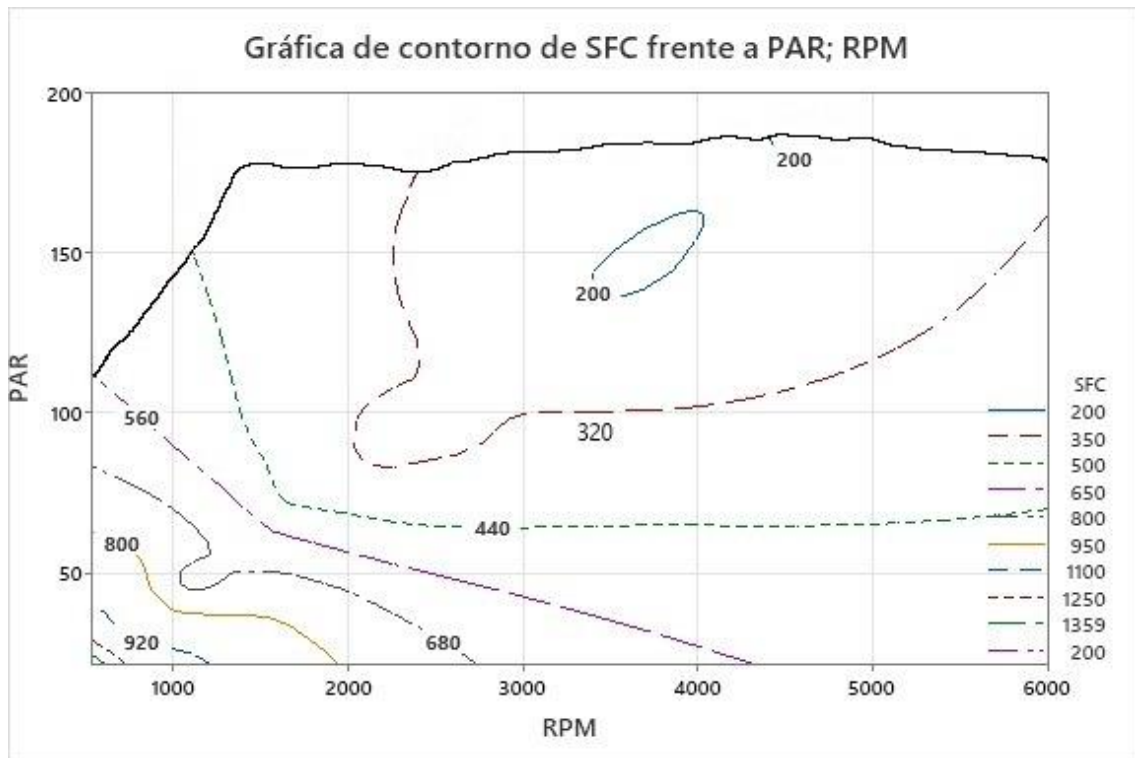
10 ida	Ralentí	1728	69,12	31,94	394,13
	Torque máximo	3507	140,28	64,83	194,2
	Bsfc máximo	534	21,36	9,87	1275,39
	Variables Promedio	2333	95,73	46,28	271,99
10 regreso	Ralentí	1335	53,4	24,67	510,15
	Torque máximo	3494	139,76	63	198,04
	Bsfc máximo	676	27,04	12,49	1007,48
	Variables Promedio	2329	96,31	43	288

Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

Se obtiene el mapa de consumo de combustible para diferentes regímenes del motor, donde el SFC más bajo es $192 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$, este consumo más pequeño se encuentra en un régimen de par máximo, debido a que el motor es más eficiente en ese instante. Las revoluciones por minuto medias y un par máximo generan coeficientes de SFC más pequeños y esto demuestra que existen pérdidas mecánicas en base a la fricción, las mismas que aumentan proporcionalmente con las revoluciones por minuto y, por ende, en un par bajo, toda la energía útil se utiliza para hacer girar al motor y a sus elementos. Por su parte a mayor carga las pérdidas por fricción estática pasan desapercibidas.

Ilustración 38. Mapa de consumo.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

El consumo de combustible de un automóvil es un factor que establece una relación entre la cantidad de combustible y la energía requerida para realizar un trabajo útil. Depende de las condiciones donde el vehículo ejecuta su respectivo funcionamiento, conductor, características del motor, pérdidas mecánicas y regímenes de conducción.

En la Ilustración 38 se observa que el factor que incide en el SFC es el par, puesto que a mayor par menos SFC. Lo cual demuestra que el motor es eficiente. El par máximo es una variable cuantitativa de la magnitud de fuerza que realiza el motor para lograr el movimiento de los elementos mecánicos que lo integran. Es un punto de carga alta o denominado también como rango útil de par motor.

Cuando las revoluciones por minuto a las que gira el cigüeñal son bajas, no llega suficiente combustible a los cilindros y por lo tanto la potencia se ve reducida, por lo contrario, mientras más combustible llegue a los cilindros esto aumenta la fuerza de los pistones y, por ende, aumenta el par y la potencia llegando a un régimen de operación óptimo.

4.3.4. Influencia de los resultados obtenidos.

4.3.4.1. Análisis del SFC.

Medir esta variable es difícil en vehículos de carretera en funcionamiento. Este tipo de medición requiere un cilindro de prueba y un medidor de flujo para registrar la cantidad de combustible consumido entre otros registradores de datos en tiempo real. Esta propiedad establece en qué áreas (rango de velocidad) opera el motor de manera más económica, respectivamente.

En la Ilustración 38, se observa que el motor se encuentra en una zona óptima de consumo de combustible, en un rango de régimen estacionario equivalente a 4000 rpm, en el cual se encuentra realizando un trabajo útil en un instante de tiempo. El consumo de combustible en la zona óptima oscila de 200 a 350 $\frac{\text{g}}{\text{kWh}}$, es decir está consumiendo 200 g de combustible por cada kWh de energía que entrega, esto es lo ideal para este tipo de motores. Sin embargo, es importante conocer el consumo específico de combustible en todo el rango de carga y velocidad del motor.

El vehículo es un sistema dinámico que requiere de mayor par para vencer la resistencia a la inercia, es decir, salir del estado estacionario o de reposo, por ende, en esta investigación se identificó que el motor en estado ralentí con 800 rpm proporciona un par equivalente a 30 Nm y una potencia de 15 kW. Esto demuestra que el sistema a bajas rpm requiere que el consumo específico de combustible y el par sean mayores para vencer el estado de reposo en el que se encuentra.

4.3.4.2. Consumo de energía del vehículo en l/100 km

El consumo de combustible del vehículo en $[\frac{\text{l}}{100 \text{ km}}]$ depende de diferentes factores como las condiciones medioambientales, forma de conducir, tipo de vehículo entre otras. Dentro de las pruebas realizadas se establece que se generan valores de 9 hasta 12 $\frac{\text{l}}{100 \text{ km}}$.

En el caso de la prueba 1 de regreso, se mantuvo una velocidad de 80 km/h y se calculó $247 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$ de SFC, el consumo de combustible es de $11,33 \frac{1}{100 \text{ km}}$ lo cual es menor a la prueba 1 de ida debido a que la potencia promedio se redujo de 43 a 37 kW respectivamente.

En la prueba 2 de ida el consumo es menor que en la prueba 2 de regreso. Ocurre que a 200 $\frac{\text{g}}{\text{kWh}}$ y 45 kW de SFC y potencia respectivamente, el consumo es de $10,59 \frac{1}{100 \text{ km}}$ siendo menor frente a la prueba 2 de regreso la cual es $11,07 \frac{1}{100 \text{ km}}$, esto surge por el aumento de la velocidad promedio durante la prueba 2 ida.

El consumo de combustible en $[\frac{1}{100 \text{ km}}]$ representa la cantidad de combustible consumido en litros y la distancia recorrida en un rango de 100 km. Es una característica importante en la contaminación del aire, y debido a la importación de combustible es un factor que en muchos países está parametrizado en base al ahorro energético de combustible. Los costos de gasolina generados durante la experimentación rondan entre 12 – 15 \$ USD por cada prueba (ida y regreso) ejecutada.

4.3.4.3. Factores que afectan el consumo de combustible

En este tipo de vehículo conducir a altas velocidades implica un mayor consumo de combustible. Mantener la ventana abierta ejerce un aumento en la resistencia del aire con el vehículo lo cual incrementa el consumo. A su vez, el aire acondicionado, la conducción en corta distancia o en condiciones de parada y avance aumentan el consumo de combustible utiliza combustible.

Por otra parte, la carga es directamente proporcional al consumo de combustible, es decir, mientras mayor cantidad de personas o cargas externas tenga el vehículo se requiere de un mayor consumo para ejercer un trabajo útil.

4.3.4.4. Análisis respecto a otras investigaciones

La investigación denominada “**Etiquetado de vehículos en Ecuador, en base al consumo de combustible, emisiones de CO₂ y kilometraje vehicular**” se basa en crear un programa en Matlab para especificar el etiquetado de acuerdo con el consumo, las emisiones que produce y el kilometraje que realiza el vehículo en un determinado período de tiempo. [30]

En el proyecto de investigación externo, se analiza un automóvil Kia Sportage, el cual genera un consumo de combustible teórico equivalente a $4,67 \frac{l}{100 \text{ km}}$, en un promedio de 15,000 km recorridos anualmente y 700 litros repostados. Los litros repostados son registrados anualmente en las gasolineras de acuerdo con la placa del vehículo y representan la reposición de combustible.

En el caso del vehículo Kia Sportage 2.0 del presente proyecto de titulación, se conoce el promedio de consumo de combustible que es $11,22 \frac{l}{100 \text{ km}}$ y el kilometraje anual es de 20,000 km, por ende, se calcula la cantidad de litros repostados de la siguiente manera:

$$f = \frac{l_{\text{rep}} \times 100}{\text{km}_{\text{anual}}} \quad \text{Ecuación 12.}$$

$$l_{\text{rep}} = \frac{f \cdot \text{km}_{\text{anual}}}{100}$$

$$l_{\text{rep}} = \frac{11,22 \frac{l}{100 \text{ km}} \cdot 20,000 \text{ km}}{100} = 2244 \text{ l}$$

El cálculo de litros repostados por el Kia Sportage 2.0 es de 2244 l de combustible que representan la reposición de gasolina en un año de operación manteniendo un consumo de combustible equivalente a 11,22 litros por cada 100 km de distancia recorrida.

El consumo real de combustible obtenido en la experimentación es de $11,22 \frac{1}{100 \text{ km}}$ lo que indica un 58,11% de diferencia con respecto al consumo de $4,67 \frac{1}{100 \text{ km}}$ calculado por los autores de la investigación externa. Cabe recalcar que en el kilometraje anual existe un 25% de diferencia, aun así, se debe realizar un mantenimiento preventivo al motor y una revisión de los siguientes parámetros técnicos:

- ✓ Régimen de trabajo del motor
- ✓ Estado del alternador, radiador, aceite, batería
- ✓ Revisión de sistemas auxiliares y de enfriamiento de aire
- ✓ Sistemas computarizados de inyección de combustible y operación.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- Mediante investigación bibliográfica se dedujeron las características técnicas del vehículo, el cual tiene un par máximo de 184 Nm a 4500 rpm, posee una potencia de salida máxima equivalente a 102 kW a 6000 rpm. Conocer estos parámetros permitió realizar la interpolación de las variables obtenidas en el ensayo y generar diagramas de RPM frente a Potencia y RPM frente a Par. En las gráficas obtenidas de la experimentación se observa que los valores no sobrepasan los límites máximos en los que el motor opera. En promedio todas las pruebas de ruta realizadas el motor genera un par máximo de 180 Nm a 4611 rpm y una potencia máxima de 72 kW a 3900 rpm.
- El factor que incide directamente en el consumo de combustible es el par, puesto que es un parámetro inversamente proporcional al SFC, mientras el par es mayor el SFC disminuye respectivamente. Cuanto menor sea el consumo de combustible específico al freno el motor operará más eficiente. Para el motor beta 2.0L en el régimen de operación de carga completa es decir con un par máximo de 184 Nm el consumo que se registra es $147,70 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$, por lo tanto, en ese instante de tiempo el motor está consumiendo menor cantidad de combustible por energía por unidad de tiempo. Por lo contrario, cuando se registra un par de 26,24 Nm aumenta el SFC a $1038,20 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$, demostrando así que el motor está necesitando más combustible para producir un trabajo útil.
- La densidad del aire se mantuvo en $1,12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ en la provincia de Santo Domingo y al ingresar a Quevedo cambio a $1,17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, esto incide en la resistencia aerodinámica que posee el automóvil en el avance. El consumo de combustible aumenta cuando el volumen de oxígeno es menor, debido a que la concentración de contaminantes en los gases de escape es mayor porque la altura sobre el nivel del mar aumenta. Con respecto a esto, en la provincia Santo Domingo de los Tsáchilas se registran los mayores consumos de SFC.

