



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

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

Título del Proyecto de Investigación:

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA OROGRAFÍA DE RUTAS
EXTRAURBANAS EXPERIMENTALES CON ALTO ÍNDICE DE PENDIENTE
SOBRE EL CONSUMO DE ENERGÍA DE UN VEHÍCULO LIVIANO”**

Autor:

Maldonado Ruiz Kevin Leonel

Director de Proyecto de Investigación:

Ing. Edison Marcelo Mancheno Padilla, MSc.

QUEVEDO - LOS RÍOS – ECUADOR

2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Kevin Leonel Maldonado Ruiz**, 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.

f. _____

Kevin Leonel Maldonado Ruiz

C.C. 2300351505

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



El suscrito, **Ing. EDISON MARCELO MANCHENO PADILLA**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante **KEVIN LEONEL MALDONADO RUIZ** con número de cédula 2300351505, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**Análisis de la influencia de la orografía de rutas extraurbanas experimentales con alto índice de pendiente sobre el consumo de energía de un vehículo liviano**”, previo a la obtención del título de **Ingeniero Mecánico**, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.



Firmado electrónicamente por:
**EDISON
MARCELO
MANCHENO
PADILLA**

f. _____

Ing. Edison Marcelo Mancheno Padilla. MSc.

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 el Sr. **KEVIN LEONEL MALDONADO RUIZ**, estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica, una vez que se revisó el proyecto de investigación titulado “**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA OROGRAFÍA DE RUTAS EXTRAURBANAS EXPERIMENTALES CON ALTO ÍNDICE DE PENDIENTE SOBRE EL CONSUMO DE ENERGÍA DE UN VEHÍCULO LIVIANO**”; tengo a bien certificar que se realizó la revisión respectiva por medio del sistema Urkund, con un porcentaje favorable del 6%.

Se adjunta imagen del sistema **Urkund**.



Document Information

Analyzed document	Desarrollo de tesis - KLMR - Con formato UTEQ.docx (D137470332)
Submitted	2022-05-21T18:41:00.0000000
Submitted by	
Submitter email	kevin.maldonado2016@uteq.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	emanchenop.uteq@analysis.urkund.com



Firmado electrónicamente por:
**EDISON MARCELO
MANCHENO PADILLA**

Ing. Edison M. Mancheno Padilla MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



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

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Análisis de la influencia de la orografía de rutas extraurbanas experimentales con alto índice de pendiente sobre el consumo de energía de un vehículo liviano”

Presentado al Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Aprobado por:



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

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Ernesto Ruano Herrería. MSc



Firmado electrónicamente por:
**GABRIEL
ALEJANDRO
ARELLANO ORTIZ**

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Gabriel Arellano Ortiz. MSc



Firmado electrónicamente por:
**EDWIN RAUL
GRIJALVA
CAMPANA**

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

PhD. Edwin Grijalva Campana

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2022

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme permitido gozar de buena salud y bienestar para poder desarrollar a plenitud cada una de mis actividades universitarias; en especial el presente proyecto de titulación. Asimismo, agradezco a mis padres, mi hermano y demás familiares quienes fueron una fuente de confianza, apoyo, respaldo y motivación durante este tiempo de estudio del tercer nivel. También extiendo mi agradecimiento a las amistades por su compañerismo y al personal docente por estar dispuestos a impartir conocimiento con el fin de formar profesionales de buen nivel, carácter y compromiso.

Kevin Leonel Maldonado Ruiz.

DEDICATORIA

Mi proyecto de investigación se lo dedico a mis padres Dencer Maldonado Campoverde y Nelly Ruiz Rogel quienes siempre depositaron su confianza en mí y me impulsaron a cumplir varias metas.

A Ariel Maldonado Ruiz, por ser un buen hermano, permaneciendo junto a mí en los buenos y malos tiempos.

A mis familiares que desde la lejanía supieron manifestarme su apoyo, consejo y buena vibra para que pueda superar los retos que me presentaba esta etapa universitaria.

A mis compañeros de clase, con quienes compartí momentos geniales ya que fueron personas de confianza, respeto y apoyo.

Kevin Leonel Maldonado Ruiz.

RESUMEN

El presente proyecto investigativo tiene como finalidad analizar la influencia de la orografía de rutas extraurbanas experimentales sobre el consumo de energía de un vehículo liviano, el proceso indagatorio centra especial atención en las resistencias aerodinámicas que presenta el sistema dinámico de un automóvil de prueba, que en este caso es un vehículo de marca Chery modelo Arrizo 3 equipado con un motor Acteco SOHC 1,5 litros de 107 HP y 140 Nm.

En el trabajo de experimentación se realizaron cuatro pruebas de conducción en la ruta extraurbana Ventanas – Guanajuato que se haya entre las regiones de costa y sierra, respectivamente. Durante el desarrollo de los ensayos de ruta, se emplearon dispositivos tecnológicos de medición los cuales fueron el CAN Edge 1 OBD: 2x registrador de datos de bus CAN (SD + RTC) y el Skywatch GEOS 11 (estación meteorológica portátil) para la obtención de datos sujetos a posteriores procesos de cálculo.

El análisis empieza a partir de los parámetros registrados por los aparatos de medición, los cuales posteriormente fueron almacenados y procesados en una hoja de cálculo. Luego de la inclusión de las ecuaciones de la dinámica de un vehículo, se obtuvieron los gráficos descriptivos que permitieron evidenciar la influencia de la orografía y demás factores relacionados con la resistencia aerodinámica, tanto en el consumo de energía como de combustible entre los ciclos de conducción reales generados durante las pruebas de ida y regreso en la ruta extraurbana Ventanas – Guanajuato.

Palabras clave: Aerodinámica, Consumo de energía, Consumo de combustible.

ABSTRACT

The purpose of this research project is to analyze the influence of the orography of experimental country routes on the energy consumption of a light vehicle, the investigative process focuses special attention on the aerodynamic resistance presented by the dynamic system of a test car, which in This case is a Chery model Arrizo 3 car equipped with an Acteco SOHC 1,5 liters engine with 107 HP and 140 Nm.

In the experimental work, four driving tests were done on the extra-urban route Ventanas - Guanujo, which, as such, said localities were located in the Coastal and Sierra Regions, respectively. During the development of the route tests, technological measurement devices were used, which were the CAN Edge 1 OBD: 2x CAN bus data logger (SD + RTC) and the Skywatch GEOS 11 (portable weather station) to obtain data subject to subsequent calculation processes.

The analysis starts from the parameters recorded by the measuring devices, which were later stored and processed in a spreadsheet. After the inclusion of the equations of the dynamics of a vehicle, the descriptive graphs were obtained that made it possible to demonstrate the influence of the orography and other factors related to aerodynamic resistance, both in energy and fuel consumption between driving cycles. generated during the round trip tests on the extra-urban route Ventanas – Guanujo.

Keywords: Aerodynamics, Energy consumption, Fuel consumption.

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.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
CÓDIGO DUBLÍN	xx
NOMENCLATURA.....	xxi
GLOSARIO DE TÉRMINOS	xxii
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.....	4
1.1.3. Sistematización del problema.....	4
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo General.....	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	5
1.3. Justificación.....	6
CAPÍTULO II.....	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.1. Marco conceptual.....	8
2.1.1. Orografía.....	8
2.1.2. Gradiente.....	8
2.1.3. Vía extraurbana.....	9
2.1.4. Ciclos de conducción.....	9

2.1.5.	Velocidad.....	17
2.1.6.	Aceleración.....	18
2.1.7.	Propiedades termodinámicas del aire.	19
2.1.8.	Aerodinámica.....	20
2.1.9.	Combustibles.....	34
2.1.10.	Dispositivos electrónicos de medición.	36
2.1.11.	Vehículo de prueba.....	38
CAPÍTULO III		44
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		44
3.1.	Localización.....	45
3.2.	Tipos de investigación.	45
3.2.1.	Investigación descriptiva	45
3.2.2.	Investigación bibliográfica.....	45
3.2.3.	Investigación de campo.....	45
3.3.	Métodos de la investigación.....	46
3.3.1.	Método Analítico.....	46
3.3.2.	Método Inductivo.....	46
3.3.3.	Método Experimental.....	46
3.4.	Fuentes de recopilación de la información.....	46
3.5.	Diseño de la investigación.....	46
3.5.1.	Diseño experimental.....	46
3.6.	Instrumentos de investigación.....	47
3.7.	Tratamiento de los datos.....	47
3.8.	Recursos humanos y materiales.....	48
3.8.1.	Recursos humanos.....	48
3.8.2.	Recursos materiales.....	48
CAPÍTULO IV		49
RESULTADOS Y DISCUSIONES		49
4.1.	Resultados.....	50
4.1.1.	Tratamiento de los datos experimentales.....	50
4.1.2.	Perfil de velocidad.....	54
4.1.3.	Influencia de la orografía de rutas extraurbanas experimentales con alto índice de pendiente sobre la resistencia gravitatoria.....	57
4.1.4.	Sistema de propulsión.....	67
4.1.5.	Determinación del consumo de energía y combustible en el vehículo liviano.....	71

4.2. Discusión.....	78
4.2.1. Perfil de velocidad.....	78
4.2.2. Aerodinámica.....	78
4.2.3. Análisis del consumo de energía y combustible, en comparación con otros estudios.....	79
CAPÍTULO V	81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
5.1. Conclusiones.....	82
5.2. Recomendaciones.....	83
CAPÍTULO VI.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	84
6.1. Bibliografía.....	85
CAPÍTULO VII.....	88
ANEXOS.....	88
7.1. Instrumentos de medición.....	89
7.2. Vehículo de prueba.....	91
7.3. Colocación de los instrumentos de medición en el vehículo de prueba.....	91
7.4. Transferencia de datos para el análisis respectivo.....	93
7.5. Gráficas descriptivas de las pruebas de ruta realizadas.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros del Ciclo FTP-75	10
Tabla 2. Parámetros del Ciclo de prueba económica de combustible.	11
Tabla 3. Parámetros del Ciclo NEDC.....	12
Tabla 4. Parámetros del ciclo de conducción urbano Artemis.	13
Tabla 5. Parámetros del ciclo de conducción extraurbano Artemis.	13
Tabla 6. Parámetros del ciclo de conducción en autopista Artemis 130.	14
Tabla 7. Parámetros del ciclo de conducción en autopista Artemis 150.	14
Tabla 8. Parámetros del ciclo de clase 3.....	15
Tabla 9. Parámetros del ciclo de clase 2.....	16
Tabla 10. Parámetros del ciclo de clase 1.....	17
Tabla 11. Propiedades termodinámicas del aire.	19
Tabla 12. Valores para el coeficiente de rodadura.	30
Tabla 13. Poder calorífico superior e inferior de los tipos de gasolina.	34
Tabla 14. Características del Motor Acteco SOHC.....	39
Tabla 15. Características de la transmisión en el vehículo Chery Arrizo 3.....	40
Tabla 16. Características de la rueda motriz para este tipo de vehículo.....	42
Tabla 17. Parámetros del vehículo de prueba.	43
Tabla 18. Variables evaluadas por los dispositivos Skywatch y Can Edge 1.	50
Tabla 19. Tiempo empleado en el desarrollo de las pruebas de ruta Ventanas – Guanajuato.	53
Tabla 20. Parámetros de estudio en el automóvil de prueba.	53
Tabla 21. Características del ciclo de conducción del proyecto de titulación.....	56
Tabla 22. Consumo de energía y combustible en cada una de las pruebas de conducción realizadas.	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gradiente de una carretera.	8
Figura 2. Variación de una pendiente (%).	9
Figura 3. Vía extraurbana en la Región Sierra – Ecuador.	9
Figura 4. Ciclo de conducción FTP-75.	10
Figura 5. Ciclo de prueba económica de combustible.	11
Figura 6. Nuevo ciclo de conducción europeo.	12
Figura 7. Ciclo de conducción Artemis – Urbano.	12
Figura 8. Ciclo de conducción Artemis – extraurbano.	13
Figura 9. Ciclo de conducción Artemis – autopista.	14
Figura 10. Ciclo de clase 3 - WLTP.	15
Figura 11. Ciclo de clase 2 - WLTP.	16
Figura 12. Ciclo de clase 1 - WLTP.	16
Figura 13. Vector velocidad.	17
Figura 14. Variaciones en la aceleración de un cuerpo	18
Figura 15. Flujo de aire a través de la superficie de un vehículo	20
Figura 16. Flujo de aire a través de diferentes vehículos.	21
Figura 17. Valor de C_x en los distintos tipos de vehículos	21
Figura 18. Diagrama de fuerzas de un automóvil en una pendiente (α).	23
Figura 19. Carretera con pendiente económica y circulación de vehículos pesados.	23
Figura 20. Ejemplo de una vía con alto índice de pendiente (%).	24
Figura 21. Porcentajes existentes en carreteras de cualquier orden	24
Figura 22. Resistencia gravitatoria vs Resistencia aerodinámica con pendiente al 10%. ..	25
Figura 23. Resistencia gravitatoria vs Resistencia aerodinámica con pendiente al 20%. ..	25
Figura 24. Resistencia gravitatoria vs Resistencia de rodadura con pendiente al 10%.	26
Figura 25. Resistencia gravitatoria vs Resistencia de rodadura con pendiente al 20%.	26
Figura 26. Resistencia gravitatoria vs Fuerza neta con pendiente al 10%.	27
Figura 27. Resistencia gravitatoria vs Fuerza neta con pendiente al 20%.	27
Figura 28. Variables presentes en el movimiento de un neumático.	29
Figura 29. Morfología de un neumático bajo distintas presiones.	29
Figura 30. Resistencias presentes en el desplazamiento de un vehículo.	31
Figura 31. Conversión de energía química a energía mecánica en un vehículo.	32

Figura 32. Área frontal del vehículo de prueba.....	33
Figura 33. CAN Edge 1 OBD: 2x registrador de datos de bus CAN (SD + RTC)	36
Figura 34. Skywatch GEOS 11	37
Figura 35. Chery Arrizo 3 Versión 1,5 MT Confort	38
Figura 36. Motor 1,5 Litros Acteco SOHC.....	39
Figura 37. Caja de cambios del vehículo Chery Arrizo 3	40
Figura 38. Conjunto diferencial del automóvil Chery Arrizo 3	41
Figura 39. Neumático 185/65 R15	41
Figura 40. Dimensiones generales del vehículo de estudio.....	42
Figura 41. Ruta extraurbana Ventanas – Guanajuo.....	45
Figura 42. Diseño de investigación.	47
Figura 43. Interfaz del programa Asammdfgui_windows.....	51
Figura 44. Interfaz del programa Skywatch Log.....	51
Figura 45. Fichero con datos experimentales.....	52
Figura 46. Perfil de velocidad - Ida hacia Guanajuo.....	54
Figura 47. Perfil de velocidad - Regreso hacia Ventanas.....	54
Figura 48. Perfiles de velocidad y altitud - Ida hacia Guanajuo.	55
Figura 49. Perfiles de velocidad y altitud - Regreso hacia Ventanas.	56
Figura 50. Variación del porcentaje de la pendiente en la ruta de ida hacia Guanajuo.	57
Figura 51. Resistencia gravitatoria - Ida hacia Guanajuo.	58
Figura 52. Resistencia gravitatoria vs Pendiente (%).	59
Figura 53. Resistencia gravitatoria - Regreso hacia Ventanas.	59
Figura 54. Fuerzas actuantes en el sistema dinámico vehicular.....	60
Figura 55. Variación de la presión en la prueba de ida hacia Guanajuo.	61
Figura 56. Variación de la densidad del aire en la prueba de ida hacia Guanajuo.....	61
Figura 57. Variación de la presión en la prueba de regreso hacia Ventanas.....	62
Figura 58. Variación de la densidad del aire en la prueba de regreso hacia Ventanas.....	62
Figura 59. Área frontal del vehículo liviano Cherry Arrizo 3.....	63
Figura 60. Resistencia aerodinámica en la prueba de ida hacia Guanajuo.	63
Figura 61. Resistencia aerodinámica en la prueba de regreso a Ventanas.	64
Figura 62. Resistencia a la rodadura en la ruta Ventanas - Guanajuo.....	65
Figura 63. Ventana de tiempo - resistencias aerodinámicas principales.....	66
Figura 64. Fuerza neta o de inercia en la ruta extraurbana Ventanas - Guanajuo.....	66
Figura 65. Fuerza de tracción en la prueba de ida hacia Guanajuo.....	68

Figura 66. Fuerza de tracción en la prueba de regreso hacia Ventanas.....	68
Figura 67. Potencia de tracción en la prueba de ida hacia Guanajuo.....	70
Figura 68. Potencia de tracción en la prueba de regreso hacia Ventanas.....	70
Figura 69. Consumo de energía en un tramo de la ruta con bajo índice de pendiente (%).	72
Figura 70. Consumo de energía en un tramo de la ruta con alto índice de pendiente (%).	73
Figura 71. Consumo de energía del vehículo vs Altitud - Ida hacia Guanajuo.	73
Figura 72. Consumo de energía del vehículo vs Altitud - Regreso hacia Ventanas.	74
Figura 73. Diagrama de Sankey - Porcentajes de rendimiento que tiene un motor de MCI.	75
Figura 74. Consumo de energía del motor vs Altitud - Ida hacia Guanajuo.....	76
Figura 75. Consumo de energía del motor vs Altitud - Regreso hacia Ventanas.....	76

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Pendiente de una superficie	8
Ecuación 2. Velocidad	17
Ecuación 3. Aceleración	18
Ecuación 4. Densidad del aire	19
Ecuación 5. Resistencia aerodinámica.....	20
Ecuación 6. Resistencia gravitatoria.....	22
Ecuación 7. Resistencia a la rodadura	28
Ecuación 8. Fuerza neta.....	30
Ecuación 9. Fuerza de tracción.....	31
Ecuación 10. Potencia de tracción.....	32
Ecuación 11. Energía requerida por el vehículo.....	32
Ecuación 12. Área frontal	33

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Skywatch Geos 11 (estación meteorológica portátil).	89
Anexo 2. Especificaciones técnicas del Skywatch Geos 11 (estación meteorológica portátil).	89
Anexo 3. Dispositivo Can Edge 1 OBD: 2x registrador de datos de bus can (sd + rtc).	90
Anexo 4. Especificaciones técnicas del Can Edge 1 OBD: 2x registrador de datos de bus can (sd + rtc).	90
Anexo 5. Vehículo de prueba Chery Arrizo 3.	91
Anexo 6. Conexión del dispositivo Can Edge 1 OBD: 2x registrador de datos de bus can (sd + rtc).	91
Anexo 7. Instalación del soporte imantado para el medidor OBD II.	92
Anexo 8. Fijación del dispositivo Skywatch Geos 11 (estación meteorológica portátil)...	92
Anexo 9. Vinculación y transferencia de datos a una laptop.	93
Anexo 10. Monitoreo de las gráficas obtenidas en la prueba de ruta.....	93
Anexo 11. Resistencia gravitatoria en la prueba 1 ida hacia Guanajuato.	94
Anexo 12. Resistencia aerodinámica en la prueba 1 ida hacia Guanajuato.	94
Anexo 13. Potencia de tracción en la prueba 1 ida hacia Guanajuato.	94
Anexo 14. Resistencia gravitatoria en la prueba 1 regreso hacia Ventanas.	95
Anexo 15. Resistencia aerodinámica en la prueba 1 regreso hacia Ventanas.	95
Anexo 16. Potencia de tracción en la prueba 1 regreso hacia Ventanas.	95
Anexo 17. Resistencia gravitatoria en la prueba 2 ida hacia Guanajuato.	96
Anexo 18. Resistencia aerodinámica en la prueba 2 ida hacia Guanajuato.	96
Anexo 19. Potencia de tracción en la prueba 2 ida hacia Guanajuato.	96
Anexo 20. Resistencia gravitatoria en la prueba 2 regreso hacia Ventanas.	97
Anexo 21. Resistencia aerodinámica en la prueba 2 regreso hacia Ventanas.	97
Anexo 22. Potencia de tracción en la prueba 2 regreso hacia Ventanas.	97
Anexo 23. Resistencia gravitatoria en la prueba 3 ida hacia Guanajuato.	98
Anexo 24. Resistencia aerodinámica en la prueba 3 ida hacia Guanajuato.	98
Anexo 25. Potencia de tracción en la prueba 3 ida hacia Guanajuato.	98
Anexo 26. Resistencia gravitatoria en la prueba 3 regreso hacia Ventanas.	99
Anexo 27. Resistencia aerodinámica en la prueba 3 regreso hacia Ventanas.	99
Anexo 28. Potencia de tracción en la prueba 3 regreso hacia Ventanas.	99

Anexo 29. Resistencia gravitatoria en la prueba 4 ida hacia Guanujo.	100
Anexo 30. Resistencia aerodinámica en la prueba 4 ida hacia Guanujo.	100
Anexo 31. Potencia de tracción en la prueba 4 ida hacia Guanujo.	100
Anexo 32. Resistencia gravitatoria en la prueba 4 regreso hacia Ventanas.	101
Anexo 33. Resistencia aerodinámica en la prueba 4 regreso hacia Ventanas.	101
Anexo 34. Potencia de tracción en la prueba 4 regreso hacia Ventanas.	101

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	Análisis de la influencia de la orografía de rutas extraurbanas experimentales con alto índice de pendiente sobre el consumo de energía de un vehículo liviano.		
Autor:	Maldonado Ruiz Kevin Leonel		
Palabras clave:	Aerodinámica	Consumo de energía	Consumo de combustible
Fecha de publicación:	30-junio-2022		
Editorial:	Quevedo: UTEQ, 2022.		
Resumen:	<p>El presente proyecto investigativo tiene como finalidad analizar la influencia de la orografía de rutas extraurbanas experimentales sobre el consumo de energía de un vehículo liviano, el proceso indagatorio centra especial atención en las resistencias aerodinámicas que presenta el sistema dinámico de un automóvil de prueba, que en este caso es un vehículo de marca Chery modelo Arrizo 3 equipado con un motor Acteco SOHC 1,5 litros de 107 HP y 140 Nm.</p> <p>En el trabajo de experimentación se realizaron cuatro pruebas de conducción en la ruta extraurbana Ventanas – Guanujo que se haya entre las regiones de costa y sierra, respectivamente. Durante el desarrollo de los ensayos de ruta, se emplearon dispositivos tecnológicos de medición los cuales fueron el CAN Edge 1 OBD: 2x registrador de datos de bus CAN (SD + RTC) y el Skywatch GEOS 11 (estación meteorológica portátil) para la obtención de datos sujetos a posteriores procesos de cálculo.</p> <p>El análisis empieza a partir de los parámetros registrados por los aparatos de medición, los cuales posteriormente fueron almacenados y procesados en una hoja de cálculo. Luego de la inclusión de las ecuaciones de la dinámica de un vehículo, se obtuvieron los gráficos descriptivos que permitieron evidenciar la influencia de la orografía y demás factores relacionados con la resistencia aerodinámica, tanto en el consumo de energía como de combustible entre los ciclos de conducción reales generados durante las pruebas de ida y regreso en la ruta extraurbana Ventanas – Guanujo.</p> <p>The purpose of this research project is to analyze the influence of the orography of experimental country routes on the energy consumption of a light vehicle, the investigative process focuses special attention on the aerodynamic resistance presented by the dynamic system of a test car, which in This case is a Chery model Arrizo 3 car equipped with an Acteco SOHC 1,5 liters engine with 107 HP and 140 Nm.</p> <p>In the experimental work, four driving tests were done on the extra-urban route Ventanas - Guanujo, which, as such, said localities were located in the Coastal and Sierra Regions, respectively. During the development of the route tests, technological measurement devices were used, which were the CAN Edge 1 OBD: 2x CAN bus data logger (SD + RTC) and the Skywatch GEOS 11 (portable weather station) to obtain data subject to subsequent calculation processes.</p> <p>The analysis starts from the parameters recorded by the measuring devices, which were later stored and processed in a spreadsheet. After the inclusion of the equations of the dynamics of a vehicle, the descriptive graphs were obtained that made it possible to demonstrate the influence of the orography and other factors related to aerodynamic resistance, both in energy and fuel consumption between driving cycles. generated during the round trip tests on the extra-urban route Ventanas – Guanujo.</p>		
Descripción:	124 hojas: dimensiones, 29 x 21 cm + CD-R		
URI:			

NOMENCLATURA

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
QNH	Presión a nivel de mar deducida de la existente en el aeródromo
OBD	On Board Diagnostics (Diagnósticos a bordo)
GPS	Global Positioning System (Sistema de posicionamiento global)
CAN	Controller Area Network (Controlador de Red de Zona)
PCS	Poder Calorífico Superior
PCI	Poder Calorífico Inferior
MEC	Motor de Encendido por Chispa
SOHC	Single Overhead Camshaft (Árbol de levas simple)
SKYWATCH	Estación meteorológica portátil
WLTP	Ciclo de conducción en vehículos ligeros armonizados a nivel mundial
NEDC	Nuevo Ciclo de Conducción Europeo

GLOSARIO DE TÉRMINOS

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
p	Presión atmosférica	hPa
γ	Factor de mayoración de masa	--
μ	Coeficiente de rodadura	--
h_r	Humedad relativa	%
C_x	Coeficiente aerodinámico	--
A_f	Área frontal	m^2
m_v	Masa en vacío	kg
m_p	Masa de prueba	kg
ρ_a	Densidad del aire	kg/m^3
θ	Pendiente	(°)
F_n	Fuerza Neta	N
F_{xa}	Resistencia aerodinámica	N
R_g	Resistencia gravitatoria	N
R_r	Resistencia a la rodadura	N
F_t	Fuerza de tracción	N
P_t	Potencia de tracción	kW

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mundo se encuentra expuesto a los drásticos cambios climáticos y fenómenos naturales que surgen a partir de la contaminación ambiental producida principalmente por el sector automotriz. En este aspecto el consumo de energía por parte de un vehículo juega un papel significativo en cuanto al aprovechamiento del combustible empleado en su desplazamiento por diferentes rutas.

A diferencia de las condiciones de prueba en un laboratorio, la conducción en tiempo real expone a los vehículos ante un escenario, donde las condiciones de funcionamiento son variables, como la temperatura ambiente, trazado de las carreteras, material de la calzada, congestión vehicular o condiciones de carga útil fuera de los límites de certificación cotidianos.

Lo anterior, describe el contexto de la transportación terrestre que a menudo circula por carreteras de gradiente variable como sucede en algunas rutas entre las regiones Costa, Sierra y Oriente del país.

A nivel país se comercializan tres tipos de gasolinas, de 85 octanos (Extra y Ecopaís) y de 92 octanos (Súper). De acuerdo con lo antes mencionado, se plantea el uso del combustible de gasolina Extra de 85 octanos para realizar las pruebas de conducción en tiempo real, ya que aproximadamente este tipo de gasolina representa el 54% del consumo a nivel nacional por parte del parque automotor.

La información obtenida por medio de las pruebas debe ser tratada con especial atención para conocer la realidad del consumo de energía del automotor bajo ciclos de conducción no estandarizados, los cuales no son tomados en cuenta por los fabricantes automotrices ya que se rigen por ciclos estándar de conducción para la producción de vehículos en serie a nivel mundial. Por ello el presente proyecto está destinado a determinar el consumo de energía y combustible de un automóvil bajo condiciones reales frente a los datos de una conducción estándar por parte del fabricante automotriz, dadas las condiciones orográficas de nuestro país.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

En los tiempos actuales, la contaminación ambiental ha crecido notoriamente debido a las actividades productivas de las grandes empresas y sectores estratégicos en el mundo, haciendo especial énfasis en la industria automotriz cuya fuente de energía proviene de los combustibles fósiles.

Las empresas relacionadas con el sector automotriz se ven en la obligación de cumplir con las leyes, normativas o disposiciones estatales acerca de la regulación de las emisiones de gases contaminantes y del consumo de combustible, lógicamente tales ordenanzas dependen de la nación en donde se comercialicen los vehículos. Para cumplir con ello, la industria automotriz se apoya en el uso de ciclos de conducción estandarizados los cuales se obtienen al someter los automotores a un banco dinamométrico de pruebas establecido.

El problema surge por el hecho de que los fabricantes automotrices suelen realizar sus estudios bajo condiciones ideales de conducción, sin tomar en consideración variables relacionadas con: factores ambientales, físicos, aerodinámicos, entre otros. Los cuales muestran verdaderamente el comportamiento del vehículo junto con las emisiones contaminantes, el consumo de energía y combustible pertinentes.

La orografía a nivel de nuestro país, es muy marcada, con tramos que alcanzan alturas cercanas a los 4000 m.s.n.m. y otros en los cuales se encuentran a nivel del mar, con transiciones de minutos de un nivel a otro, lo cual requiere de mayor energía para vencer las diferentes fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo.

A nivel del país se comercializan tres tipos de combustible, Extra, Extra con Etanol y Súper, los mismos que se ajustan a la norma NTE INEN 935.

Diagnóstico.

¿Cómo influye la orografía de rutas extraurbanas en el consumo de energía de un vehículo?

Es conocido que las pruebas realizadas en los bancos dinamométricos de chasis, no consideran mucho la orografía o el relieve característico de una ruta en específico como es el caso de las vías extraurbanas de alto gradiente, además, no involucran tanto la resistencia gravitatoria como la resistencia aerodinámica en sus estudios.

Por lo tanto, es importante que todo lo anterior sea analizado en base al consumo de energía que presente el automotor.

Pronóstico.

Por medio del presente proyecto de investigación se procura obtener los perfiles de velocidad bajo condiciones reales en las rutas extraurbanas de alto gradiente, en función de la orografía que cruza la carretera.

1.1.2. Formulación del problema.

¿Cómo influye la orografía de rutas experimentales extraurbanas de alto gradiente en Ecuador en el consumo de energía en un vehículo tipo sedán?

1.1.3. Sistematización del problema.

La presente investigación se enfocará en el análisis de los factores que inciden en el consumo de energía de un automóvil y en la forma en que los fabricantes automotrices se ajustan para cumplir con las normativas ambientales en el mundo.

- ¿Cuáles son las normas que deben cumplir las industrias automotrices para la regulación de emisiones de gases en Ecuador?
- ¿Por qué se emplean las pruebas estandarizadas en el consumo de energía de un automóvil?
- ¿Cómo influye la orografía de una determinada ruta extraurbana en el consumo de energía de un vehículo?
- ¿Influye el tipo de combustible empleado en un vehículo, en el consumo de energía?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo General.