5.2. Recomendaciones.

- Para próximos proyectos investigativos de SFC en vehículos que se encuentran en operación, se deben analizar en primera instancia que cuente con el sensor MAF para obtener el flujo de aire admitido por el motor en tiempo real.
- Se recomienda utilizar un dinamómetro que permita la medición del par que genera el vehículo en funcionamiento, para determinar a su vez la potencia efectiva en base a las revoluciones por minuto que se registran en el OBDII.
- Se debe verificar la no colinealidad entre los valores numéricos del par, potencia y SFC para que se puedan generar los mapas de contorno eficazmente. Para esto se requiere realizar un estudio de correlación múltiple entre las variables del caso antes de generar los diagramas respectivos.
- Es recomendable que el investigador tenga acceso de un mapa de consumo completo del motor donde se demuestre su comportamiento en condiciones ideales los rangos de operación fundamentales mediante un mapa de contorno.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía.

- [1] A. R. Marta Muñoz, Motores de combustión interna, UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2019.
- [2] D. V. Luis Cornejo, Determinación de ciclos termodinámicos en motores de encendido provocado de vehículos de categoría M1 en ciclos de conducción reales, Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2020.
- [3] Y. Cengel, Termodinámica, México: Mc Graw Hill, 2019.
- [4] V. R. J. M. Jairo Castillo, Determination of Torque and Power of a Gasoline Internal Combustion Engine by Using Spark with Pressure Sensor Adapted, Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 2017.
- [5] S. Cem, COMBUSTIÓN in SI Engines, 2018.
- [6] B. John, Corona Ignition System for Highly Efficient Gasoline Engines, MTZ Worldwide, 2019.
- [7] D. V. J. Llangarí, Análisis de fallas del tren alternativo del motor OPEL-CORSA 1600 mediante el uso de herramientas computacionales, Latacunga, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército, 2017.
- [8] Hyundai, Hyundai Engine, Corea del sur, 2018.
- [9] A. T. d. d. D. Ltda., Motor - Especificaciones técnicas, 2020.
- [10] B. k. 77, Kia Sportage, 2021.
- [11] S. Ruíz, Motores, México: Alfaomega.
- [12] S. Medina, Sensores Automotrices, México: INOAEP, 2018.
- [13] Electronics, CSS Electronics. Obtenido de CSS Electronics, <http://www.csselectronics.com/screen/product/can-logger-sd-cadegel/language/en>, 2020.

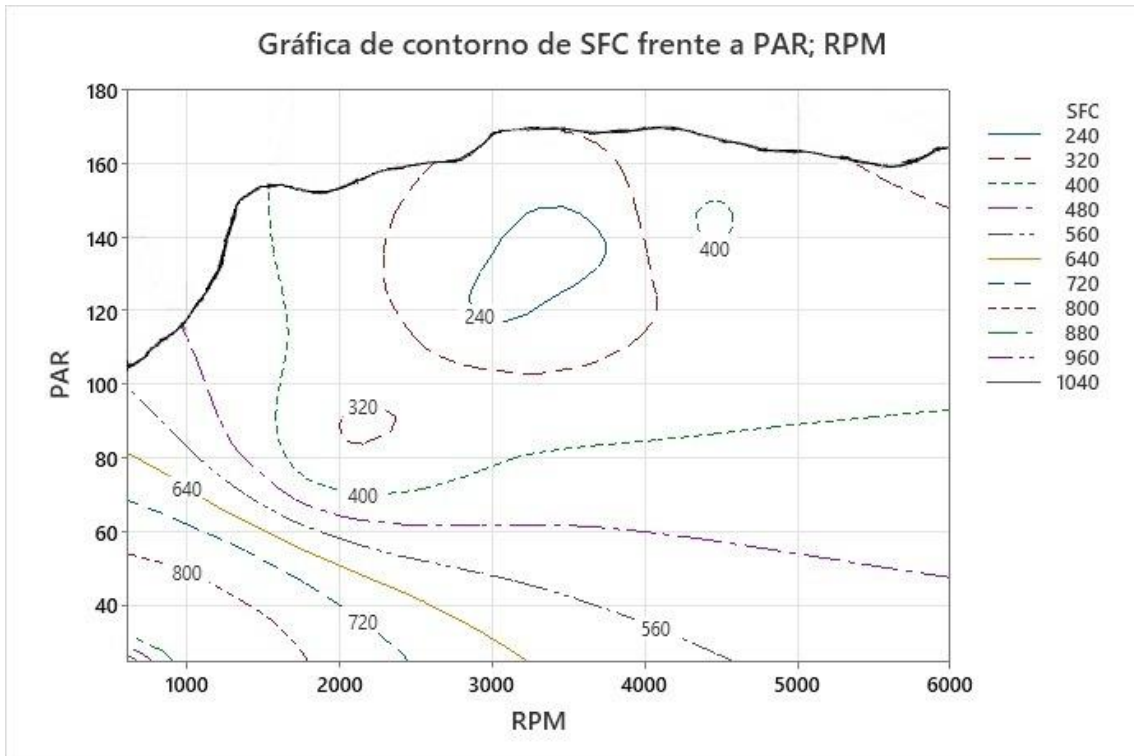
- [14] OBDII, Codes definition, (<http://www.obd-2-codes.com/>).
- [15] N. T. Ecuatoriana, Productos derivados del petróleo. Gasolina. Requisitos., Quito, Ecuador: Novena revisión., 2016.
- [16] A. F. A. I. Frank Kupper, Robust fuel consumption estimation for on-line optimization of diesel engines, IFAC - ScienceDirect, 2018.
- [17] C. & TOBAR, Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis, Cuenca, Ecuador, 2017.
- [18] K. V. Pedro Carrión, Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET, en dinámometros de chasis, Cuenca, Ecuador: Universidad del Azuay, 2018.
- [19] P. Carvalheira, A method to calculate the fuel mass flow rate consumed by a diesel engine in driving cycles, Portugal: Iberic Conference on Theoretical and Experimental Mechanics and Materials, 2018.
- [20] B. D. M. A. & B. K. Dekraker P, Construcción de mapas de motor para el modelado completo de simulación de vehículo, SAE Technical Papers, 2018.
- [21] M. M. H. G. & C. KG, Manual de usuario, Canadá: Departamento de Servicio Técnico.
- [22] C. S. F. Naranjo, Anuario meteorológico INAMHI, Ecuador: INAMHI, 2014.
- [23] M. Rainer Ribing, Guía para trabajos académicos. Tesis y trabajos de pregrado, Bogotá, Colombia: Panamericana Editorial Ltda., 2017.
- [24] J. L. Haza, Objeto de investigación y campo de acción., Santa Clara, 2020.
- [25] U. P. N. Wiener, Guía para la elaboración de tesis, enfoque cuantitativo, 081-2020-R-UPNW, 2020.
- [26] N. Reyes, Metodología de la investigación, 2019.

- [27] J. Y. M. G. C. A. L. A. Claudia Arispe, La investigación científica, Guayaquil, Ecuador: Universidad Internacional del Ecuador, 2020.
- [28] A. Gárate D, Desarrollo de un algoritmo para la adquisición y almacenamiento de datos provenientes del sistema de diagnóstico a bordo OBD II., Cuenca, Ecuador: UPS, 2018.
- [29] S. G. N. 11, Instruction Manual, www.Manualslib.com, 2020.
- [30] D. H. L. T. E. Díaz, ETIQUETADO DE VEHÍCULOS EN ECUADOR, EN BASE AL CONSUMO DE COMBUSTIBLE, EMISIONES DE CO2 Y KILOMETRAJE VEHICULAR, Latacunga, Ecuador: Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, 2019.
- [31] G. R. Pennock, Fuel Consumption Using OBD-II and Support Vector Machine Model, Hindawi, 2019.
- [32] M. Salamea J, Desarrollo de un ciclo de conducción en sustitución del NEDC, 2017.
- [33] V. W, Metodología de la investigación, Perú, 2020.
- [34] A. F. Axel Wallenberg, An ICE concept optimized for Series Hybrid application, University Lulea of Technology, 2019.
- [35] F. & S. J. QUINCHIMBILA, Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera del combustible de un vehículo con motor de ciclo Otto en el Distrito Metropolitano de Quito, Quito, 2017.
- [36] T. Meteorología, Skywatch GEOS 11, <https://tienda.taikometeorologia.com/producto/skywatch-geos-11/>, 2020.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

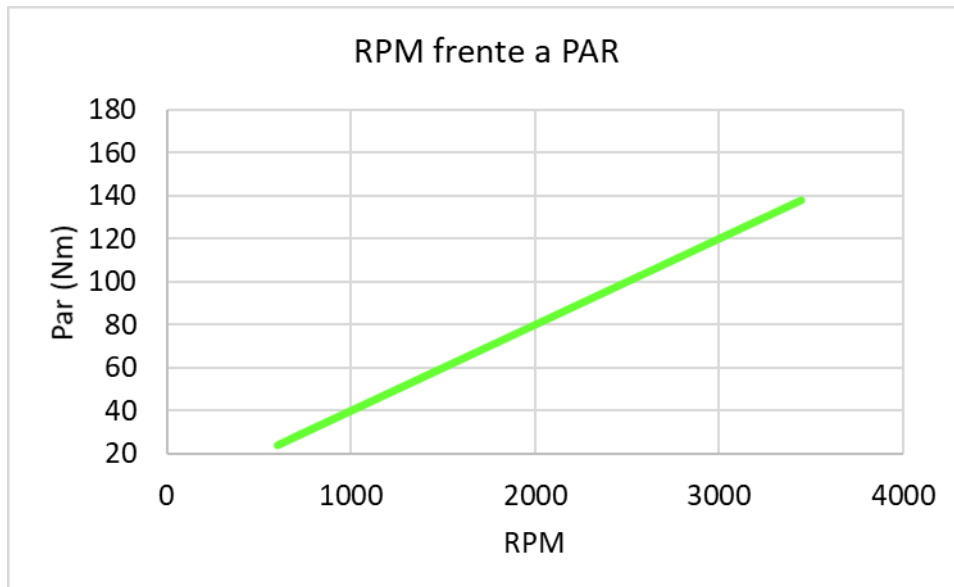
Anexo 1. Mapa de consumo de combustible – Prueba 1.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

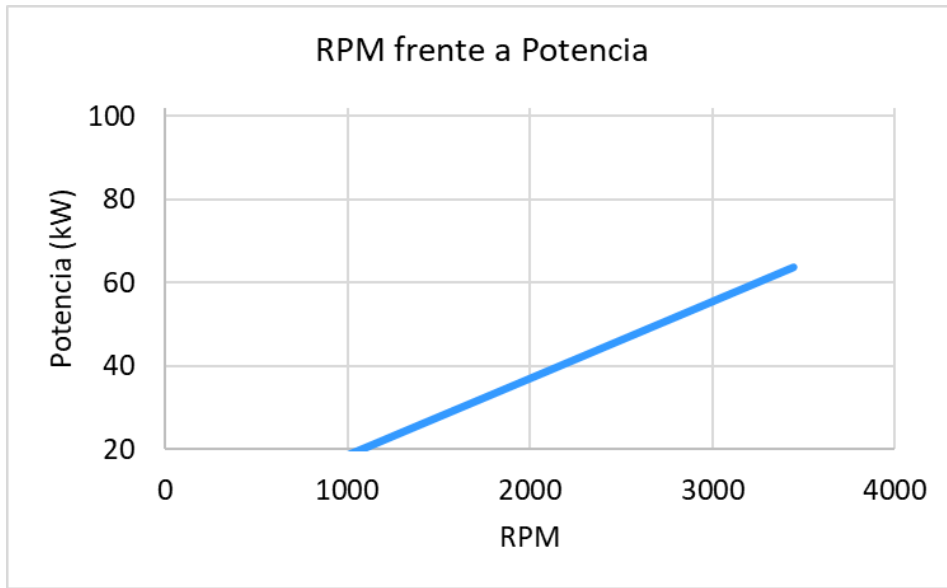
Anexo 2. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 1.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