Analizar la influencia de la orografía de rutas extraurbanas experimentales con alto índice de pendiente sobre el consumo de energía de un vehículo liviano.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Identificar las especificaciones técnicas correspondientes al vehículo para el estudio de caso.
- Realizar las pruebas de ruta mediante el uso de dispositivos electrónicos los cuales permitirán la obtención de datos tales como velocidad, densidad del aire, temperatura, presión, entre otros.
- Recopilar los datos correspondientes a un perfil de velocidad para la estimación del consumo de energía de un vehículo tipo sedán en la ruta Ventanas – Guanajuato.
- Interpretar los resultados obtenidos luego del tratamiento de la información recabada para la determinación del consumo energético del vehículo bajo condiciones de prueba reales.

1.3. Justificación.

El trabajo de investigación consiste en recopilar los datos que se generen por medio de la experimentación en la ruta extraurbana escogida, en donde lo primordial será determinar la influencia de la orografía en el consumo de energía de un automóvil partiendo del uso de perfiles de velocidad en tiempo real. Esto se llevará a cabo mediante el uso de equipos de medición modernos los cuales cumplen con la función de registrar los factores tales como velocidad, densidad del aire, presión, temperatura, entre otros; que participen directamente con el desarrollo del cálculo correspondiente para estimar el consumo energético del vehículo.

Durante el periodo de la realización del proyecto se adquirirán nuevos conocimientos de vital importancia acerca de la instalación, manejo e interpretación de los datos que se obtengan por parte de los instrumentos tecnológicos vinculados con el automóvil; además, se aprenderá a mantener correctamente las condiciones necesarias para realizar las pruebas de ruta con el fin de evitar errores al momento de realizar los análisis posteriores.

La importancia del proyecto surge cuando se trata de validar la información que el fabricante de automóviles suele omitir por el hecho de regirse a las condiciones estándar para cumplir con las normativas, dejando un panorama de incertidumbre en donde se contemplan las interrogantes tales como, ¿cuáles serían los efectos que tendría la orografía de una ruta extraurbana en el consumo de energía del vehículo? y ¿cuáles son las fuerzas que se oponen al desplazamiento de un vehículo?

Por estos motivos es muy importante el desarrollo del presente trabajo de investigación, en donde el análisis de los datos describe el comportamiento real del automóvil y brindará las respuestas correspondientes a las preguntas planteadas anteriormente.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual.

2.1.1. Orografía.

La orografía forma parte de la rama de la geografía física, en donde, se encarga de brindar el conocimiento acerca de las condiciones y circunstancias del relieve terrestre. Por ende, permite visualizar y comprender el relieve de una zona o región [1].

Es aquel factor geográfico que incide en las condiciones climáticas de las regiones, influyendo en aspectos claves tales como la nubosidad, velocidad del viento, presiones, duración de las precipitaciones, entre otros [2].

2.1.2. Gradiente.

Es el resultado obtenido luego de comparar la dimensión de un par de puntos semejantes y el distanciamiento que existe entre ellos. Como tales pueden existir el gradiente de temperatura, de presión, entre otros [2].

2.1.2.1. Gradiente de una pendiente.

La gradiente se relaciona con el valor de inclinación de un terreno que posee una pendiente, es decir, la equivalencia en grados del tramo de la vía que tiene una inclinación de calzada la cual se obtiene mediante una ecuación específica mostrada a continuación [3]:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\text{Pendiente (\%)}}{100}\right) \quad \text{Ecuación 1.}$$

En la figura 1, se muestra la variación del ángulo de pendiente debido a la diferencia de altura que existe por el avance o desplazamiento del vehículo.

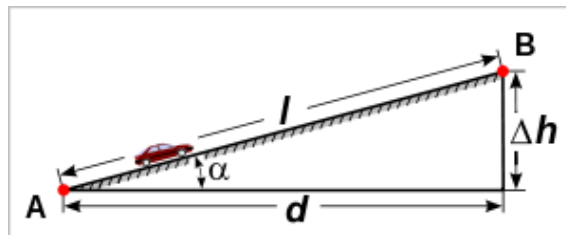


Figura 1. Gradiente de una carretera, [3].

Otro aspecto importante es la pendiente de la carretera que según las señalizaciones de tránsito se suele indicar como un porcentaje que expresa el desnivel que existe en un tramo de vía cuya proyección sobre la horizontal es de 100 m. Este valor corresponde a la tangente trigonométrica del ángulo que forman el plano de la calzada y el plano horizontal [4].

En la siguiente figura se indica la variación en % de la pendiente con respecto al eje horizontal.

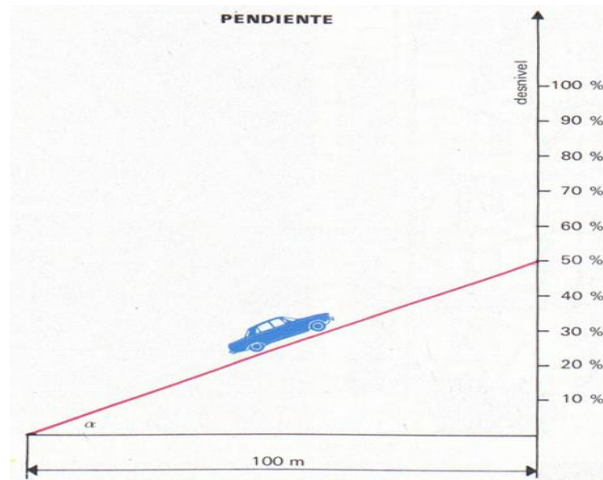


Figura 2. Variación de una pendiente (%), [1].

2.1.3. Vía extraurbana.

También conocida como vía rural, es aquel lugar en donde predominan las áreas verdes o los espacios abiertos, normalmente se encuentran ubicadas fuera del límite urbano y permiten que exista la comunicación entre distintas poblaciones [5].

En la siguiente figura, se muestra una ruta extraurbana correspondiente a una zona en la Región Sierra que se caracteriza por tener carreteras con alto nivel de gradiente de inclinación en la superficie [1].



Figura 3. Vía extraurbana en la Región Sierra – Ecuador, [1].

2.1.4. Ciclos de conducción.

El ciclo de conducción es una gráfica que indica el perfil de velocidades producto de una forma de conducir ya sea en el área urbana o rural, considerando la modernidad del vehículo, el flujo de automóviles, las vías, condición climatológica, la superficie terrestre o relieve y la costumbre de las personas al momento de manejar [6].

Los perfiles de velocidad se emplean usualmente para detectar la presencia de gases nocivos provenientes de los vehículos hacia el ambiente, establecer la cantidad de combustible consumido y aprobar o permitir nuevos modelos de una empresa automotriz [7].

Cada ciclo de conducción suele presentar características diferentes frente a otros tipos de perfiles de velocidad, esto se debe a países, organizaciones gubernamentales, las condiciones climáticas de la zona, estado de las vías, vehículos involucrados y la cultura de manejo por parte de los ciudadanos [8].

A continuación, se da a conocer los ciclos de conducción existentes a nivel mundial:

2.1.4.1. Ciclos de conducción en América.

- **Ciclo FTP-75.**

Este tipo de ciclo de conducción fue creado por la EPA (Agencia de Protección Ambiental), con el objetivo de representar el comportamiento del conductor en el área urbana la cual incluye paradas en reiteradas zonas y el tránsito en carreteras estatales [8].

En la figura 4, se muestra el perfil de velocidades correspondiente al ciclo FTP-75.

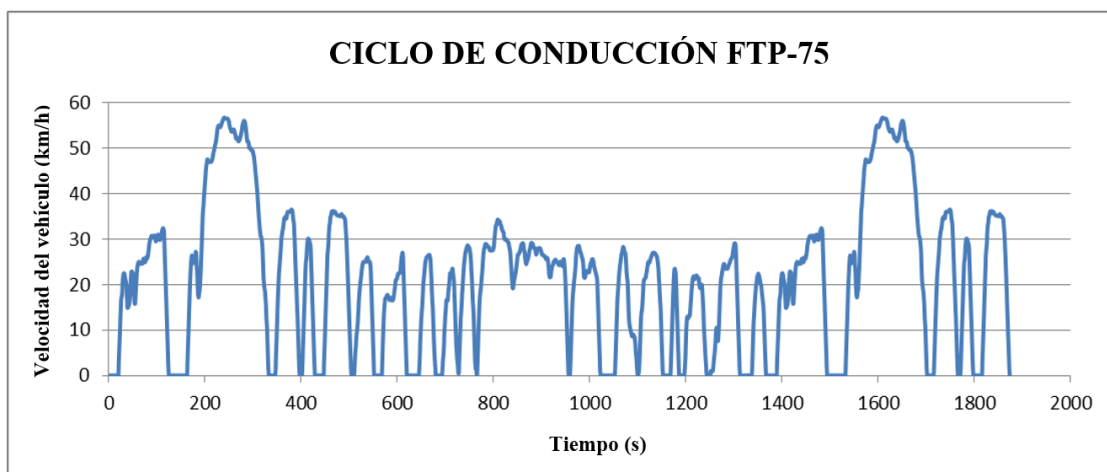


Figura 4. Ciclo de conducción FTP-75, [8].

En la siguiente tabla, se indica las características de este ciclo de conducción:

Tabla 1. Parámetros del Ciclo FTP-75, [8].

Parámetros del ciclo de conducción FTP-75	
Trayecto recorrido (km)	17,77
Duración (s)	1874
Velocidad media (km/h)	34,1

- **Ciclo de prueba de economía de combustible en carretera.**

Este ciclo de conducción fue creado para determinar la economía del combustible cuando el vehículo transita por una carretera [9].

En la figura 5, se muestra el perfil de velocidades correspondiente al ciclo de prueba económica de combustible.

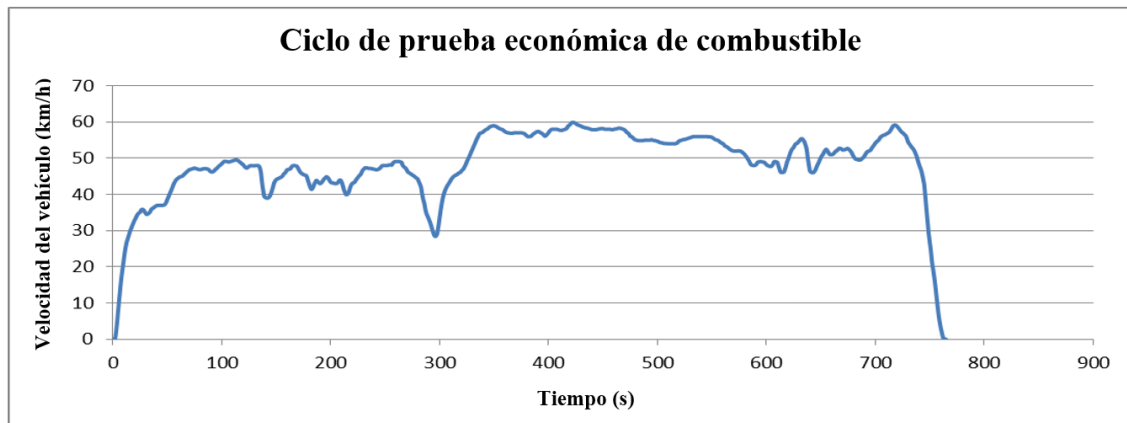


Figura 5. Ciclo de prueba económica de combustible, [9].

En la siguiente tabla, se indica las características de este ciclo de conducción:

Tabla 2. Parámetros del Ciclo de prueba económica de combustible, [9].

Parámetros del ciclo de conducción de economía de combustible en carretera	
Trayecto recorrido (km)	16,45
Duración (s)	765
Velocidad media (km/h)	77,7

2.1.4.2. Ciclos de conducción en Europa.

- **Nuevo ciclo de conducción europeo (NEDC).**

Este tipo de ciclo permite homologar varios modelos de vehículos hasta la norma Euro 6 que rige en Europa y algunos otros países del mundo. Constituido principalmente por una parte dentro del área urbana, repetida en cuatro ocasiones, y una zona rural; para definir el comportamiento del automóvil cuando circula por estos sectores [8].

En la figura 6, se muestra el perfil de velocidades correspondiente al ciclo de prueba NEDC.

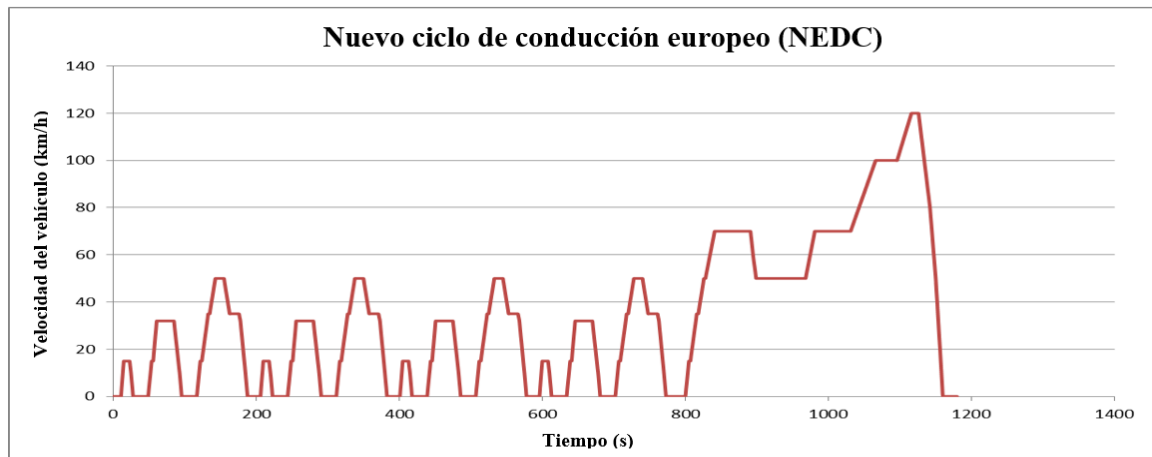


Figura 6. Nuevo ciclo de conducción europeo, [8].

En la siguiente tabla, se indica las características de este ciclo de conducción:

Tabla 3. Parámetros del Ciclo NEDC, [8].

Parámetros del ciclo de conducción NEDC

Trayecto recorrido (km)	11
Duración (s)	1180
Velocidad media (km/h)	33,6

- **Ciclo de conducción Artemis.**

Es un estudio de carácter estadístico realizado en Europa como parte del proyecto llamado Artemis. El cual consta de 3 configuraciones diferentes, más una variante adicional: el ciclo de conducción urbano, extraurbano, de autopista a 130 km/h y a 150 km/h respectivamente [8].

En la figura 7, se muestra el perfil de velocidades correspondiente al ciclo de prueba urbano Artemis.

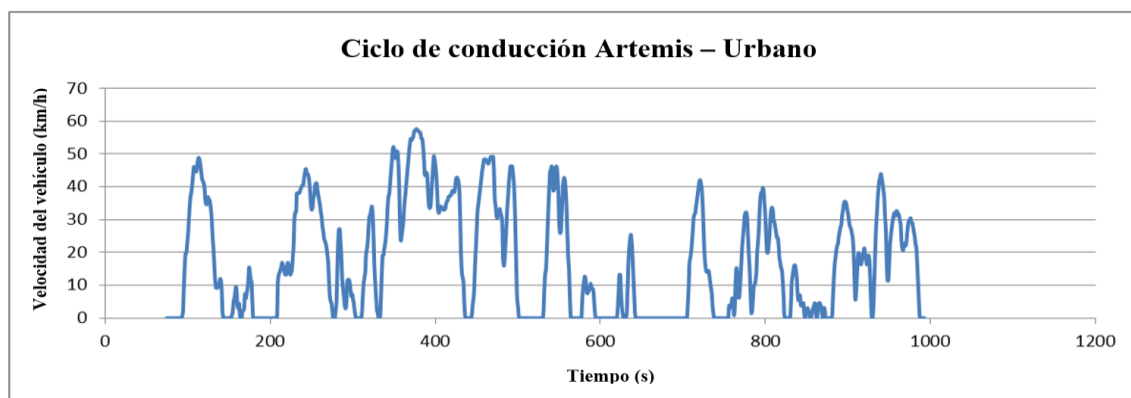


Figura 7. Ciclo de conducción Artemis – Urbano, [8].