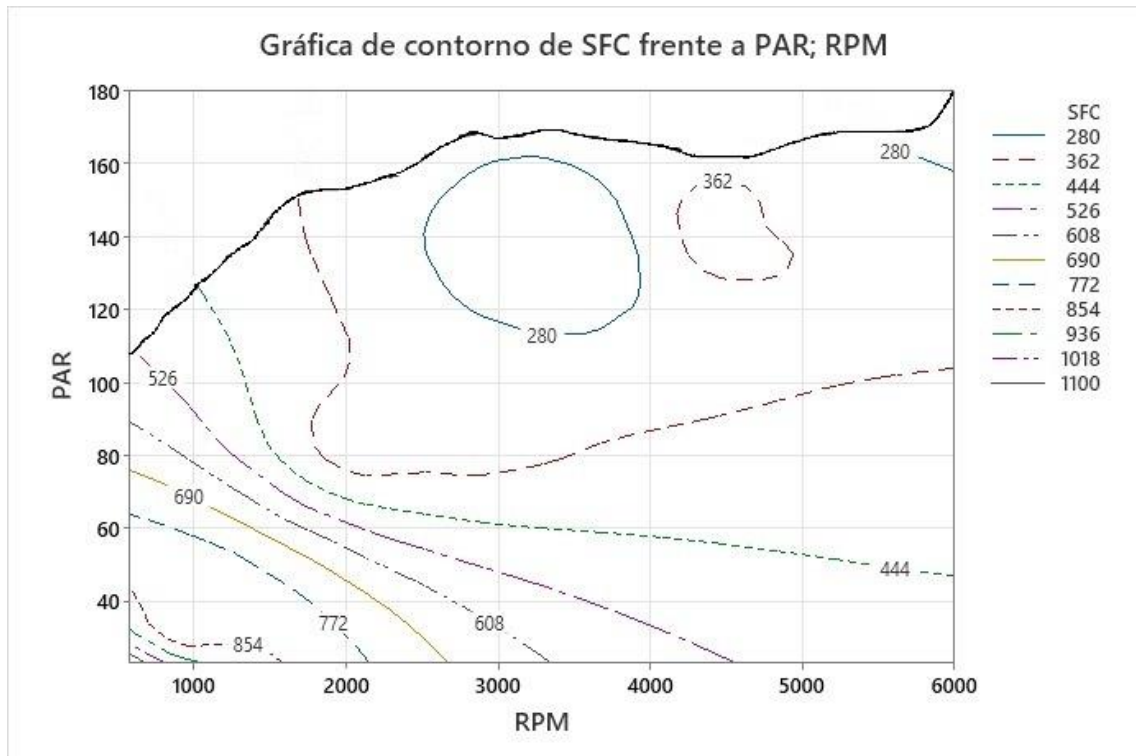
Anexo 3. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 1.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

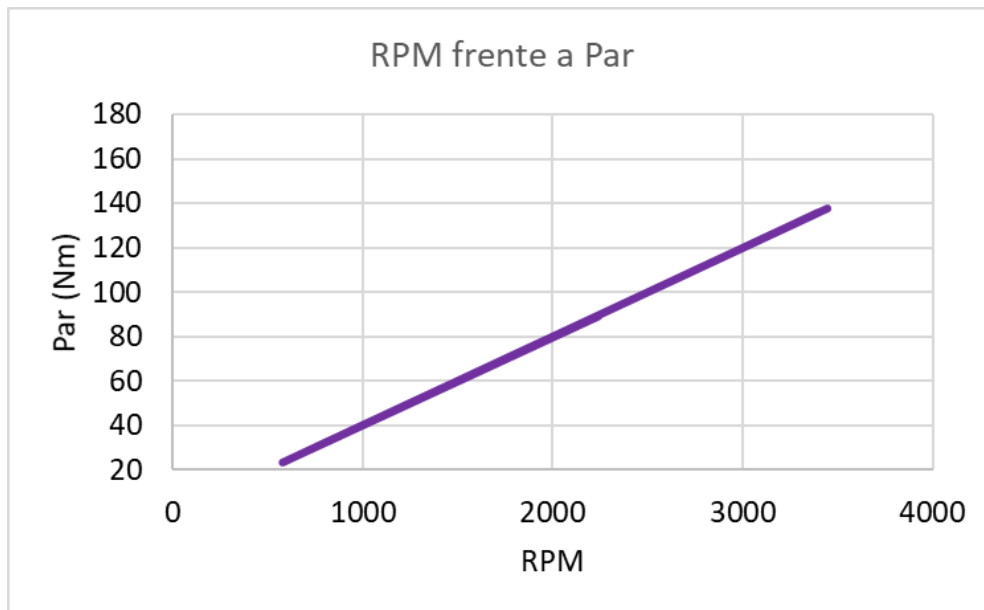
Anexo 4. Mapa de consumo de combustible – Prueba 2.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

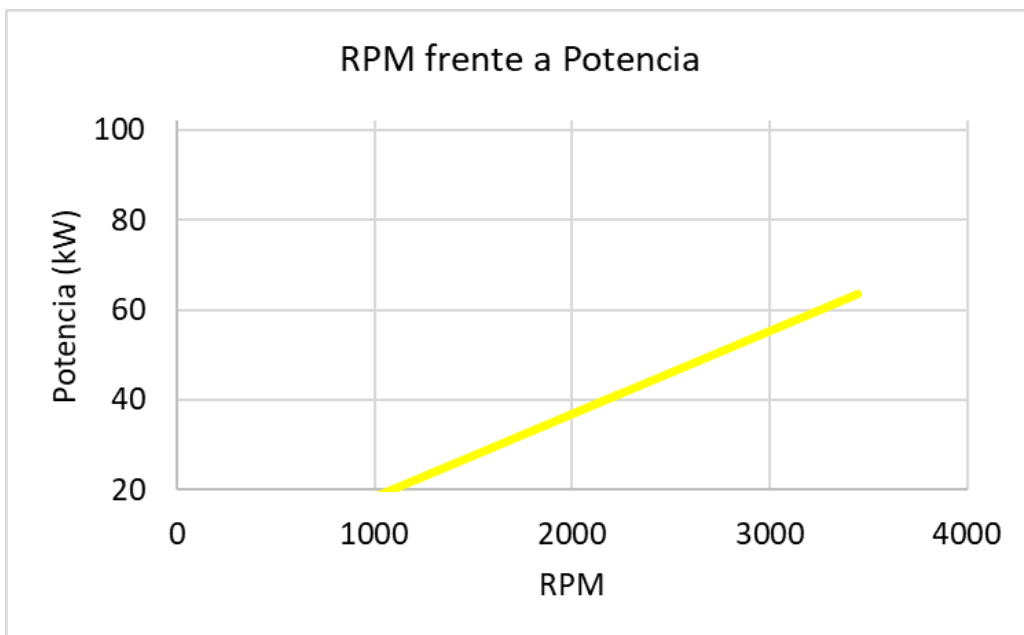
Anexo 5. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 2.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

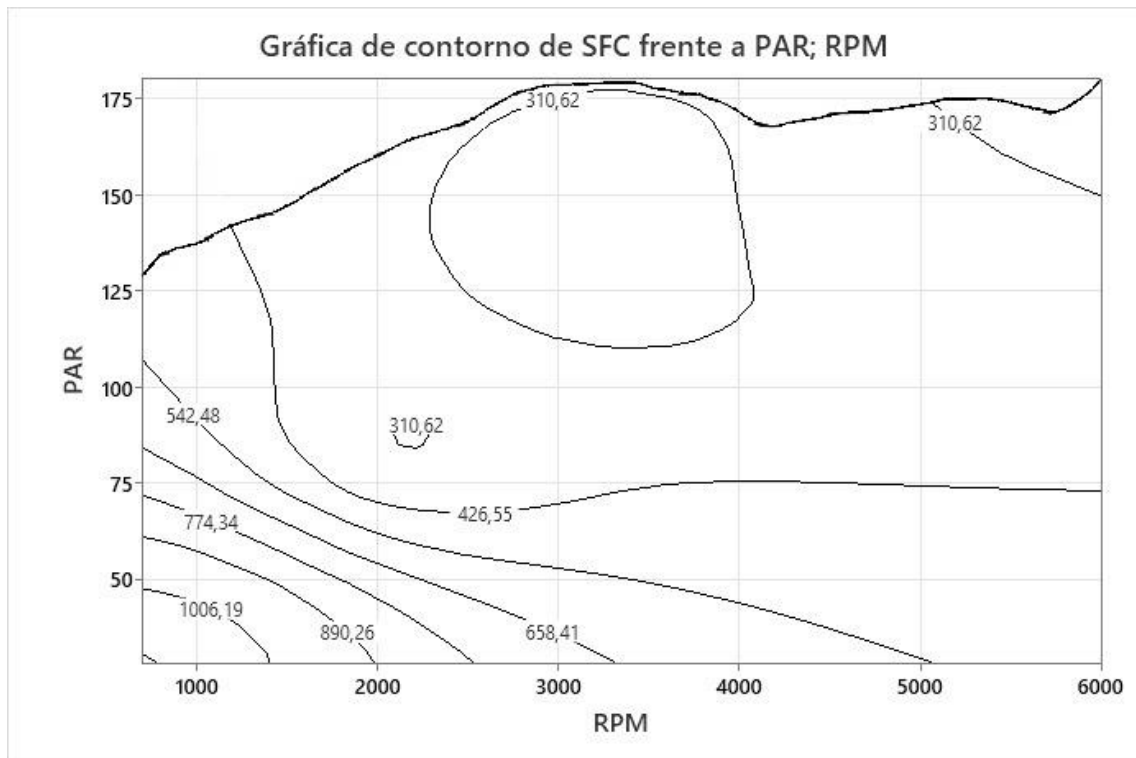
Anexo 6. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 2.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

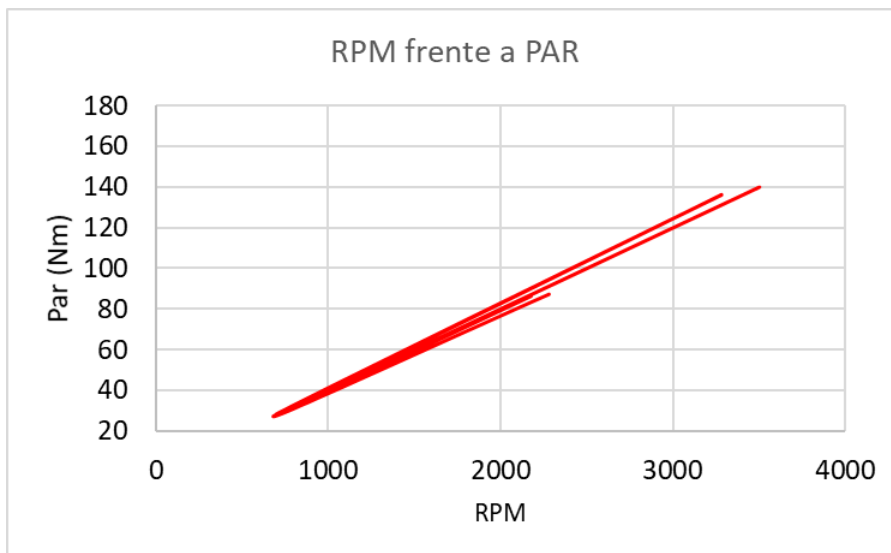
Anexo 7. Mapa de consumo de combustible – Prueba 3.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