En la siguiente tabla, se indica las características de este ciclo de conducción:

Tabla 4. Parámetros del ciclo de conducción urbano Artemis, [8].

Parámetros del ciclo de conducción urbano Artemis	
Trayecto recorrido (km)	4,87
Duración (s)	993
Velocidad media (km/h)	17,6

En la figura 8, se muestra el perfil de velocidades correspondiente al ciclo de prueba extraurbano Artemis.

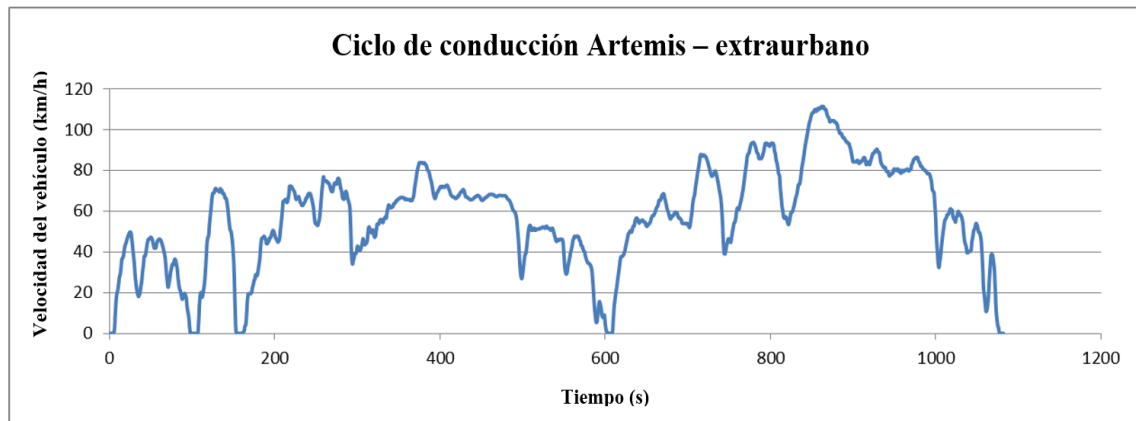


Figura 8. Ciclo de conducción Artemis – extraurbano, [8].

En la siguiente tabla, se indica las características de este ciclo de conducción:

Tabla 5. Parámetros del ciclo de conducción extraurbano Artemis, [8].

Parámetros del ciclo de conducción extraurbano Artemis	
Trayecto recorrido (km)	17,27
Duración (s)	1082
Velocidad media (km/h)	57,5

En la figura 9, se muestra el perfil de velocidades correspondiente al ciclo de prueba en autopista Artemis.

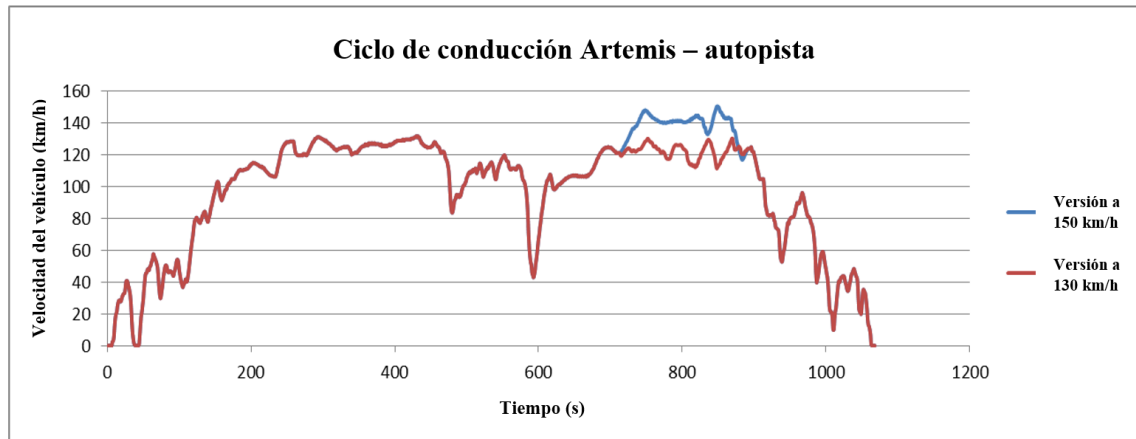


Figura 9. Ciclo de conducción Artemis – autopista, [8].

En las siguientes tablas, se indican las características de este ciclo de conducción:

Tabla 6. Parámetros del ciclo de conducción en autopista Artemis 130, [8].

Parámetros del ciclo de conducción en autopista Artemis 130	
Trayecto recorrido (km)	28,73
Duración (s)	1068
Velocidad media (km/h)	96,9

Tabla 7. Parámetros del ciclo de conducción en autopista Artemis 150, [8].

Parámetros del ciclo de conducción en autopista Artemis 150	
Trayecto recorrido (km)	29,54
Duración (s)	1068
Velocidad media (km/h)	99,6

2.1.4.3. Ciclos de conducción en vehículos ligeros armonizados a nivel mundial (WLTP).

Este tipo de ciclo de conducción se lleva a cabo mediante una prueba realizada en un dinamómetro de chasis, el cual permite medir los contaminantes, emisiones, ahorro de combustible y la autonomía eléctrica que poseen estos vehículos; además consta de tres diferentes ciclos que dependen de la relación potencia/masa del vehículo puesto a prueba [8].

Estos perfiles de velocidad son mostrados a continuación:

- **Ciclo de clase 3.**

Está compuesto por cuatro etapas de circulación: el primero muestra un manejo realizado dentro de la ciudad, el segundo en las periferias, el tercero sucede en una zona rural y el cuarto en las carreteras o autopistas. En este grupo ingresan los vehículos que poseen una relación de potencia a masa ≥ 34 , para entender el comportamiento del vehículo en la figura 10 se muestra el perfil de velocidad de este ciclo de conducción [8]:

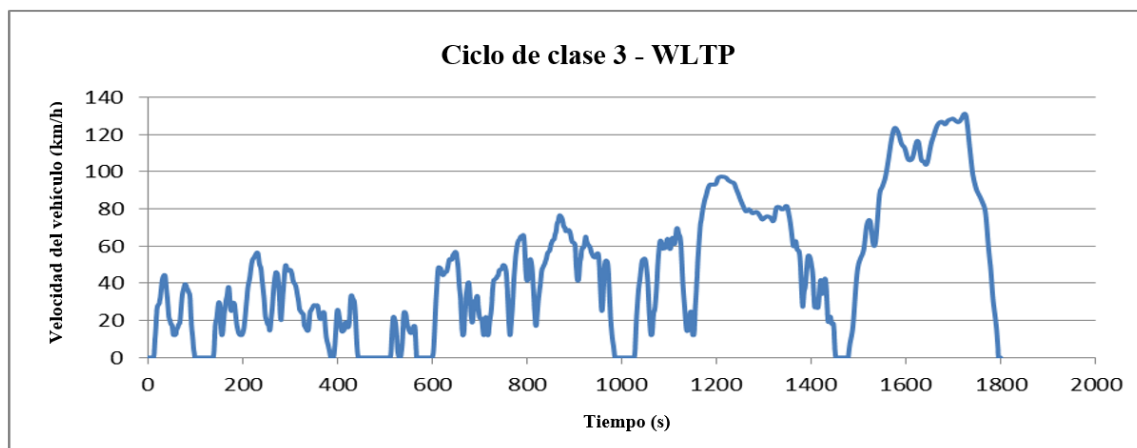


Figura 10. Ciclo de clase 3 - WLTP, [8].

En la siguiente tabla, se indica las características de este ciclo de conducción:

Tabla 8. Parámetros del ciclo de clase 3, [8].

Parámetros del ciclo de clase 3	
Trayecto recorrido (km)	23,26
Duración (s)	1800
Velocidad media (km/h)	46,5

- **Ciclo de clase 2.**

Representa las variaciones de la velocidad relacionada con los vehículos indios, los de baja potencia europeos y los japoneses. En este grupo ingresan los vehículos que poseen una relación de potencia a masa de entre 22 y 34, para entender el comportamiento del vehículo en la figura 11, se muestra el perfil de velocidad de este ciclo de conducción [8]:

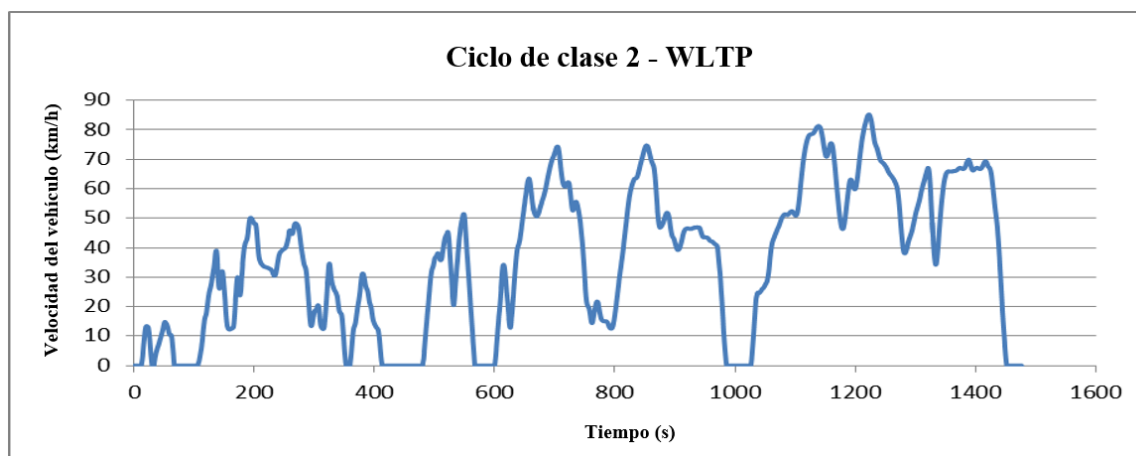


Figura 11. Ciclo de clase 2 - WLTP, [8].

En la siguiente tabla, se indica las características de este ciclo de conducción:

Tabla 9. Parámetros del ciclo de clase 2, [8].

Parámetros del ciclo de clase 2

Trayecto recorrido (km)	14,66
Duración (s)	1477
Velocidad media (km/h)	35,7

- **Ciclo de clase 1.**

Se compone de regiones que reflejan una variación en la rapidez del automóvil. Este ciclo suele aplicarse en automóviles de gama baja, ya que no se suele exigir mucho al automotor en este tipo de pruebas. En este grupo ingresan los vehículos que poseen una relación de potencia a masa ≤ 22 , para entender el comportamiento del vehículo en la figura 12, se muestra el perfil de velocidad de este ciclo de conducción [8]:

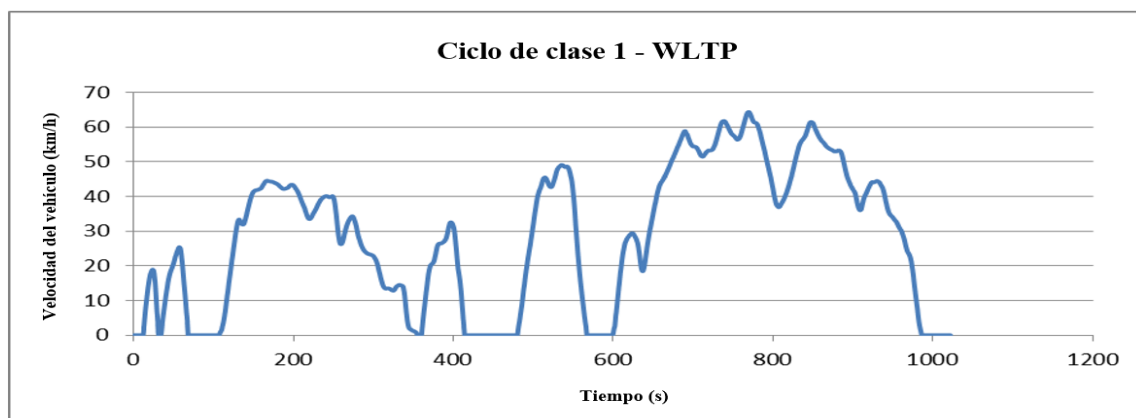


Figura 12. Ciclo de clase 1 - WLTP, [8].

En la siguiente tabla, se indica las características de este ciclo de conducción:

Tabla 10. Parámetros del ciclo de clase 1, [8].

Parámetros del ciclo de clase 1	
Trayecto recorrido (km)	8
Duración (s)	1022
Velocidad media (km/h)	28,5

2.1.5. Velocidad.

La velocidad es una magnitud física que denota la relación entre el desplazamiento o recorrido de un objeto y el tiempo que tarda en realizar este cambio de posición. Es una magnitud vectorial ya que posee módulo, dirección y sentido; la unidad de medida en el Sistema Internacional es (m/s) [3].

Se muestra una gráfica del vector velocidad en el desplazamiento entre dos puntos.

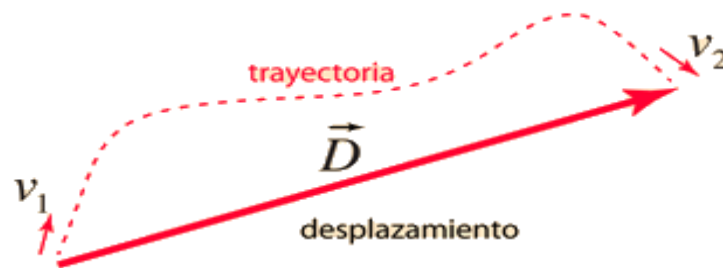


Figura 13. Vector velocidad, [3].

La ecuación que describe esta variable se muestra a continuación:

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t} \quad \text{Ecuación 2.}$$

En donde:

- v = Velocidad del vehículo (m/s)
- Δd = Variación de la posición (m)
- Δt = Variación del tiempo (s)

2.1.6. Aceleración.

Dentro del campo de la física, la aceleración es una magnitud vectorial expresada en (m/s^2) que sirve para describir la manera en la que un cuerpo modifica la velocidad que lleva en una determinada trayectoria de manera ascendente; aunque puede darse el caso de que existan las desaceleraciones que se producen cuando el vehículo reduce la velocidad de manera repentina [3].

Este hecho se aprecia cuando una partícula experimenta un aumento de la velocidad en la misma dirección en la que va puesto que, si altera su curso, la aceleración no será uniforme y el caso en el que cambie la orientación el cuerpo desacelerará [3].

En la siguiente figura, se indica el efecto que produce la aceleración en los distintos medios de transporte según el modo de conducción.

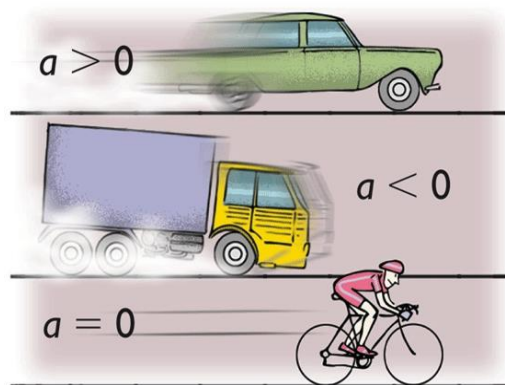


Figura 14. Variaciones en la aceleración de un cuerpo, [3].

La ecuación que describe esta variable se muestra a continuación:

$$a = \frac{(v_f - v_0)}{(t_f - t_0)} \quad \text{Ecuación 3.}$$

En donde:

- \mathbf{a} = Aceleración del vehículo (m/s^2)
- $\mathbf{V_f}$ = Velocidad final del vehículo (m/s)
- $\mathbf{V_0}$ = Velocidad inicial del vehículo (m/s)
- $\mathbf{t_f}$ = Tiempo final (s)
- $\mathbf{t_0}$ = Tiempo inicial (s)

2.1.7. Propiedades termodinámicas del aire.

En la tabla 11, se muestra en detalle las propiedades que presenta el aire como un fluido de trabajo [10].

Tabla 11. Propiedades termodinámicas del aire, [10].

Sustancia	Masa molar (M) kg/kmol	Constante de gas (R) kJ/kg*K	Calores específicos		k Cp/Cv
			A presión constante (Cp) kJ/kg*K	A volumen constante (Cv) kJ/kg*K	
			Aire	28,97	

2.1.7.1. Densidad del aire.

Es definida como la masa que se encuentra por unidad de volumen en los gases atmosféricos, el símbolo para su identificación es la de ρ , que hace referencia a la letra griega rho. Lo que se refiere a la densidad del aire va a depender tanto de la temperatura como también de la presión que tenga el aire [11].

Por lo normal se da el valor a la densidad del aire en cuanto a la temperatura y la presión que sea estándar, aunque adicionalmente se toma en cuenta el factor de la humedad relativa en ciertos casos para realizar el cálculo de la densidad en cualquier punto geográfico [12].

Tal ecuación se presenta a continuación:

$$\rho_a = \frac{0,34848p - 0,009h_r \exp(0,061t)}{273,15 + t} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde:

- ρ_a = Densidad del aire (kg/m³)
- p = Presión atmosférica (hPa)
- h_r = Humedad relativa
- t = Temperatura del aire (°C)

2.1.8. Aerodinámica.

2.1.8.1. Conceptos básicos.

La aerodinámica se centra en el estudio de las fuerzas que un viento relativo ejerce sobre un obstáculo sumergido en él, como es el caso de un vehículo en particular, en donde suelen manifestarse las siguientes resistencias al avance durante la conducción del mismo [13]:

- Resistencia de rodadura.
- Resistencia aerodinámica.
- Resistencia al rozamiento mecánico.
- Resistencia de inercia.
- Resistencia por pendiente.

En la figura siguiente, se aprecia el comportamiento del aire al momento de entrar en contacto con la superficie de un vehículo en libre tránsito.

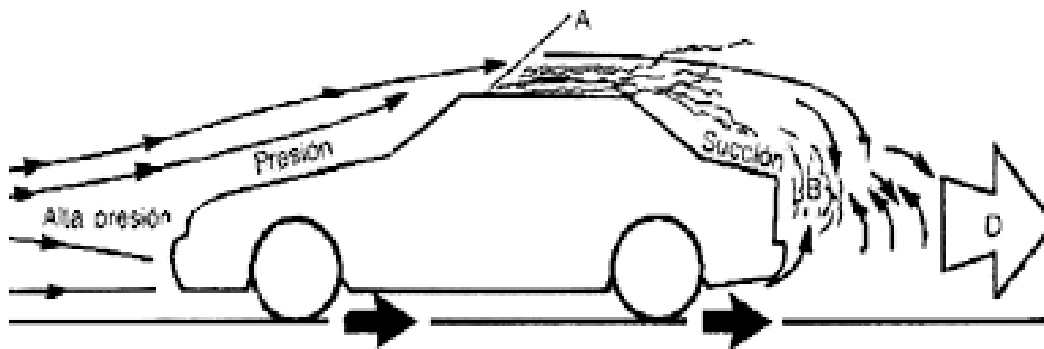


Figura 15. Flujo de aire a través de la superficie de un vehículo, [13].

A continuación, se dan a conocer las principales resistencias que serán objeto de estudio en el presente proyecto:

2.1.8.2. Resistencia aerodinámica.

Esta resistencia presenta una oposición al desplazamiento de un objeto en contacto con el aire, el cual actúa como un fluido de trabajo por lo que la resistencia siempre va en sentido opuesto a la velocidad del cuerpo o sólido [13].

Esta resistencia posee una fórmula que se muestra a continuación:

$$F_{xa} = \frac{1}{2} \rho_a C_x A_f V^2$$

Ecuación 5.

Donde:

- F_{xa} = Resistencia aerodinámica (N)
- ρ_a = Densidad del aire (kg/m^3)
- C_x = Coeficiente aerodinámico
- A_f = Área frontal del vehículo (m^2)
- V = Velocidad del vehículo (m/s)

En la siguiente figura, se aprecia la forma en que un fluido de trabajo (el aire) circula a través de distintos medios de transporte:

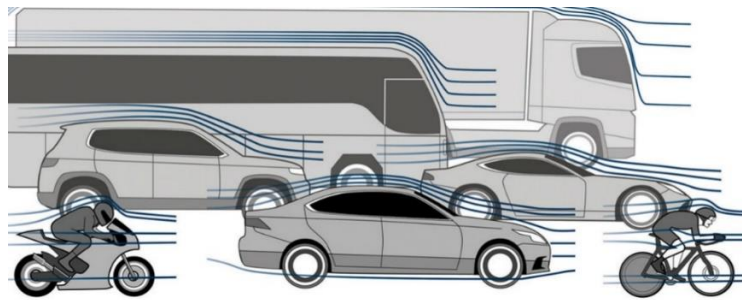


Figura 16. Flujo de aire a través de diferentes vehículos, [13].

- **Coeficiente aerodinámico (C_x).**

Es un número adimensional empleado en la industria de la aviación y automotriz, también es aplicado en los estudios relacionados con el desplazamiento de los cuerpos cuando están en contacto con el aire. Por lo tanto, el coeficiente C_x varía dependiendo del tipo de vehículo con el que se desarrolle la conducción por una determinada ruta [13].

Dicha variable se puede estimar gráficamente tal y como se muestra en la siguiente figura:



Figura 17. Valor de C_x en los distintos tipos de vehículos, [13].

Cuanta menor resistencia al aire ofrezca un vehículo, más eficiente será y menos consumirá, ya sea combustible o electricidad. Todo aquello se traducirá en menor contaminación y/o mayor autonomía [14].

2.1.8.3. Resistencia gravitatoria.

Las trayectorias de ruta con alto gradiente dificultan la ascensión del vehículo por un plano inclinado a causa de la oposición de una componente de su peso. Como tal esta fuerza de resistencia se ubica en el centro de gravedad del automóvil y la fórmula que la describe se indica a continuación [13]:

$$R_g = m_p * g * \sin \theta \quad \text{Ecuación 6.}$$

Donde:

- R_g = Resistencia gravitatoria (N)
- m_p = Masa de prueba (kg)
- g = Gravedad (m/s^2)
- θ = Ángulo de la pendiente en grados ($^\circ$)

Cabe destacar que la variable de mayor atención es la pendiente (θ) que representa el ángulo que forma el plano inclinado con respecto a la horizontal y suele ser expresado en porcentaje.

- **Pendiente desde el punto de vista del automóvil.**

Los automóviles tienen una velocidad en donde suelen circular con mayor eficiencia, esto generalmente ocurre en el rango de velocidades de 80 a 120 km/h. Por otro lado, existen los vehículos de tipo comercial y camiones, los cuales están provistos con una mayor potencia, sin embargo, los extrapesados no tienen una gran reserva y dependen del cambio de velocidades en mayor medida que los automóviles comunes [5].

La composición de fuerzas de la resistencia gravitatoria al momento de subir una cuesta se indica a continuación.

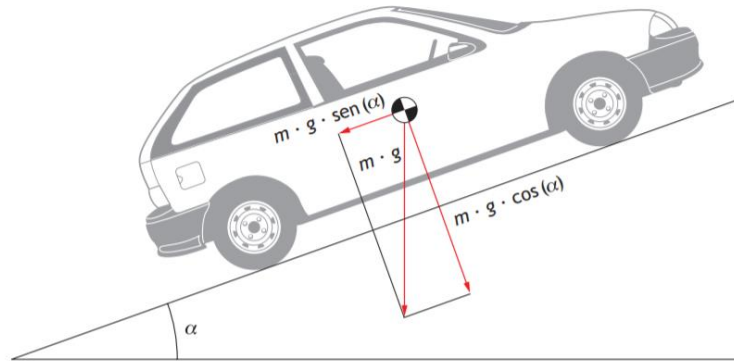


Figura 18. Diagrama de fuerzas de un automóvil en una pendiente (α), [13].

Cuando una pendiente requiere un cambio de velocidad, durante su ascenso, es normal que se produzca una pérdida de energía. Por consiguiente, es necesario saber que existen pendientes denominadas como “económicas” debido a que permiten subir en tercera a una velocidad media de marcha, en el caso de los camiones les permite ascender a una velocidad apropiada sin realizar cambios de marcha, que por supuesto es menor que la de un automóvil común [13].

Un ejemplo de este tipo de ruta, se indica en la siguiente figura.



Figura 19. Carretera con pendiente económica y circulación de vehículos pesados, [13].

Es importante destacar la presencia de las pendientes denominadas como “nocivas” que poseen un alto índice de pendiente con valores que suelen superar el 15% y llegar hasta valores tope de 35% aproximadamente, ya que al ascender lo han de hacer a expensas de un gran esfuerzo de tracción con mayor consumo y desgaste, y al bajar ya sea con el motor o con los frenos, para compensar la energía necesaria [15].



Figura 20. Ejemplo de una vía con alto índice de pendiente (%), [5].

La pendiente influye sobre el costo del transporte porque al aumentar la misma, aumenta el tiempo de recorrido, el consumo de combustible, y el desgaste de neumáticos. Otro factor a tener en cuenta es la fluidez del tránsito sobre el camino de manera que reduce el nivel de servicio del mismo y la capacidad de circular en el trayecto [13].

En la siguiente figura, se indica la pendiente en porcentaje y algunos tipos de vehículos aptos para estos tramos de vía. Cabe destacar que tales automóviles son eléctricos, sin embargo, sirven como referencia para conocer las variaciones presentes en una carretera de cualquier orden.

Subida en porcentaje	Subida en grados	Tipo de Vehículo
5%	2,86 grados	cualquier tipo de vehículo eléctrico
10%	5,71 grados	cualquier tipo de vehículo eléctrico
15%	8,53 grados	cualquier tipo de vehículo eléctrico
20%	11,31 grados	vehículos eléctricos Alke'
25%	14,04 grados	Vehículos eléctricos de trabajo ATX 340E
30%	16,70 grados	Vehículos eléctricos Alke' ATX320E
35%	19,29 grados	Todoterrenos eléctricos ATX330E
hasta 100%	hasta 45 grados	vehículos todoterrenos 4x4

Figura 21. Porcentajes existentes en carreteras de cualquier orden, [16].

- **Influencia de la pendiente (%) en los valores de las resistencias: aerodinámica, gravitatoria, rodadura y la fuerza neta.**

En las siguientes gráficas, se indican las variaciones que suelen presentarse entre las fuerzas que se oponen al desplazamiento de un vehículo de acuerdo con el cambio en el valor de la pendiente (%).

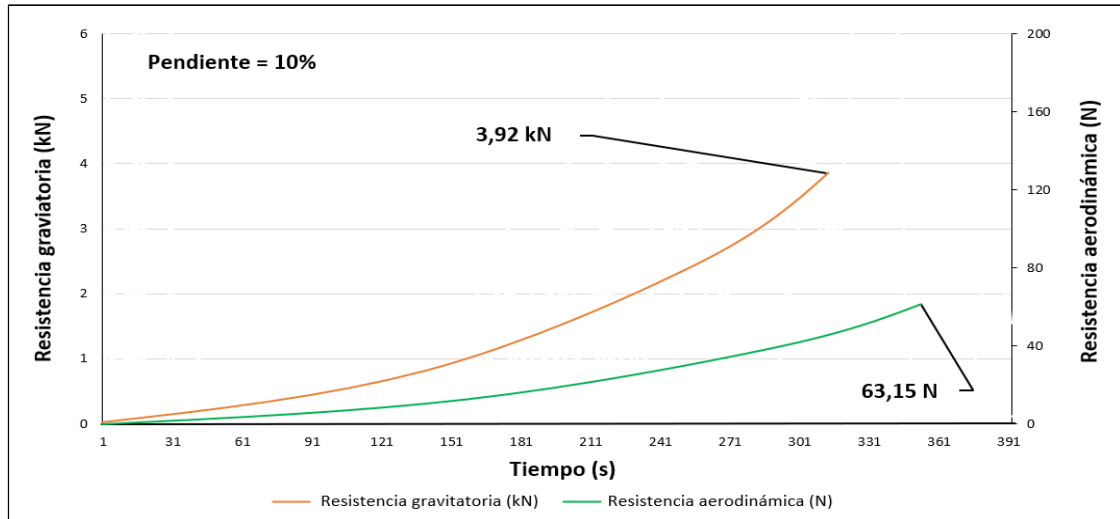


Figura 22. Resistencia gravitatoria vs Resistencia aerodinámica con pendiente al 10%.

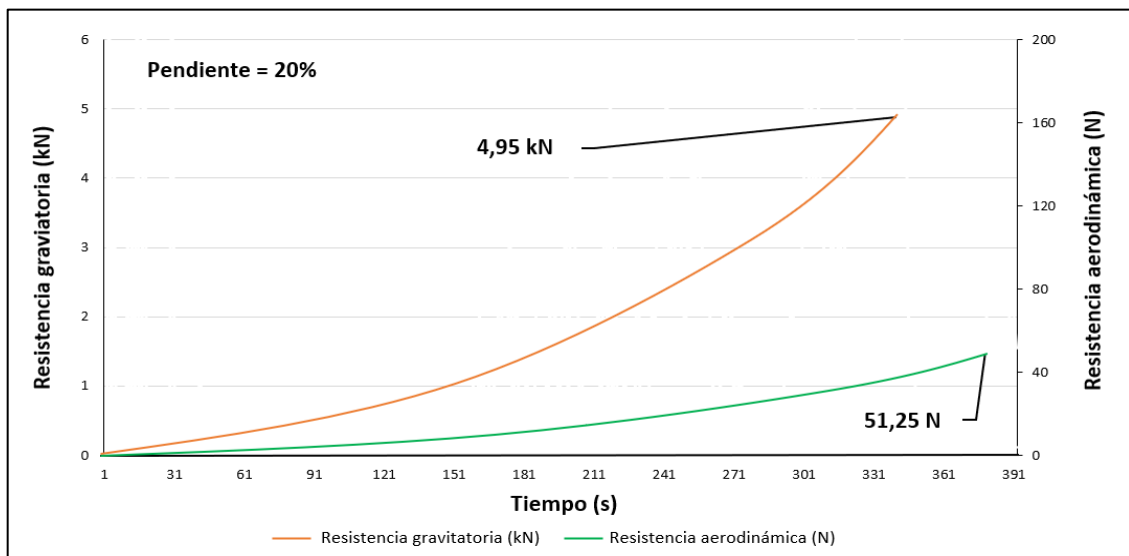


Figura 23. Resistencia gravitatoria vs Resistencia aerodinámica con pendiente al 20%.