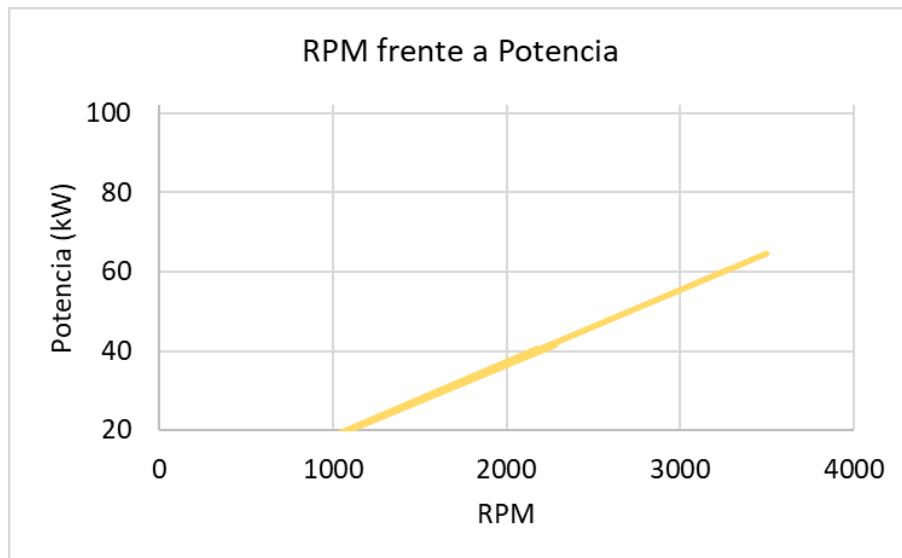
Anexo 8. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 3.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

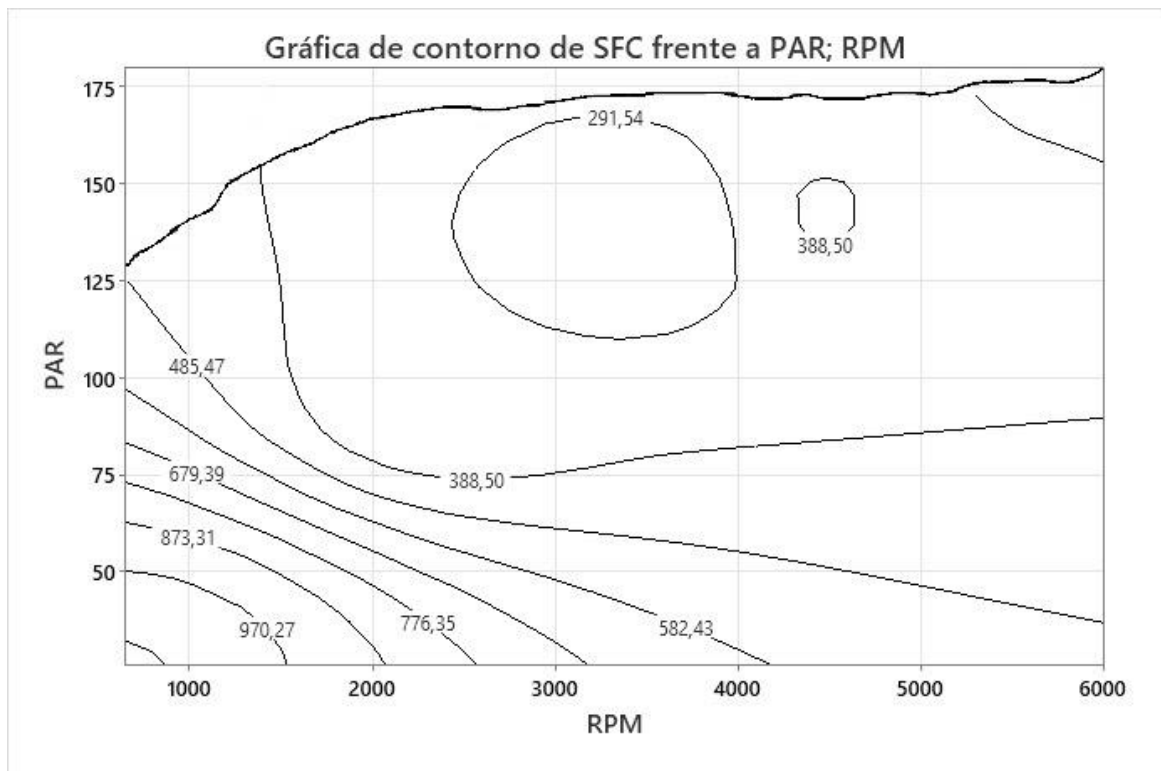
Anexo 9. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 3.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

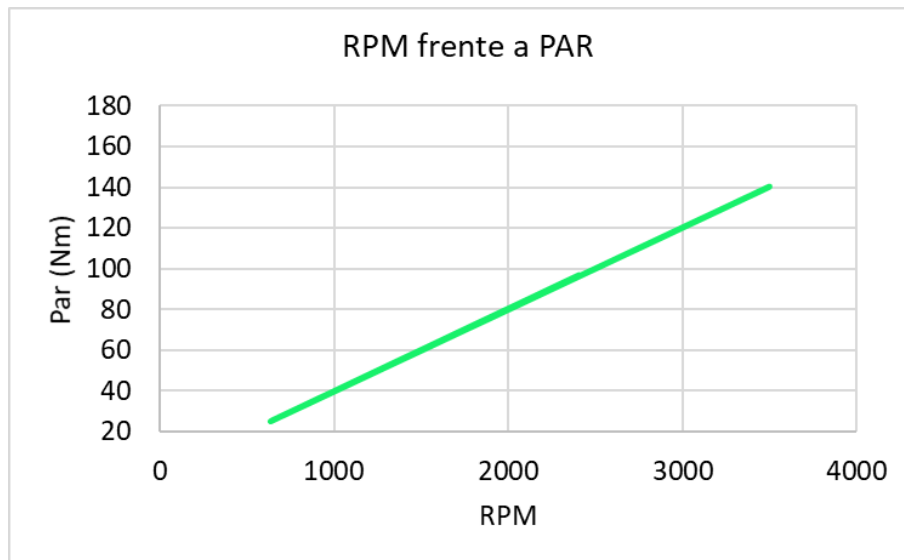
Anexo 10. Mapa de consumo de combustible – Prueba 4.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

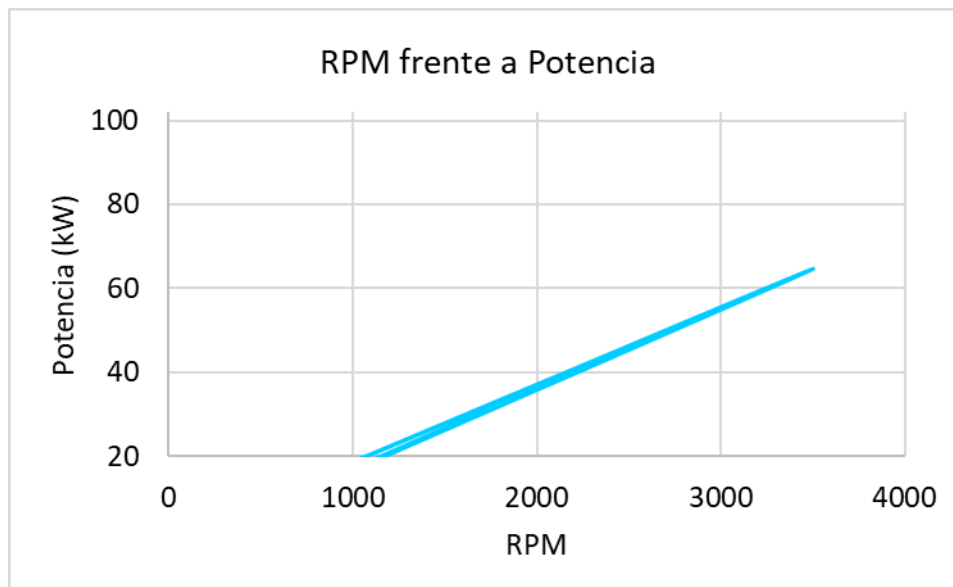
Anexo 11. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 4.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

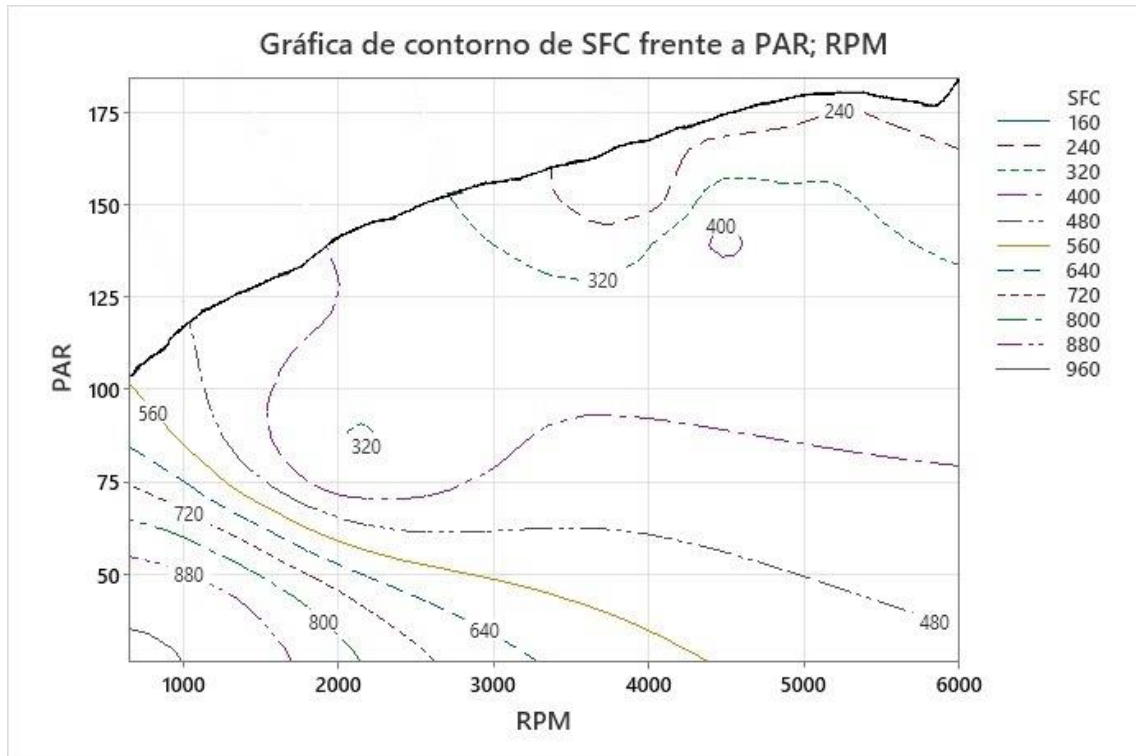
Anexo 12. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 4.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

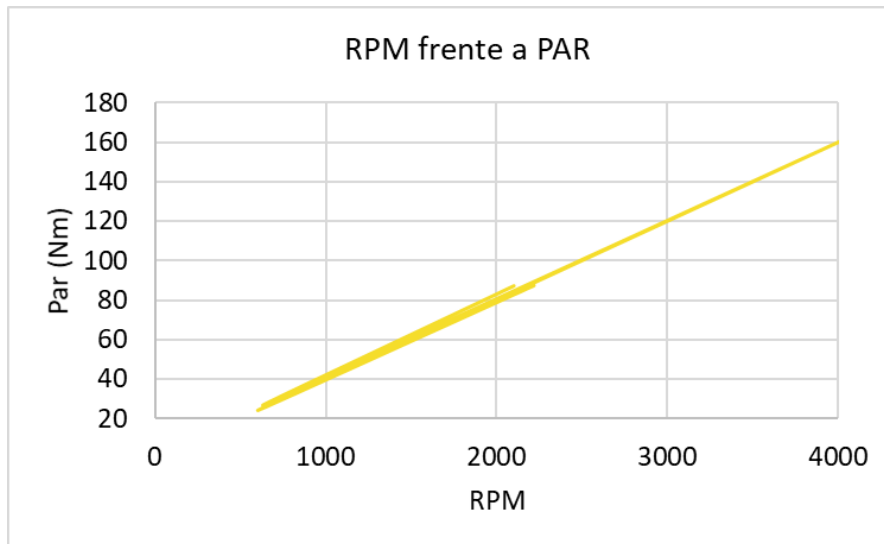
Anexo 13. Mapa de consumo de combustible – Prueba 5.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

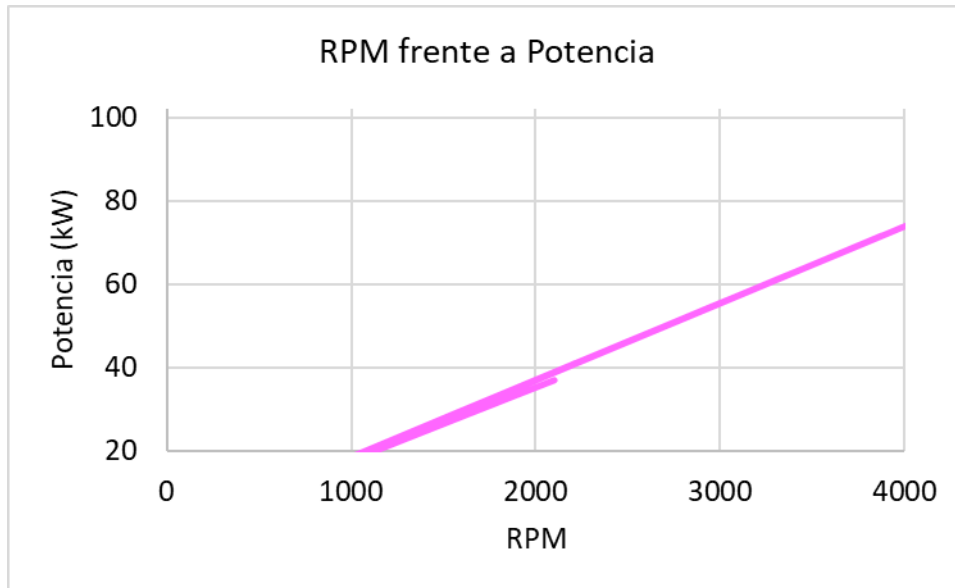
Anexo 14. Gráficas de RPM frente a Par - Prueba 5.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

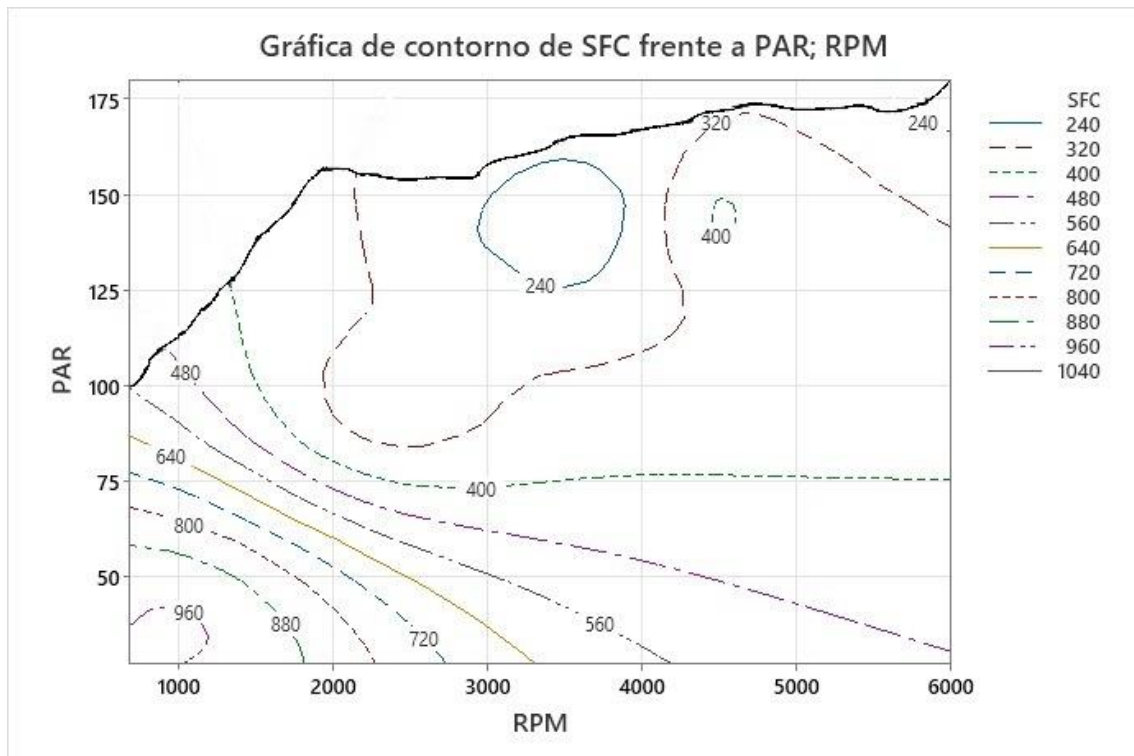
Anexo 15. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 5.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

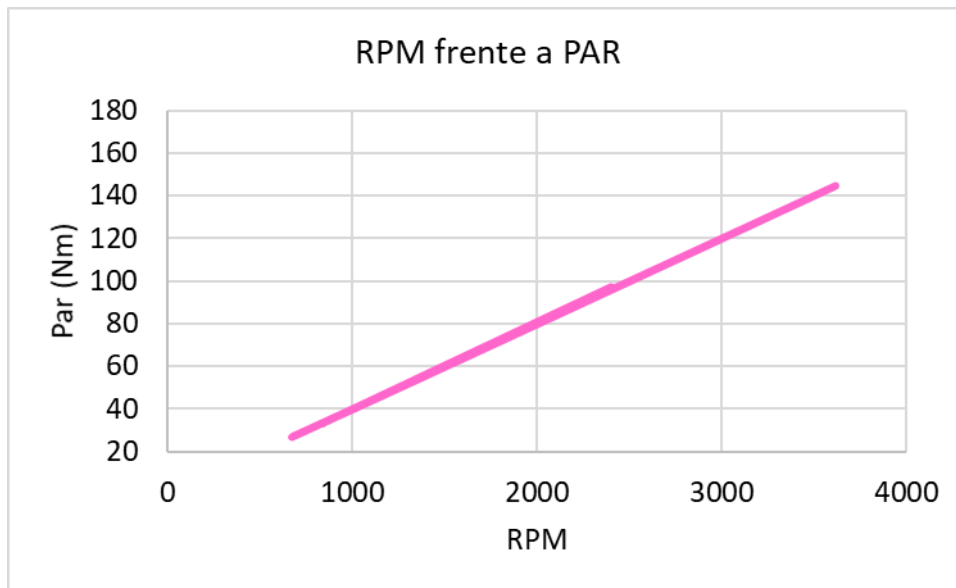
Anexo 16. Mapa de consumo de combustible – Prueba 6.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

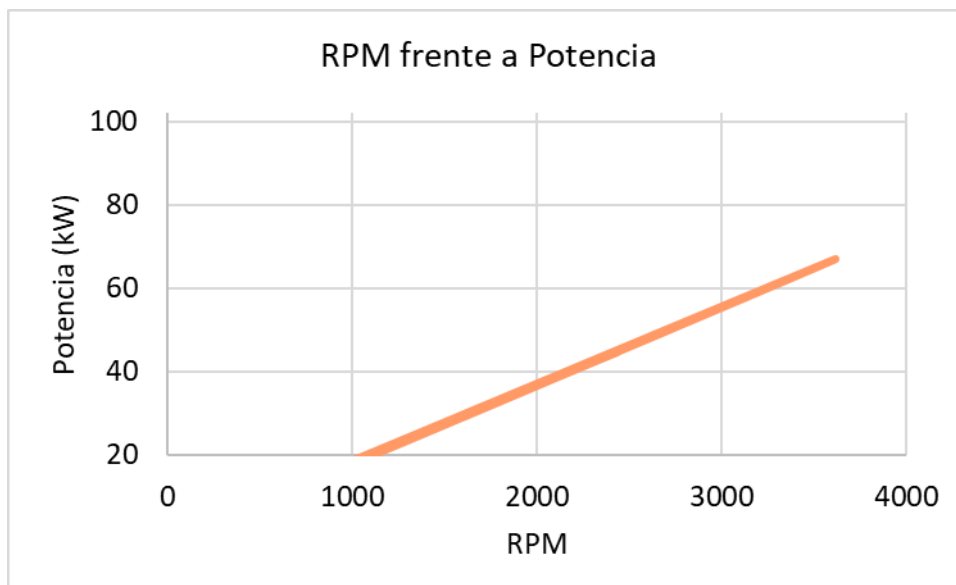
Anexo 17. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 6.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

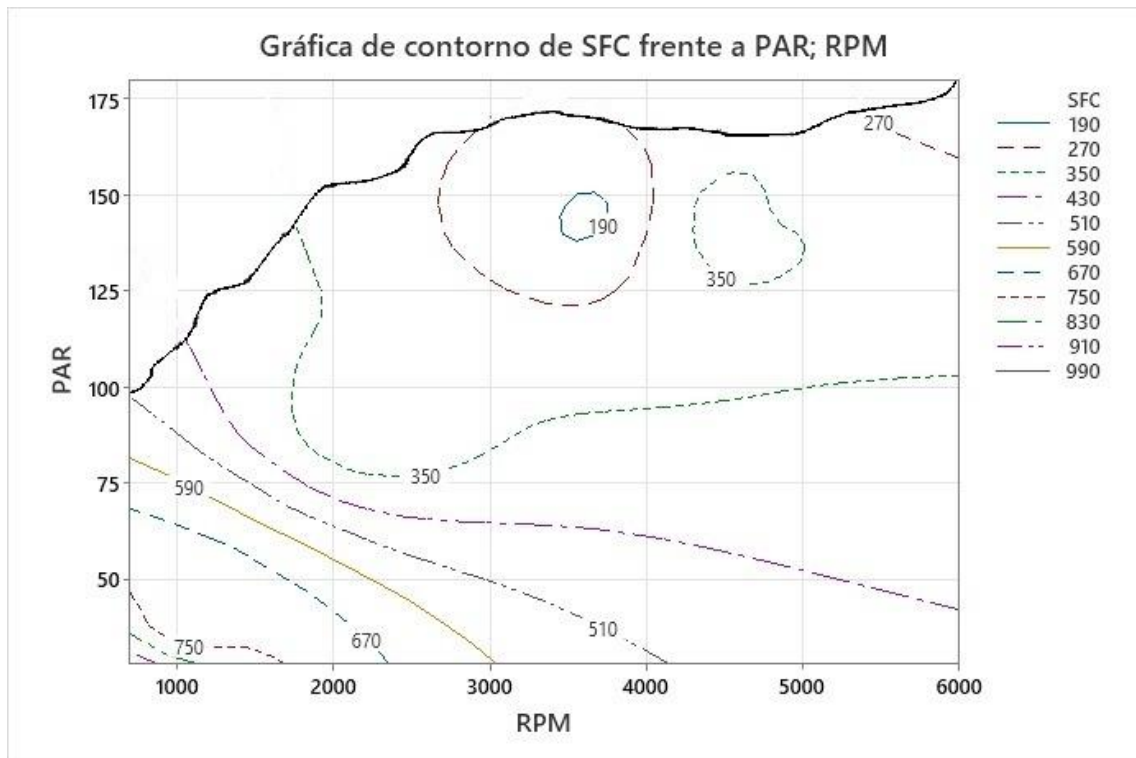
Anexo 18. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 6.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