En base a lo anteriormente indicado, las resistencias gravitatoria y aerodinámica presentan una relación inversamente proporcional. Esto es consecuencia del incremento en la pendiente y junto con ello está la altitud o metros sobre el nivel del mar que pueda tener una determinada ciudad [16].

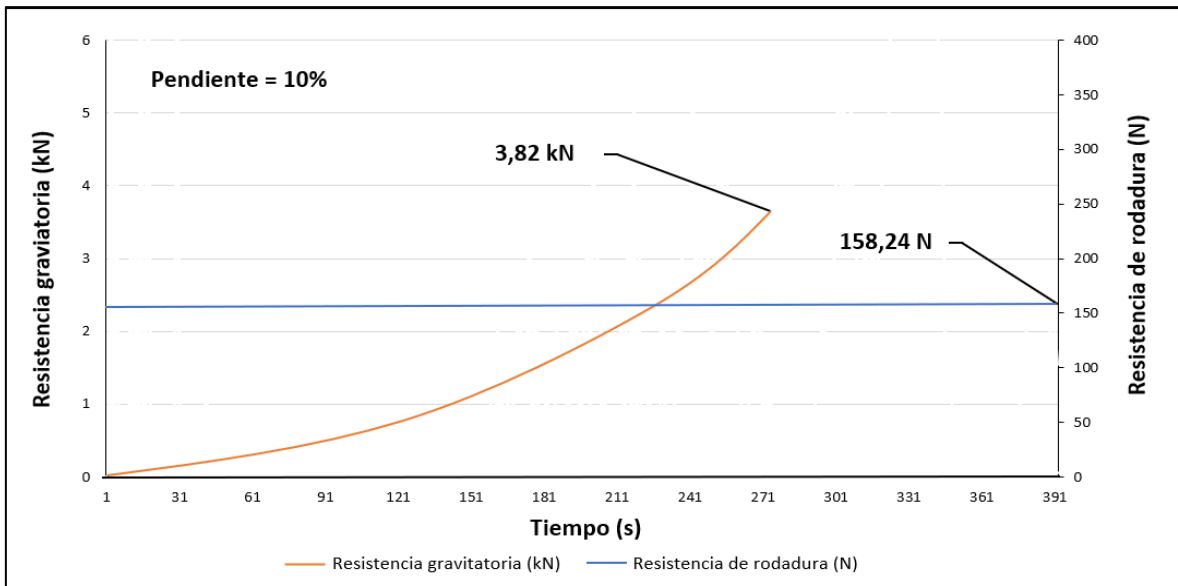


Figura 24. Resistencia gravitatoria vs Resistencia de rodadura con pendiente al 10%.

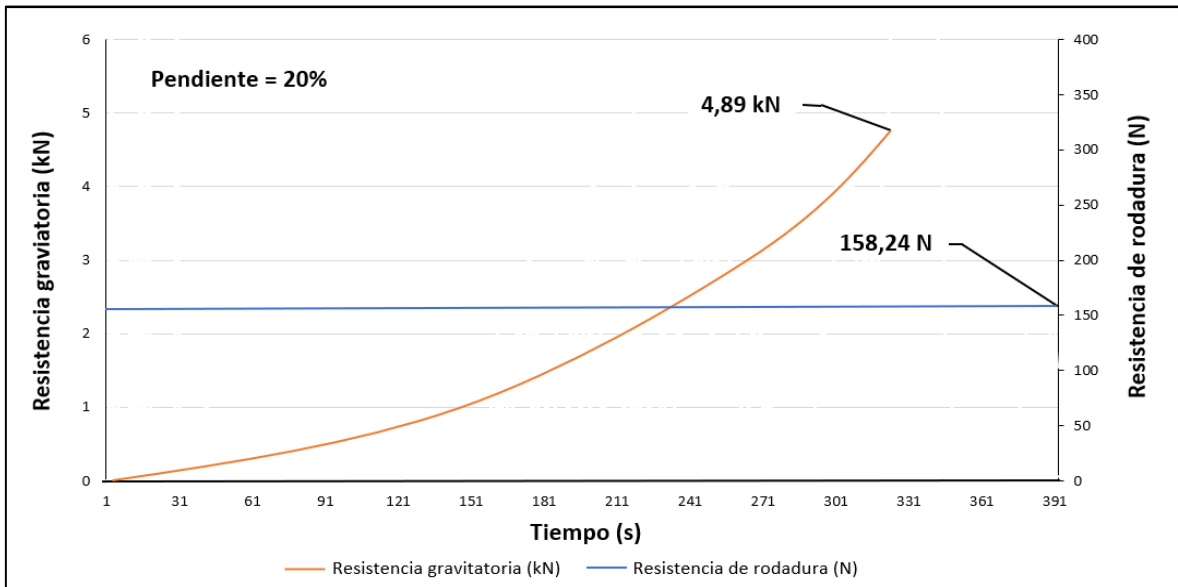


Figura 25. Resistencia gravitatoria vs Resistencia de rodadura con pendiente al 20%.

En este caso, la resistencia de rodadura es indiferente con respecto al incremento de la pendiente (%), debido a que esta variable no está incluida en la ecuación que describe a esta fuerza [16].

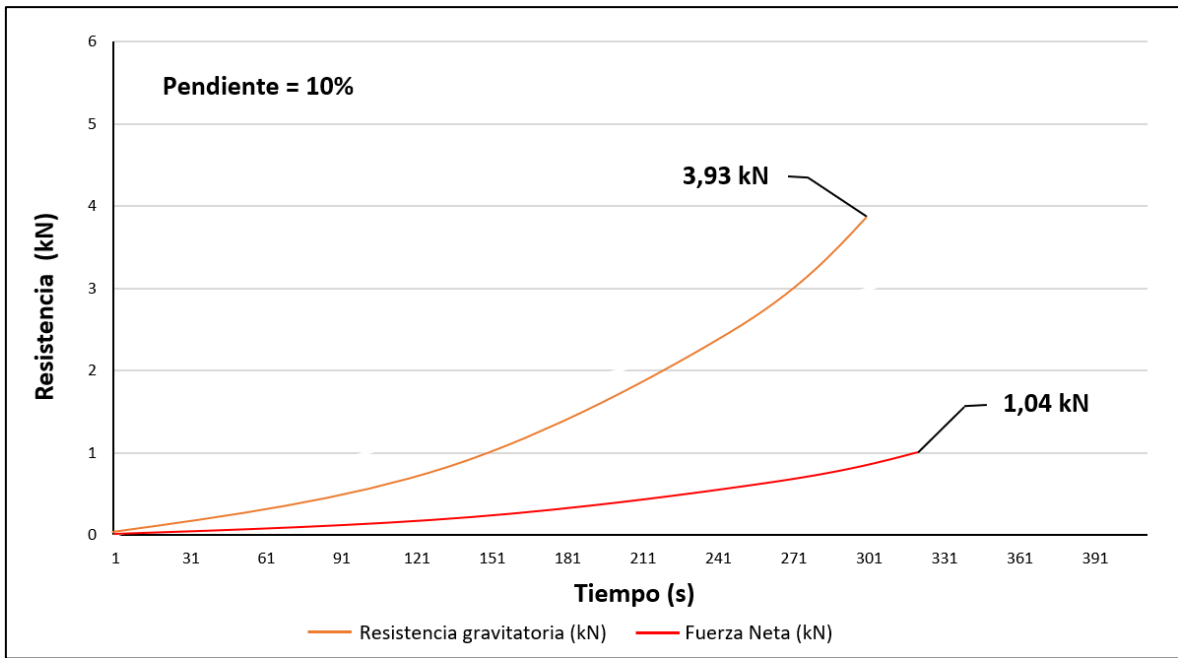


Figura 26. Resistencia gravitatoria vs Fuerza neta con pendiente al 10%.

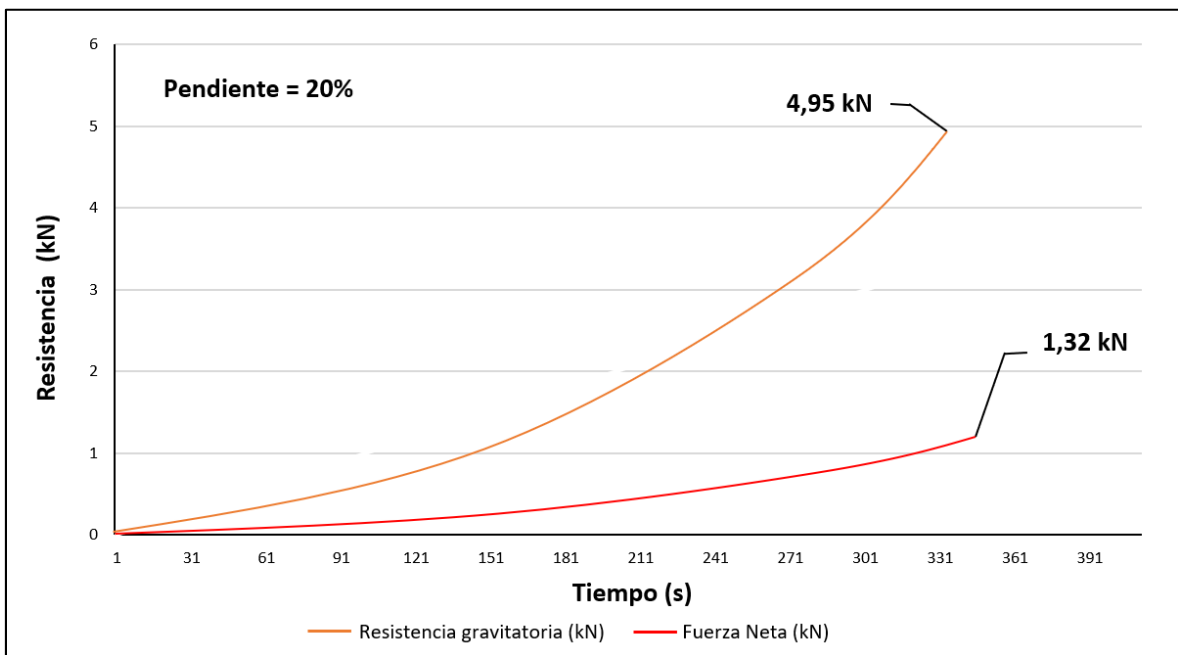


Figura 27. Resistencia gravitatoria vs Fuerza neta con pendiente al 20%.

Se puede apreciar que tanto la resistencia gravitatoria como la fuerza neta tienen un comportamiento idéntico en cuanto al incremento a sus valores de resistencia a medida que un vehículo circula por vías con un alto índice de pendiente, sin embargo, los registros de la fuerza neta no son tan altos como la resistencia gravitatoria debido a que sus ecuaciones tienen diferentes variables [16].

2.1.8.4. Resistencia de rodadura.

Se origina al momento que un objeto se desplaza sobre un plano, deformándose uno de ellos o ambos. Para el caso de este tipo de resistencia en automóviles depende de otros factores contribuyentes que incluyen el radio de la rueda, la velocidad de avance, adhesión a la superficie, y la relación micro-deslizamiento entre las superficies de contacto, además es importante el material de la rueda o del neumático y el tipo de suelo por donde transite [13].

A continuación, se muestra la ecuación que describe este tipo de resistencia:

$$R_r = m_p * g * \mu \quad \text{Ecuación 7.}$$

Como tal, esta resistencia depende de las siguientes variables:

- R_r = Resistencia de rodadura (N)
- m_p = Masa de prueba (kg)
- g = Gravedad (m/s^2)
- μ = Coeficiente de rodadura

- **Coeficiente de rodadura.**

La dependencia del coeficiente de rodadura con el peso del sistema, a diferencia del coeficiente de rozamiento, hace que no sea siempre operativo calcular el coeficiente de rodadura a través del ángulo de rozamiento, por lo que se suele utilizar valores preestablecidos de acuerdo a las condiciones en que se encuentre el entorno [13].

En la siguiente figura, se indica los factores que inciden en el desplazamiento de un neumático sobre una superficie.

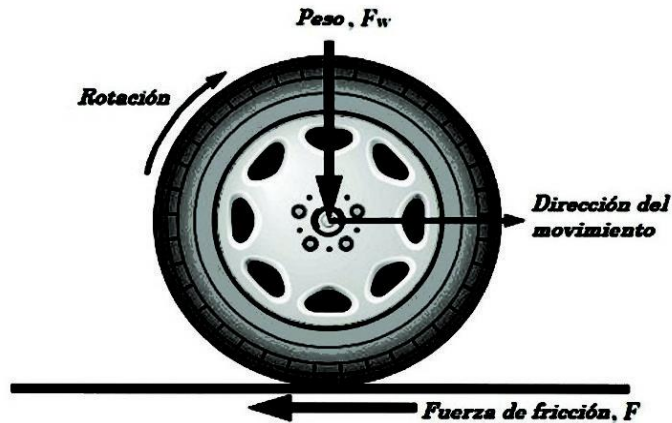


Figura 28. Variables presentes en el movimiento de un neumático, [13].

El valor del coeficiente de rodadura es propio de cada sistema, por lo que depende de:

- La rigidez o dureza de la rueda y superficie.
- El radio de la rueda (a mayor radio menor resistencia).
- El peso o carga al que se somete cada rueda.
- El acabado de las superficies en contacto, forma relativa, entre otros.
- La viscosidad entre las superficies de contacto.
- La temperatura de los cuerpos.
- En el caso de ruedas neumáticas o hidráulicas, de su presión (a mayor presión menor resistencia).

En la figura 29, se muestra la forma que describe una llanta cuando se encuentra a baja, normal y alta presión.

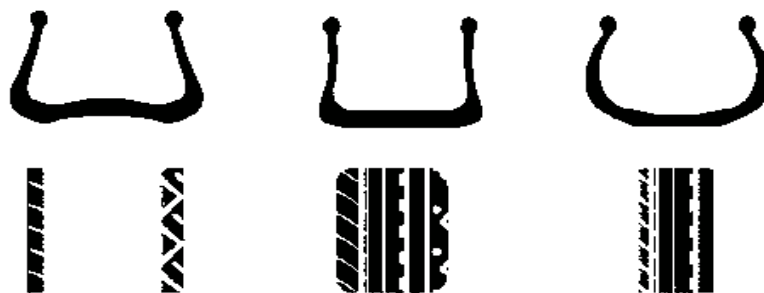


Figura 29. Morfología de un neumático bajo distintas presiones, [13].

La presión del neumático cumple un rol fundamental para evitar que el automóvil se esfuerce más de lo necesario en el hecho de desplazarse sobre una superficie [13].

En la tabla 12, se indica los valores del coeficiente de rodadura de acuerdo con la superficie por donde transite y el tipo de neumático empleado:

Tabla 12. Valores para el coeficiente de rodadura, [13].