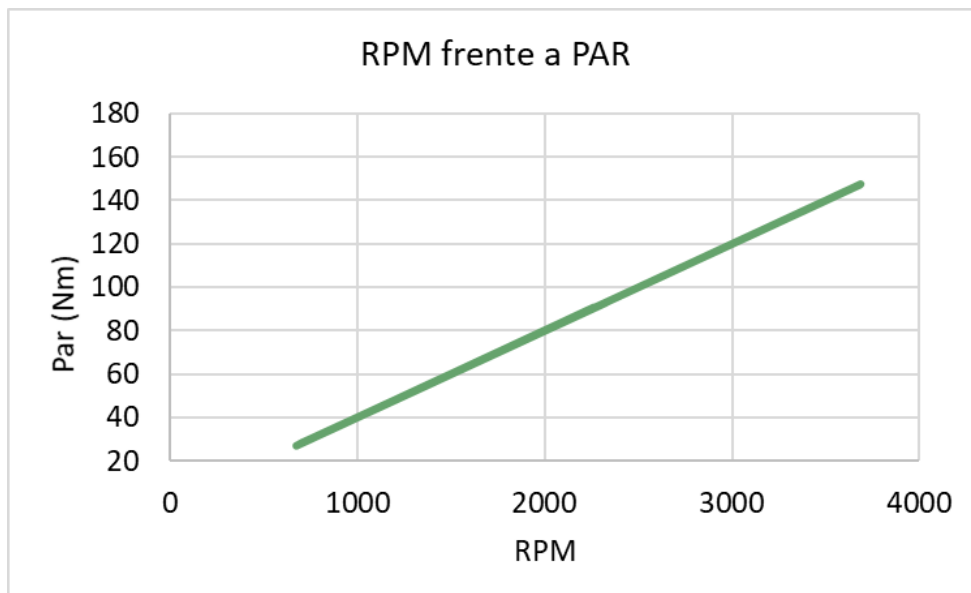
Anexo 19. Mapa de consumo de combustible – Prueba 7.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

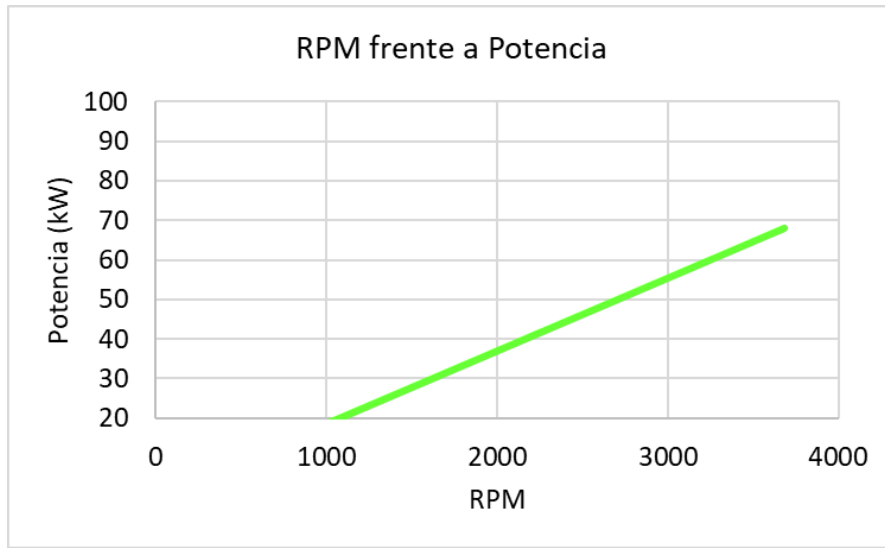
Anexo 20. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 7.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

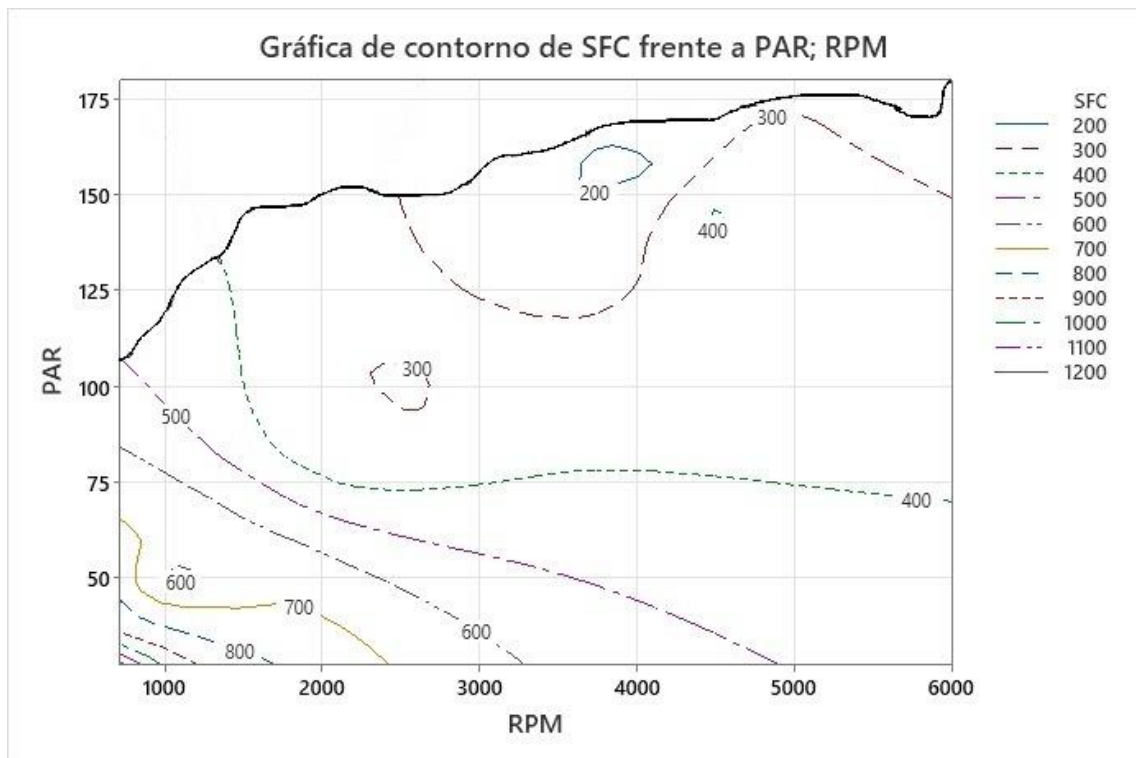
Anexo 21. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 7.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

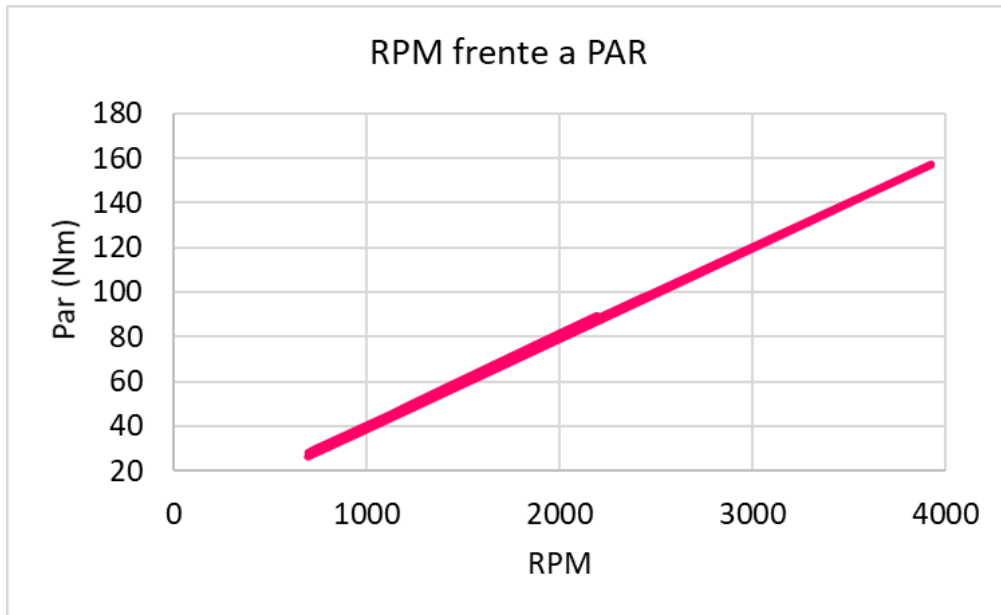
Anexo 22. Mapa de consumo de combustible – Prueba 8.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

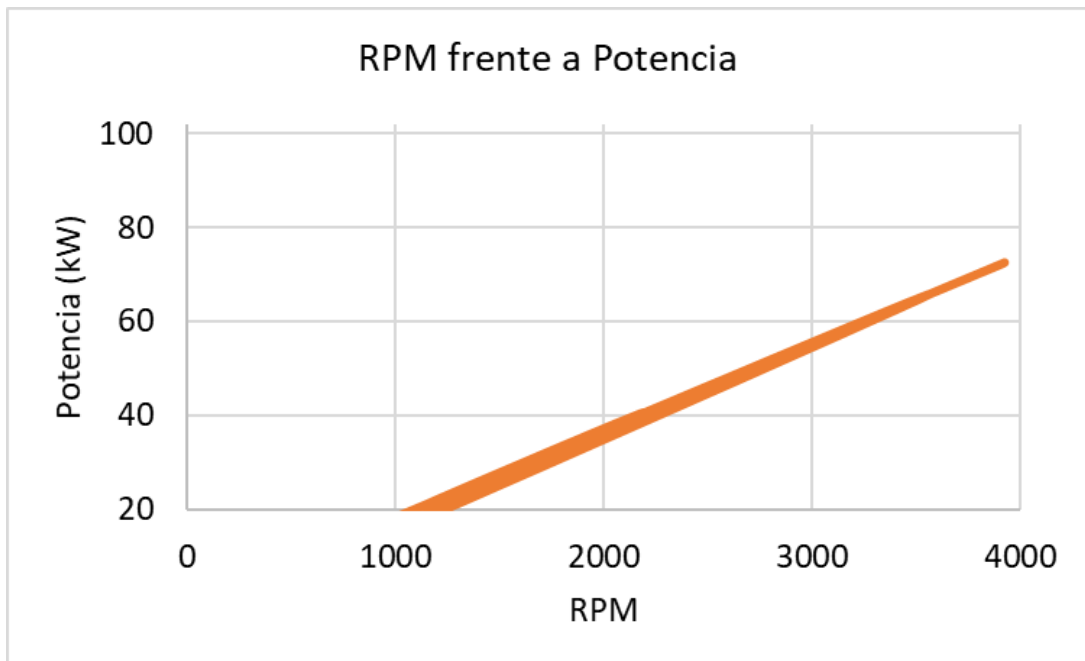
Anexo 23. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 8.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

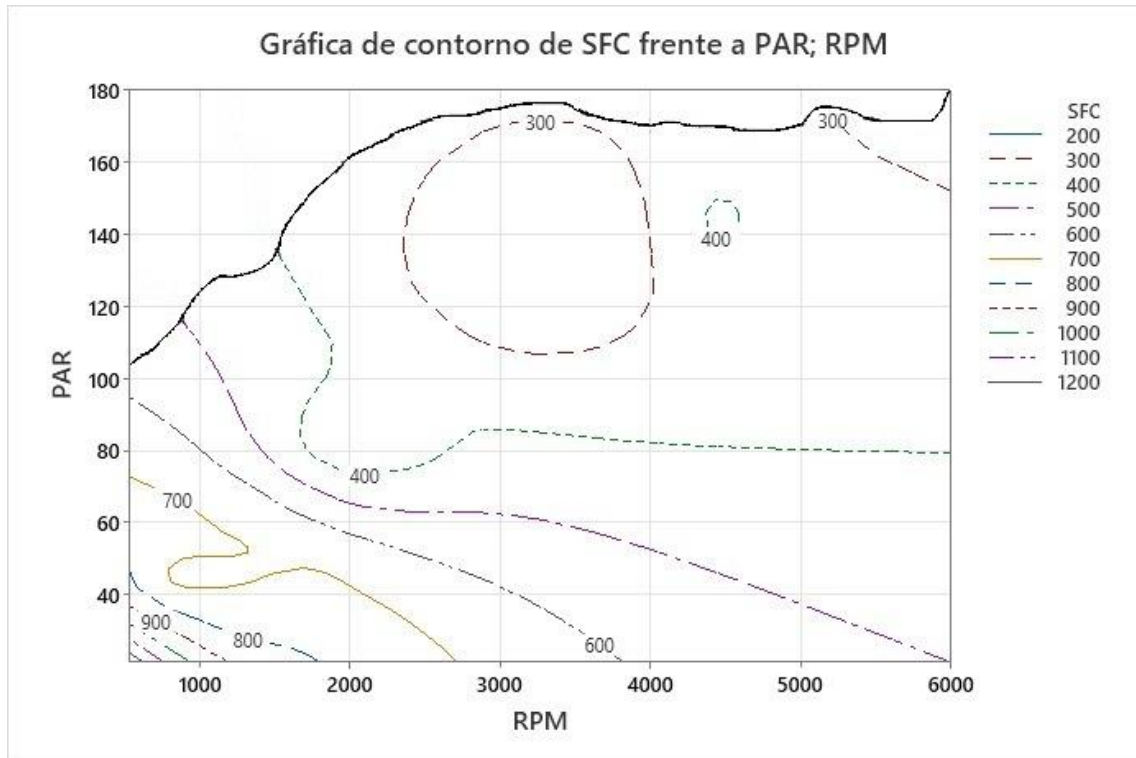
Anexo 24. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 8.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

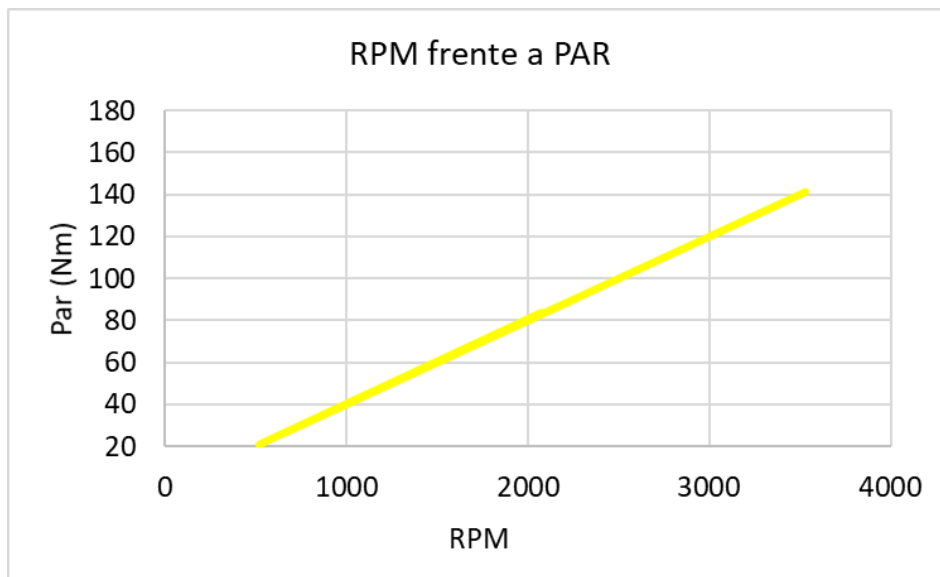
Anexo 25. Mapa de consumo de combustible – Prueba 9.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

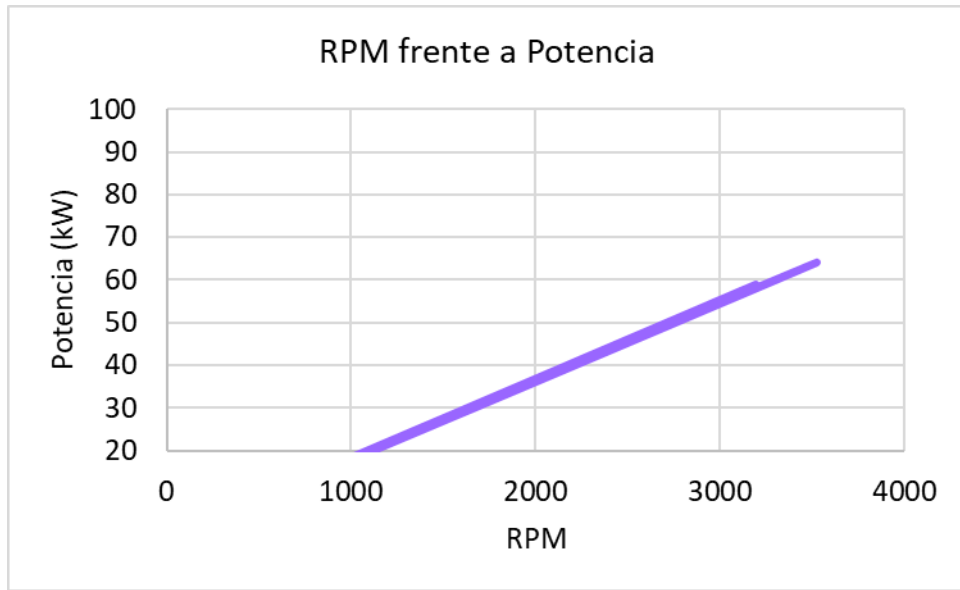
Anexo 26. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 9.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

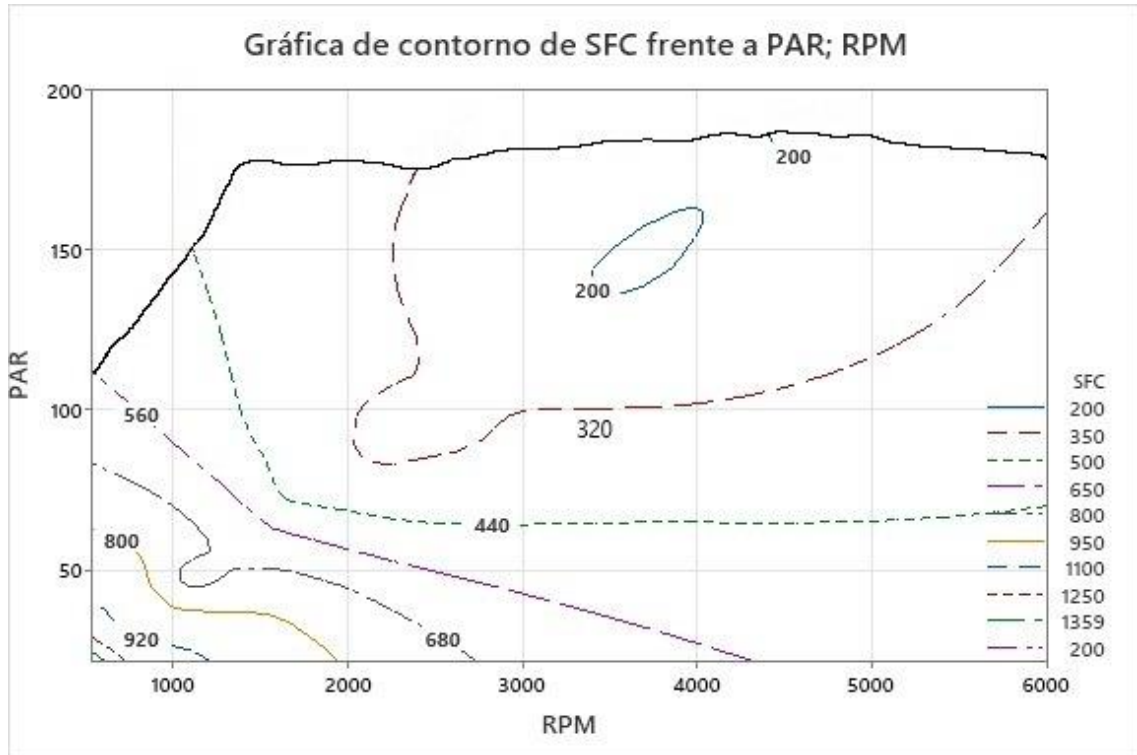
Anexo 27. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 9.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

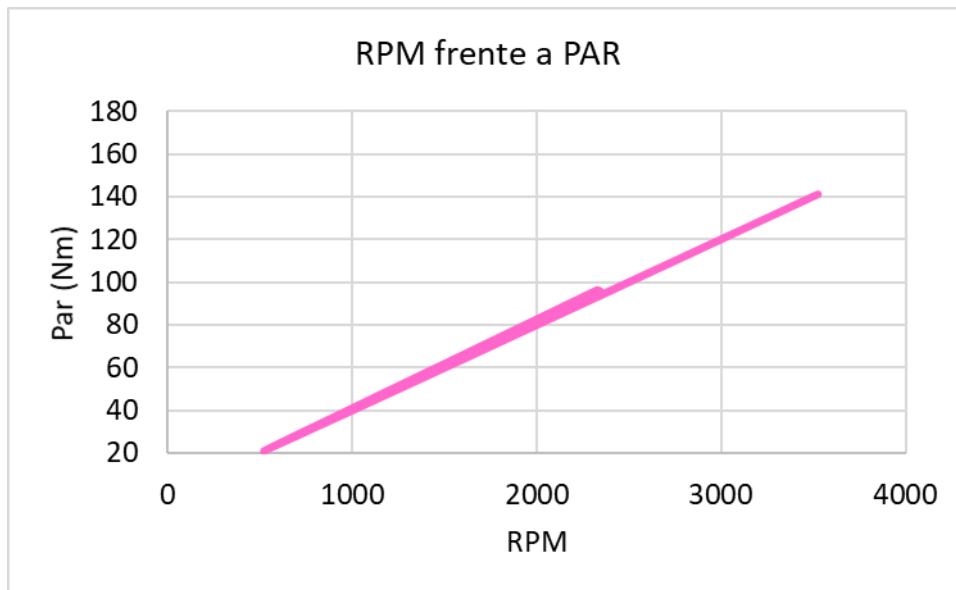
Anexo 28. Mapa de consumo de combustible – Prueba 10.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

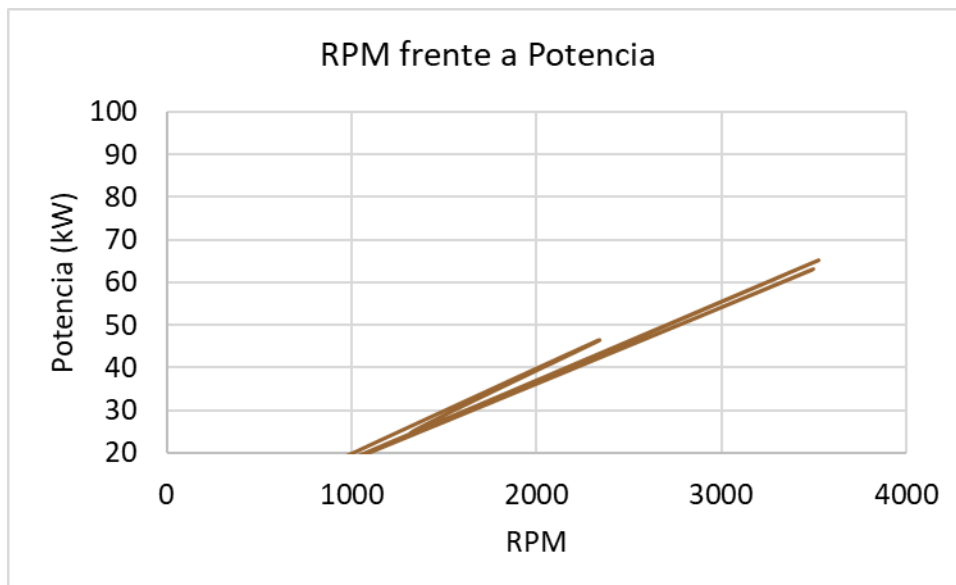
Anexo 29. Gráfica de RPM frente a Par - Prueba 10.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

Anexo 30. Gráfica de RPM frente a Potencia - Prueba 10.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

Anexo 31. Ficha técnica motores Hyundai.