COEFICIENTE DE RESISTENCIA A LA RODADURA	
Superficie de la carretera	Coeficiente de resistencia a la rodadura
Neumáticos para automóvil	
Hormigón asfáltico	0,015
Grava laminada	0,02
Tarmacadam	0,025
Sin asfaltar	0,05
Campo	0,1 – 0,35
Neumáticos para camiones	
Hormigón asfáltico	0,006 – 0,01

2.1.8.5. Fuerza neta.

La magnitud de la fuerza neta que actúa sobre un objeto es igual a la masa del objeto multiplicada por la aceleración del objeto como se muestra en la siguiente ecuación [13]:

$$F_n = m_v * a * \gamma \quad \text{Ecuación 8.}$$

Donde:

- F_n = Fuerza neta (N)
- m_v = Masa propia del vehículo (kg)
- a = Aceleración del automóvil (m/s^2)
- γ = Factor de mayoración de masa

En esta parte, es sustancial destacar la presencia de una variable importante la cual es el factor de mayoración de masa (γ).

- **Factor de mayoración de masa.**

Es un factor por el que se multiplican las cargas aplicadas en el modelo con el objetivo de compensar los efectos dinámicos en el cálculo estático, el uso de los factores de mayoración es común en ingeniería mecánica y, en algunas reglamentaciones, en donde suelen estar normalizados según el proceso de análisis [12].

2.1.8.6. Fuerza de tracción.

Esta variable se relaciona con la fuerza de tracción necesaria para el movimiento del vehículo, por lo que es necesario analizar las resistencias que el automóvil debe vencer tal y como se muestran a continuación [12].

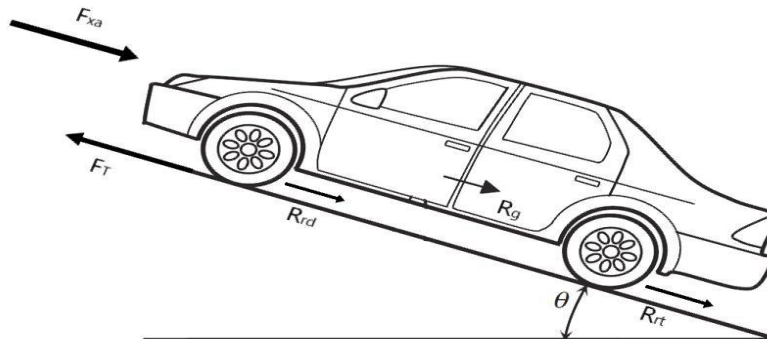


Figura 30. Resistencias presentes en el desplazamiento de un vehículo, [12].

A continuación, se indica la ecuación que describe a esta variable:

$$F_t = F_{xa} + R_g + R_r + F_n \quad \text{Ecuación 9.}$$

Donde:

- F_t = Fuerza de tracción (N)
- F_{xa} = Resistencia aerodinámica (N)
- R_g = Resistencia gravitatoria (N)
- R_r = Resistencia de rodadura (N)
- F_n = Fuerza neta (N)

2.1.8.7. Potencia de tracción.

La potencia de tracción es el producto del esfuerzo de tracción por la velocidad de avance en un vehículo. En la siguiente ecuación, se indican las variables que participan en el análisis de esta potencia [16]:

$$P_t = F_t * v$$

Ecuación 10.

Donde:

- P_t = Potencia de tracción (kW)
- F_t = Fuerza de tracción (N)
- v = Velocidad del vehículo (m/s)

2.1.8.8. Energía.

El término corresponde a la capacidad que poseen los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos. La energía suele manifestarse en diferentes formas tales como: la energía mecánica, energía cinética, energía potencial, energía eléctrica, energía química, entre otros [17].

Un claro ejemplo de todos estos aspectos es el automóvil en la figura 31, que como tal funciona mediante la transformación de los distintos tipos de energía para que pueda llevar a cabo el desplazamiento de acuerdo a lo que necesite el conductor [2].



Figura 31. Conversión de energía química a energía mecánica en un vehículo, [3].

La energía que requiere un vehículo para transitar por una ruta, se calcula integrando los valores obtenidos de la potencia de tracción mediante el uso de la fórmula mostrada a continuación [12]:

$$E_v = \int P_t * dt$$

Ecuación 11.

Donde:

- E_v = Energía requerida por el vehículo (kW)
- P_t = Potencia de tracción (kW)
- dt = Diferencial del tiempo (s)

2.1.8.9. Área frontal.

El área frontal es aquella superficie que ocupa el coche visto frontalmente y su unidad de medida es el m^2 . Por lo tanto, es entendible que un coche alto y ancho, con grandes retrovisores y neumáticos tiende a ofrecer mayor resistencia que un coche bajo o estrecho, con retrovisores pequeños y neumáticos finos [13].

En el caso de tener una doble superficie frontal implicaría una mayor resistencia ya que el vehículo debe mover más aire para pasar a través de este fluido [11].

A continuación, se muestra la superficie frontal del vehículo de prueba Chery Arrizo 3.



Figura 32. Área frontal del vehículo de prueba, [18].

De acuerdo con la gráfica anterior, se puede establecer que el área frontal del vehículo describe una forma rectangular la cual posee una fórmula para calcular dicha área, además se agrega un factor de ajuste equivalente a 0,85 debido a que existen ciertos lugares que no son de considerar en este tipo de estudio [3]:

$$A_f = b * h * 0,85$$

Ecuación 12.

Donde:

- A_f = Área frontal del vehículo (m^2)
- b = Base del vehículo (m)
- h = Altura del vehículo (m)

2.1.9. Combustibles.

Los combustibles son aquellos cuerpos que al combinarse con el oxígeno desprenden calor, por lo que la calidad de un combustible viene dada por la cantidad de energía que puede contener y liberar cuando se le somete a un proceso de conversión energético. Los combustibles hidrocarburos existen en todas las fases, y algunos son el carbón, la gasolina y el gas natural [14].

2.1.9.1. Poder calorífico.

El poder calorífico de un combustible es aquella cantidad de energía (kJ o kcal) que produce debido a la combustión de 1 kilogramo del mismo. También representa la cantidad de energía liberada por unidad de peso o volumen de carburante por la reacción química de combustión que forma CO₂ y H₂O respectivamente [3].

El poder calorífico recibe el nombre de poder calorífico superior (PCS o HHV por sus siglas en inglés) cuando el H₂O en los productos está en forma líquida, y se llama poder calorífico inferior (PCI o LHV por sus siglas en inglés) cuando el H₂O en los productos se encuentra en forma de vapor [14].

2.1.9.2. Gasolina.

Es aquel derivado del petróleo que una vez destilado es empleado en los motores tipo MEC (Motores de Encendido por Chispa), así como en estufas, lámparas, y para limpieza con disolventes, entre otros. Como tal posee un poder calorífico que se encuentra dentro de un rango de 43500 – 47700 kJ/kg [14].

A continuación, se muestra el poder calorífico superior e inferior de los tipos de gasolina existentes en el país:

Tabla 13. Poder calorífico superior e inferior de los tipos de gasolina, [20].

PODER CALORÍFICO		
GASOLINA	Poder Calorífico Superior (PCS) (kJ/kg)	Poder Calorífico Inferior (PCI) (kJ/kg)
SÚPER	47901,51	47271,51
EXTRA	46201,77	44003,97
ECOPAÍS	45583,69	44916,19

2.1.9.2.1. Requisitos de la gasolina Súper.

Está compuesta aproximadamente por un 50 % de aromáticos (tolueno y xilenos) y un 50 % de olefinas (isobuteno, hexenos), tiene en torno a 200 ppm de azufre; además el benceno que contiene en origen suele ser purificado y vendido como materia prima petroquímica, sus números de octano (MON/RON) están en torno a 85/105 [20].

A continuación, se indica los requisitos generales que debe cumplir la gasolina Súper para ser comercializada.

- Tener un octanaje mínimo de 90 RON*, de acuerdo con la normativa NTE INEN 2102.
- Presión de vapor máximo de 56 kPa, de acuerdo con las normas NTE INEN 928, ASTM D 4953 y ASTM D 5191.
- Contenido de gomas máximo equivalente a 4 mg/100 cm³ según la norma NTE INEN 933.
- Contenido de oxígeno máximo equivalente a 2,7 % según las normas ASTM D 4815 y ASTM D 5845.
- Contenido de azufre máximo equivalente a 0,1 % según las normas NTE INEN 929 y ASTM D 4294.
- Contenido de olefinas hasta un máximo de 25 % según las normas NTE INEN 2252 y ASTM D 6730.
- La estabilidad a la oxidación debe ser mínimo de 240 mín, en base a la norma NTE INEN 934.

2.1.9.2.2. Requisitos de la gasolina Extra.

Este tipo de gasolina cuenta con un mayor octanaje, lo que quiere decir que tiene una resistencia frente a una mayor presión y temperatura en las cámaras antes de iniciar la combustión que se genera por la chispa de la bujía, permitiendo que el motor tenga un mejor rendimiento, otras de sus características son [20]:

- Brinda una mejor potencia y torque con un leve incremento en el kilometraje recorrido por galón.
- Cuenta con una combustión más completa además de emitir menos gases contaminantes y humo negro.

A continuación, se indica los requisitos generales que debe cumplir la gasolina Extra para ser comercializada.

- Tener un octanaje mínimo de 81 RON*, de acuerdo con la normativa NTE INEN 2102.
- Presión de vapor máximo de 56 kPa, de acuerdo con las normas NTE INEN 928, ASTM D 4953 y ASTM D 5191.
- Contenido de gomas máximo equivalente a 3 mg/100 cm³ según la norma NTE INEN 933.
- Contenido de oxígeno máximo equivalente a 2,7 % según las normas ASTM D 4815 y ASTM D 5845.
- Contenido de azufre máximo equivalente a 0,075 % según las normas NTE INEN 929 y ASTM D 4294.
- Contenido de olefinas hasta un máximo de 18 % según las normas NTE INEN 2252 y ASTM D 6730.
- La estabilidad a la oxidación debe ser mínimo de 240 mín, en base a la norma NTE INEN 934.

2.1.10. Dispositivos electrónicos de medición.

2.1.10.1. CAN Edge 1 OBD: 2x registrador de datos de bus CAN (SD + RTC).

Es un registrador de datos CAN con marca de tiempo (Clásico / CAN FD) que posee una memoria extraíble con capacidad de almacenamiento de hasta 8 GB, además sirve para monitorear sistemas durante grandes intervalos de tiempo, por lo que puede emplearse para realizar estudios, analizar normativas, diseño de vehículos, reparaciones, entre otros [21].

En la figura 33, se aprecia un ejemplar de este tipo de dispositivo:



Figura 33. CAN Edge 1 OBD: 2x registrador de datos de bus CAN (SD + RTC), [21].

Este dispositivo posee ciertas características y permite medir los parámetros que se muestran a continuación:

- Rapidez
- Consumo de combustible
- Temperatura
- Flujo volumétrico
- Emisiones

2.1.10.2. Estación portátil multifunción Skywatch GEOS 11.

Este dispositivo meteorológico es empleado en los estudios relacionados con el medio ambiente o el entorno donde se lleve a cabo la investigación, obteniendo mediciones con alta precisión y registrándolas en el almacenamiento interno [22].



Figura 34. Skywatch GEOS 11, [22].

Este dispositivo posee ciertas características y permite medir los parámetros que se muestran a continuación:

- Variaciones en la velocidad
- Temperatura
- Humedad relativa
- Presión atmosférica
- Variación de la presión atmosférica
- Altura real
- Altura en función de la densidad
- Variómetro
- Campo magnético de la Tierra
- Cuadrante o aguja imantada
- Fecha, hora y cronómetro

2.1.11. Vehículo de prueba.

Para que un automóvil pueda ser elegible en el desarrollo de este tipo de pruebas, es de vital importancia que sea compatible con los dispositivos: CAN Edge 1: 2x registrador de datos de bus CAN (SD + RTC) y Skywatch GEOS 11. Es un requisito importante ya que se debe tener un registro de los datos que se produzcan durante la conducción en la ruta extraurbana Ventanas – Guanajuo.

2.1.11.1. Chery Arrizo 3 Versión 1,5 MT Confort.

El modelo Arrizo 3 ofrece un gran rendimiento en el camino, gracias a su desarrollada tecnología propia de Chery. Dicho automóvil se muestra a continuación [18]:



Figura 35. Chery Arrizo 3 Versión 1,5 MT Confort, [18].

El vehículo tiene dos opciones de transmisión al gusto del cliente, los cuales son: Confort y Lujo; estas características y demás detalles técnicos son presentados a continuación [23]:

- Posee un motor 1,5 litros Acteco, 4 cilindros y 107 caballos de fuerza.
- Capacidad del tanque de combustible: 42 litros.
- Posee una caja de cambios: 5-Mech
- Utiliza acero de alta resistencia en más del 60% de su chasis, con una rigidez superior a la del acero convencional que usan otras industrias.
- Equipado con dos airbags frontales, frenos delanteros y posteriores de disco con sistema ABS y EBD.
- Tiene un maletero con una capacidad de 502 litros.
- Tiempo de aceleración (0-100 km / h): 11,5 segundos.
- Consumo de combustible (ciclo extraurbano), litros por 100 km: 5,3
- Consumo de combustible (ciclo mixto), litros por 100 km: 6,3
- Consumo de combustible (ciclo urbano), litros por 100 km: 8

- **Motor 1,5 Litros Acteco SOHC – Chery Arrizo 3**

Este motor adopta la tecnología de sincronización de válvulas variables de escape y admisión, a través de la optimización de la sincronización de la distribución de los árboles de leva de escape y entrada, el funcionamiento del motor mejora bajo un rango más amplio de velocidad [18].

En la siguiente figura, se muestra un ejemplar del motor para el vehículo Chery Arrizo 3.



Figura 36. Motor 1,5 Litros Acteco SOHC, [18].

En la siguiente tabla, se muestran las características del motor Acteco SOHC.

Tabla 14. Características del Motor Acteco SOHC, [18].

MOTOR		
Tipo	Acteco SOHC	
Tipo de combustible	Gasolina - Extra	
Cilindros	4 en línea	
Relación de compresión	10,5:1	
Cilindrada	1497	cc
Potencia máxima	107	HP
Revoluciones a potencia máxima	6000	rpm
Torque máximo	140	Nm
Revoluciones a torque máximo	4500	rpm

- **Caja de cambios – Chery Arrizo 3**

Este vehículo posee una caja de cambios manual de cinco velocidades más el retroceso, acostumbra a tener tres ejes. El eje primario recibe el par motor a través del embrague y lo transmite al eje intermediario, el conductor debe alterar la transmisión a través de la palanca de cambios [18].

En la siguiente figura se muestra un ejemplar de la caja de cambios para el vehículo Chery Arrizo 3.



Figura 37. Caja de cambios del vehículo Chery Arrizo 3, [18].

En la siguiente tabla, se muestran las características de la transmisión.

Tabla 15. Características de la transmisión en el vehículo Chery Arrizo 3, [18].

TRANSMISIÓN	
Tipo de transmisión	Mecánica 5 vel. + retroceso
Rendimiento de la transmisión [ε]	0,975
Tiempo de aceleración (s) (0-100 km/h)	11,5 s
Velocidad máxima	175 km/h

- **Diferencial – Chery Arrizo 3**

El diferencial de este automóvil es un conjunto de engranajes clave dentro del sistema de transmisión, ya que, en líneas generales, permite que las ruedas motrices (entre la rueda interna y la rueda externa del vehículo) giren a distintas velocidades, evitando así problemas de tracción en las curvas [18].

En la siguiente figura, se muestra las partes principales que componen el conjunto diferencial del vehículo de estudio.