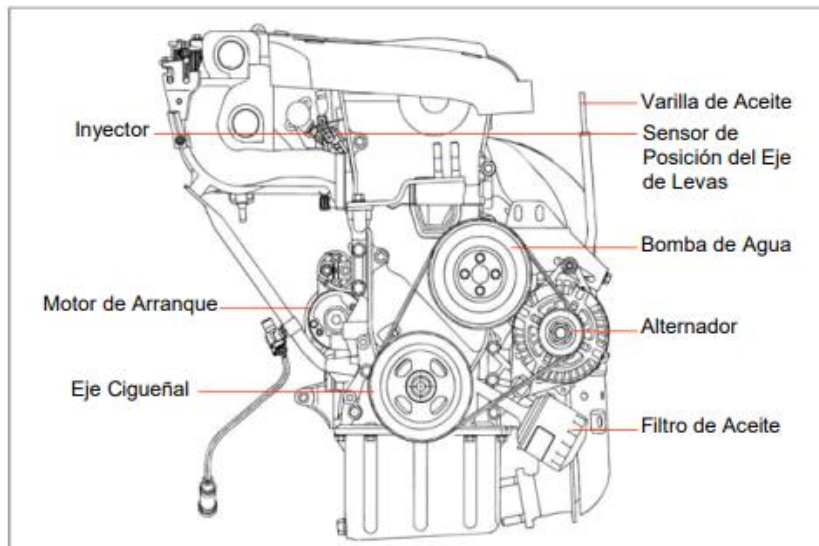
GASOLINE ENGINE

Ε -1.0/1.1		Α -1.4 /1.6D		Υ -1.6D		Β -2.0D																																																																														
60ps/6,000 rpm 8.7kg-m/4,000 rpm 66ps/5,500 rpm 10.1kg-m/3,200 rpm		97ps/6,000 rpm 12.8kg-m/4,700 rpm 112ps/6,000 rpm 14.8kg-m/4,500 rpm		124ps/6,200 rpm 15.8kg-m/4,200 rpm		141ps/6,000 rpm 18.8kg-m/4,500 rpm																																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Description</th> <th colspan="2">EPSILON</th> </tr> <tr> <th></th> <th>1.0E</th> <th>1.1E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Length</td> <td>416</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>Engine Size (mm)</td> <td>Width: 493</td> <td>509</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Height: 669</td> <td>673</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Weight (kg)</td> <td>Dry</td> <td>819</td> </tr> <tr> <td>Wet</td> <td>879</td> </tr> </tbody> </table>		Description	EPSILON			1.0E	1.1E	Length	416	—	Engine Size (mm)	Width: 493	509		Height: 669	673	Weight (kg)	Dry	819	Wet	879	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Description</th> <th>1.4D</th> <th>1.6D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Length</td> <td>476</td> <td>463.5</td> </tr> <tr> <td>Engine Size (mm)</td> <td>Width: 603</td> <td>572.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Height: 660</td> <td>654.5</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Weight (kg)</td> <td>Dry</td> <td>112</td> </tr> <tr> <td>Wet</td> <td>121.5</td> </tr> </tbody> </table>		Description	1.4D	1.6D	Length	476	463.5	Engine Size (mm)	Width: 603	572.5		Height: 660	654.5	Weight (kg)	Dry	112	Wet	121.5	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Description</th> <th colspan="2">GAMMA</th> </tr> <tr> <th></th> <th colspan="2">1.6D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Length</td> <td colspan="2">480</td> </tr> <tr> <td>Engine Size (mm)</td> <td>Width: 532</td> <td>532</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Height: 631</td> <td>631</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Weight (kg)</td> <td>Dry</td> <td>99.8</td> </tr> <tr> <td>Wet</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table>		Description	GAMMA			1.6D		Length	480		Engine Size (mm)	Width: 532	532		Height: 631	631	Weight (kg)	Dry	99.8	Wet	—	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Description</th> <th colspan="2">BETA</th> </tr> <tr> <th></th> <th colspan="2">2.0D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Length</td> <td colspan="2">496.4</td> </tr> <tr> <td>Engine Size (mm)</td> <td>Width: 624.8</td> <td>624.8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Height: 672</td> <td>672</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Weight (kg)</td> <td>Dry</td> <td>144</td> </tr> <tr> <td>Wet</td> <td>150.1</td> </tr> </tbody> </table>		Description	BETA			2.0D		Length	496.4		Engine Size (mm)	Width: 624.8	624.8		Height: 672	672	Weight (kg)	Dry	144	Wet	150.1
Description	EPSILON																																																																																			
	1.0E	1.1E																																																																																		
Length	416	—																																																																																		
Engine Size (mm)	Width: 493	509																																																																																		
	Height: 669	673																																																																																		
Weight (kg)	Dry	819																																																																																		
	Wet	879																																																																																		
Description	1.4D	1.6D																																																																																		
Length	476	463.5																																																																																		
Engine Size (mm)	Width: 603	572.5																																																																																		
	Height: 660	654.5																																																																																		
Weight (kg)	Dry	112																																																																																		
	Wet	121.5																																																																																		
Description	GAMMA																																																																																			
	1.6D																																																																																			
Length	480																																																																																			
Engine Size (mm)	Width: 532	532																																																																																		
	Height: 631	631																																																																																		
Weight (kg)	Dry	99.8																																																																																		
	Wet	—																																																																																		
Description	BETA																																																																																			
	2.0D																																																																																			
Length	496.4																																																																																			
Engine Size (mm)	Width: 624.8	624.8																																																																																		
	Height: 672	672																																																																																		
Weight (kg)	Dry	144																																																																																		
	Wet	150.1																																																																																		

Fuente: Hyundai Engine.

Elaborado: Hyundai, [8]

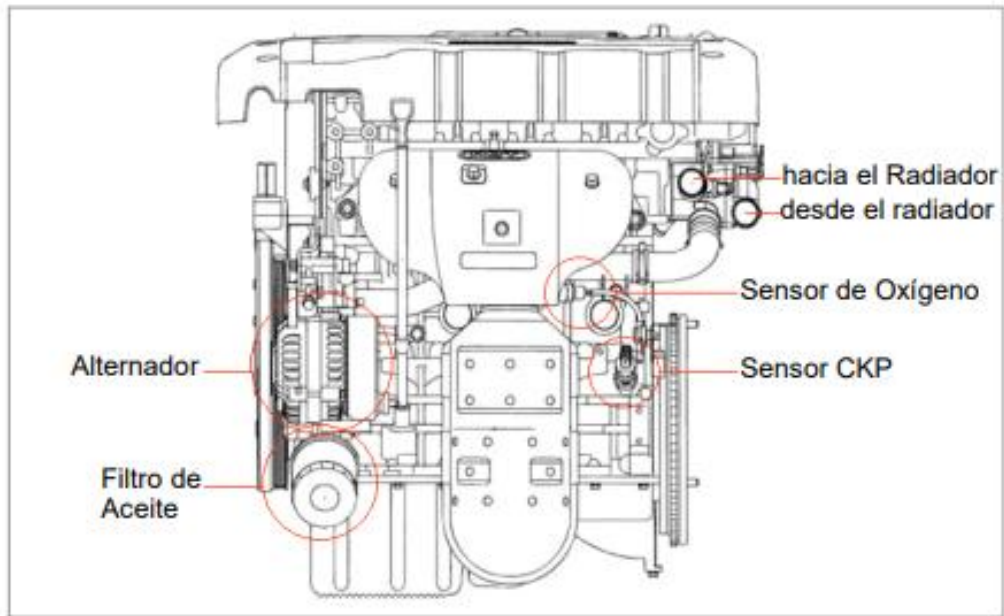
Anexo 32. Vista frontal.



Fuente: Hyundai Engine.

Elaborado: Hyundai, [8]

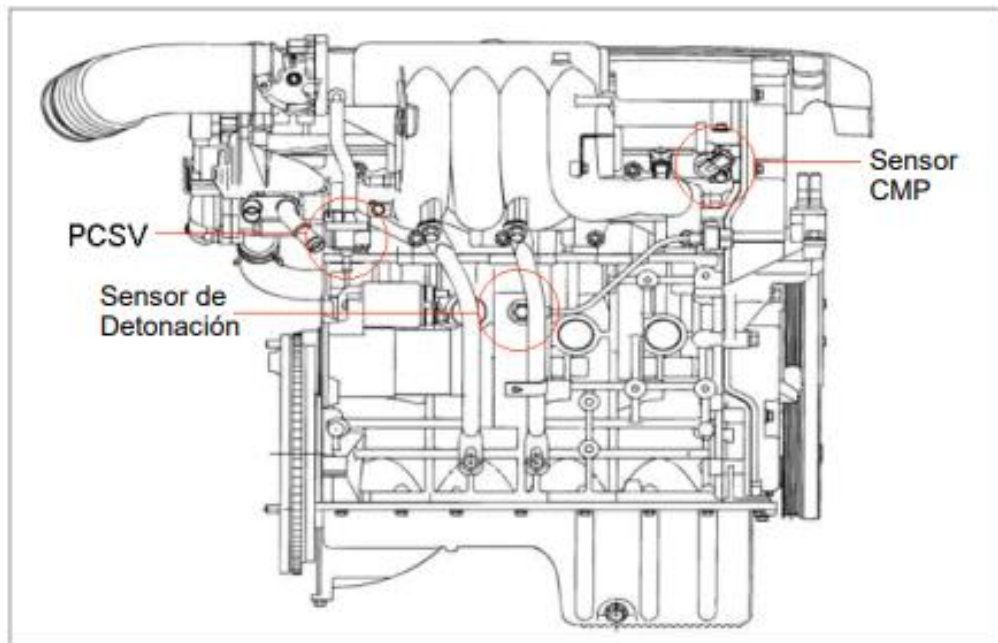
Anexo 33. Vista izquierda.



Fuente: Hyundai Engine.

Elaborado: Hyundai, [8]

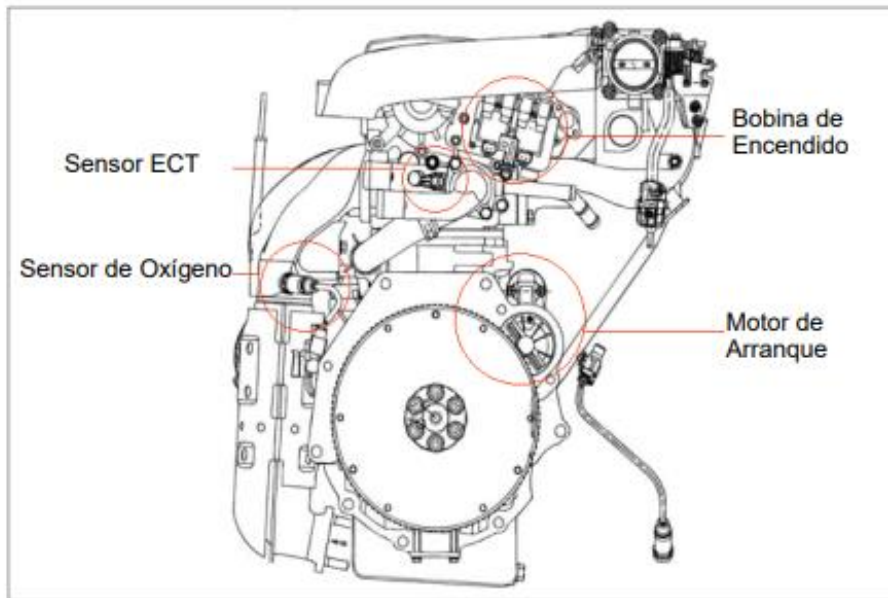
Anexo 34. Vista derecha.



Fuente: Hyundai Engine.

Elaborado: Hyundai, [8]

Anexo 35. Vista posterior.



Fuente: Hyundai Engine.

Elaborado: Hyundai, [8]

Anexo 36. Conexión vehículo – OBDII.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

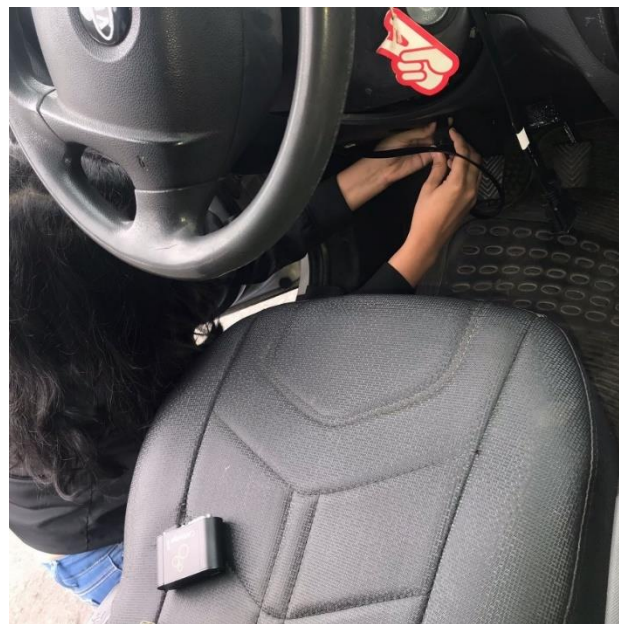
Anexo 37. Conexión OBDII.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.

Anexo 38. Conexión OBDII.



Fuente: Pruebas de ruta.

Elaborado: Autora.