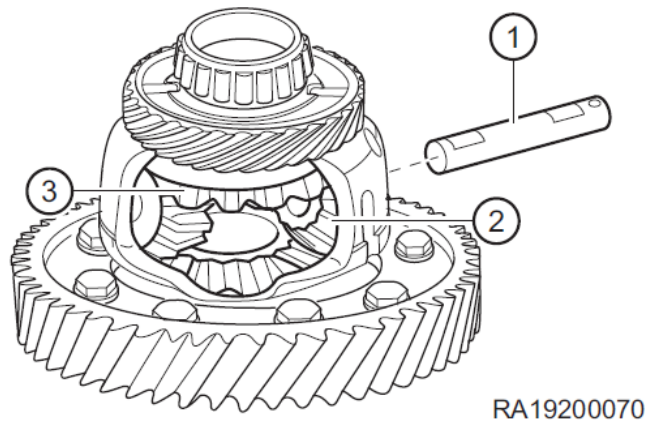


Figura 38. Conjunto diferencial del automóvil Chery Arrizo 3, [18].

Como tal este conjunto motriz se compone principalmente de: el eje del engranaje planetario (1), el engranaje planetario (2) y el engranaje del eje impulsor (3).

- **Ruedas motrices – Chery Arrizo 3**

Son aquellos neumáticos que transmiten la fuerza para que el automóvil avance o retroceda, lo más habitual entre los vehículos es que tengan tracción en las dos ruedas o 2×2, donde la tracción se puede manifestar en las ruedas delanteras que es lo más común o en las llantas traseras [18].

En la siguiente figura, se muestra un ejemplar del tipo de neumático en el automóvil.



Figura 39. Neumático 185/65 R15, [18].

En la siguiente tabla, se indica las características de este neumático.

Tabla 16. Características de la rueda motriz para este tipo de vehículo, [18].

NEUMÁTICOS		
Características del neumático	185/65 R15	
Radio nominal de rueda	0,3015	m
Diámetro nominal	0,60	m
Diámetro del Rin	15	in
Ancho	185	mm
Relación nominal de aspecto	0,6	%

- Dimensiones del vehículo – Chery Arrizo 3

En la siguiente figura se muestra las longitudes correspondientes al vehículo de prueba.



Figura 40. Dimensiones generales del vehículo de estudio, [18].

En la siguiente tabla, se muestra los parámetros del vehículo de prueba seleccionado:

Tabla 17. Parámetros del vehículo de prueba, [18].

ESPECIFICACIÓN	VALOR	UNIDADES
CARROCERÍA (Dimensiones, capacidades y peso)		
Masa en vacío [m_v]	1583	kg
Masa en prueba (+ 3 personas) [m_p]	1812	kg
Longitud total	4450	mm
Ancho total	1748	mm
Alto total	1493	mm
Capacidad del tanque de combustible	42	litros
Capacidad de carga	375	kg
AERODINÁMICA		
Área frontal [A_f]	2,60	m ²
Coefficiente aerodinámico [C_x]	0,4	
Gravedad [g]	9,81	m/s ²
Coefficiente de rodadura [μ]	0,015	
Factor de mayoración de masa [γ]	1,042	

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización.

Este proyecto se desarrolla en la ruta Ventanas - Guanajuo la cual posee una distancia de 78,4 km entre ambas ciudades, donde se registrarán todos los datos producto de las pruebas en tiempo real.

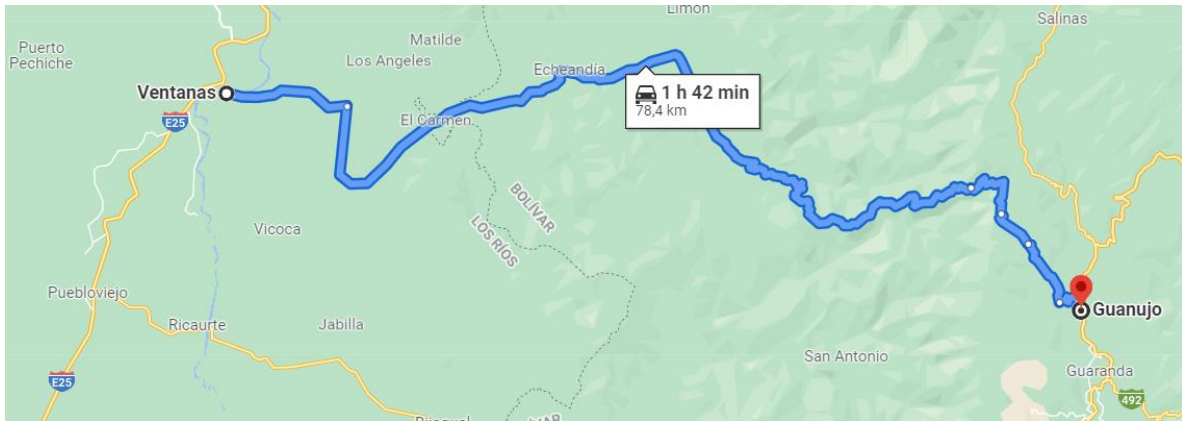


Figura 41. Ruta extraurbana Ventanas – Guanajuo, [24].

3.2. Tipos de investigación.

3.2.1. Investigación descriptiva

Se realizará el análisis de los datos obtenidos mediante las pruebas de conducción para determinar la influencia de la orografía sobre el consumo de energía en vehículos tipo sedán a partir de rutas experimentales extraurbanas de alto gradiente.

3.2.2. Investigación bibliográfica.

Se reunirá la información idónea para la adaptación correcta de los artefactos en el vehículo, además de la transferencia de los datos hacia un ordenador específico de trabajo. Todo aquello se compilará a través de documentos digitales, libros, artículos científicos, entre otros.

3.2.3. Investigación de campo.

Una vez que se adapten los dispositivos en el vehículo experimental, se desarrollarán algunas pruebas de conducción con el fin de registrar todos los valores posibles que posteriormente serán incluidos en un análisis pertinente.

3.3. Métodos de la investigación.

3.3.1. Método Analítico.

Se llevará a cabo un registro de los datos, para el análisis de la información obtenida con el fin de determinar el consumo de energía del vehículo liviano en las pruebas de conducción en tiempo real.

3.3.2. Método Inductivo.

Se desarrollará en base a las indicaciones usuales para la manipulación de los aparatos electrónicos en la ejecución de experimentos en la ruta extraurbana.

3.3.3. Método Experimental.

Las pruebas realizadas en el vehículo generarán datos que serán empleados en posteriores cálculos. Además, se realizará la comparación adecuada entre los valores estandarizados y reales del vehículo en prueba con respecto al consumo de energía y combustible.

3.4. Fuentes de recopilación de la información.

Fuentes secundarias: Este tipo de información proviene de los estudios relacionados con las fuentes primarias, como tal, se puede considerar el uso de libros, revistas, entre otros; para llevar a cabo el proceso de indagación.

3.5. Diseño de la investigación.

3.5.1. Diseño experimental.

Para el desarrollo de la presente investigación, se organiza las actividades correspondientes y necesarias para determinar el consumo energético y de combustible del automóvil liviano en tiempo real, luego de recorrer la ruta extraurbana Ventanas - Guanujo, en donde se desarrollarán varias pruebas empleando los dispositivos de medición de variables tales como la velocidad, humedad relativa, temperatura, presión atmosférica, entre otros.

Posteriormente, la transferencia de datos se lleva cabo mediante la vinculación de los dispositivos de medición con la computadora portátil. Una vez que se haya producido la correcta conexión los registros de cada aparato tecnológico se almacenaran en una hoja de datos propia de Microsoft Excel para su posterior análisis y obtención de gráficas descriptivas.

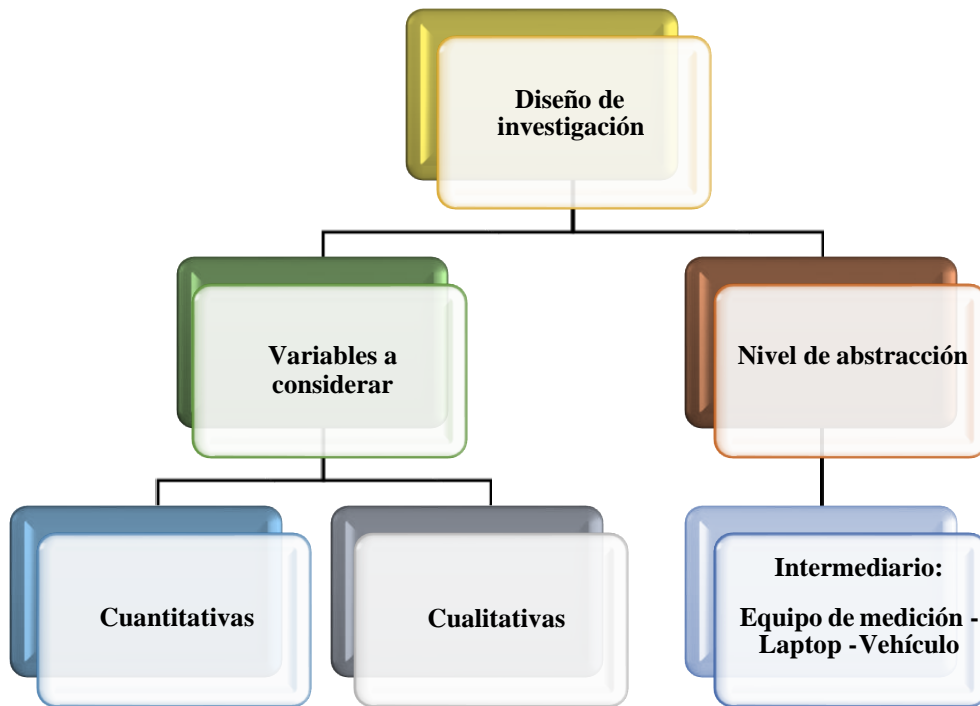


Figura 42. Diseño de investigación.

3.6. Instrumentos de investigación.

Para que el proyecto se desarrolle a plenitud se utilizará herramientas de investigación tales como:

- Libros, revistas y artículos científicos
- Observación de campo
- Paquetes estadísticos

3.7. Tratamiento de los datos.

Los valores obtenidos luego de los ensayos experimentales serán organizados y analizados mediante:

- Microsoft Excel

3.8. Recursos humanos y materiales.

3.8.1. Recursos humanos.

- Tutor del proyecto de investigación:
 - Ing. Edison Marcelo Mancheno Padilla
- Autor:
 - Kevin Leonel Maldonado Ruiz

3.8.2. Recursos materiales.

- Equipos:
 - Can Edge 1 OBD: 2
 - Can Mod: GPS
 - Estación meteorológica portátil Skywatch GEOS 11
 - Automóvil
- Materiales:
 - Hojas
 - Libros
 - Internet
 - Computadora
 - Calculadora
 - Esferos
- Software:
 - Microsoft Excel
 - Microsoft Word
 - Asammdfgui_windows
 - Skywatch Log
 - AutoCAD

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultados.

Las pruebas experimentales se realizaron en la ruta extraurbana desde la ciudad de Ventanas hasta la localidad de Guanujo. Estos sitios sirvieron como punto de referencia para evidenciar el comportamiento del vehículo junto con el consumo de energía y combustible producto del tránsito vehicular entre las regiones de la Costa y Sierra.

Cabe destacar la importancia de la orografía de esta ruta extraurbana, la cual comprende ciertos tramos en la carretera en donde la pendiente fue notable con valores promedio en la Región Costa del 2,04% y en la Región Sierra del 8,91%, esto evidencia que el trayecto del viaje presentó cambios de altitud debido al cruce entre las regiones antes mencionadas.

En las siguientes páginas, se explicará el proceso correspondiente al tratamiento de los datos obtenidos, el estudio de los factores aerodinámicos y la influencia que ha tenido la orografía de la ruta en conjunto con el factor climático en el consumo de energía y combustible del vehículo liviano Chery Arrizo 3 Versión 1,5 litros MT Confort.

4.1.1. Tratamiento de los datos experimentales.

La obtención y registro de los datos fue posible gracias al uso de dispositivos tecnológicos tales como: Can Edge 1: 2x registrador de datos de bus can (sd + rtc) y la Estación portátil multifunción skywatch GEOS 11.

Estos aparatos midieron en tiempo real, los parámetros que se presentan a continuación:

Tabla 18. Variables evaluadas por los dispositivos Skywatch y Can Edge 1, [21].

Skywatch Geos 11	Can Edge 1: 2x registrador de datos de bus can
Velocidad del viento media (km/h)	Par motor (Nm)
Sensor de temperatura (°C)	Temperatura del refrigerante del motor(°C)
Sensor de humedad relativa (%rH)	Presión Absoluta del colector de admisión (kPa)
Sensor de presión (hPa)	RPM del motor (rpm)
Presión QNH (hPa)	Velocidad del vehículo (km/h)
Altitud real (m)	Temperatura del aire de admisión (°C)

Las variables que se ajustaron al proceso de estudio, fueron incluidas en una hoja de Excel la cual fue generada mediante el uso de programas especiales tales como: Asammdfgui_windows y Skywatch Log. Estas aplicaciones informáticas crearon una vinculación de datos proveniente de los dispositivos electrónicos hacia una computadora para un posterior tratamiento y selección de valores.

La interfaz de estos programas se indica en las figuras 43 y 44:

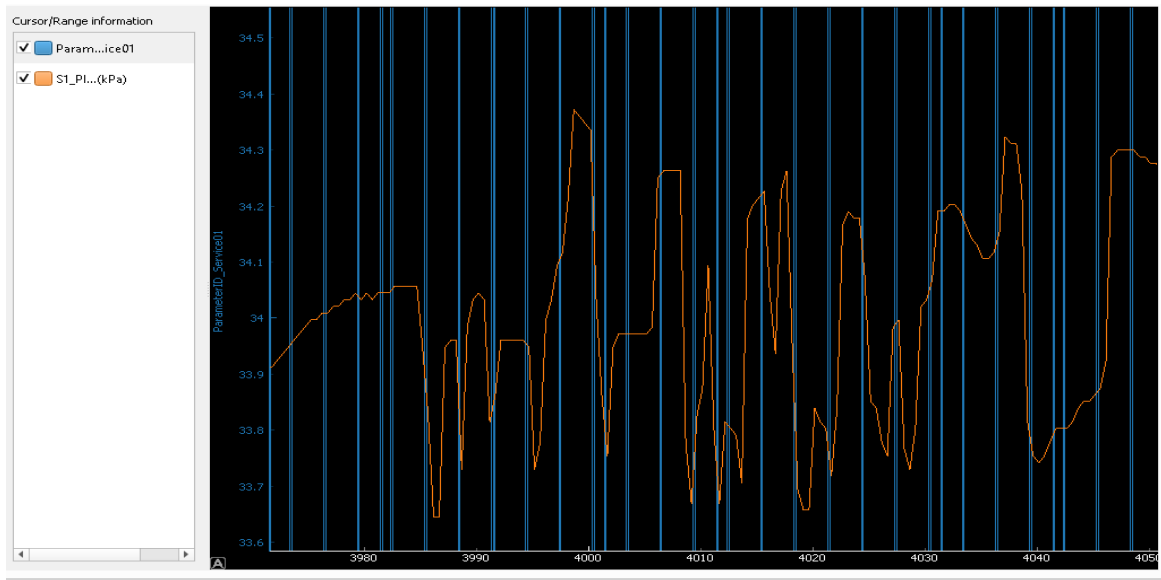


Figura 43. Interfaz del programa Asammdfgui_windows.

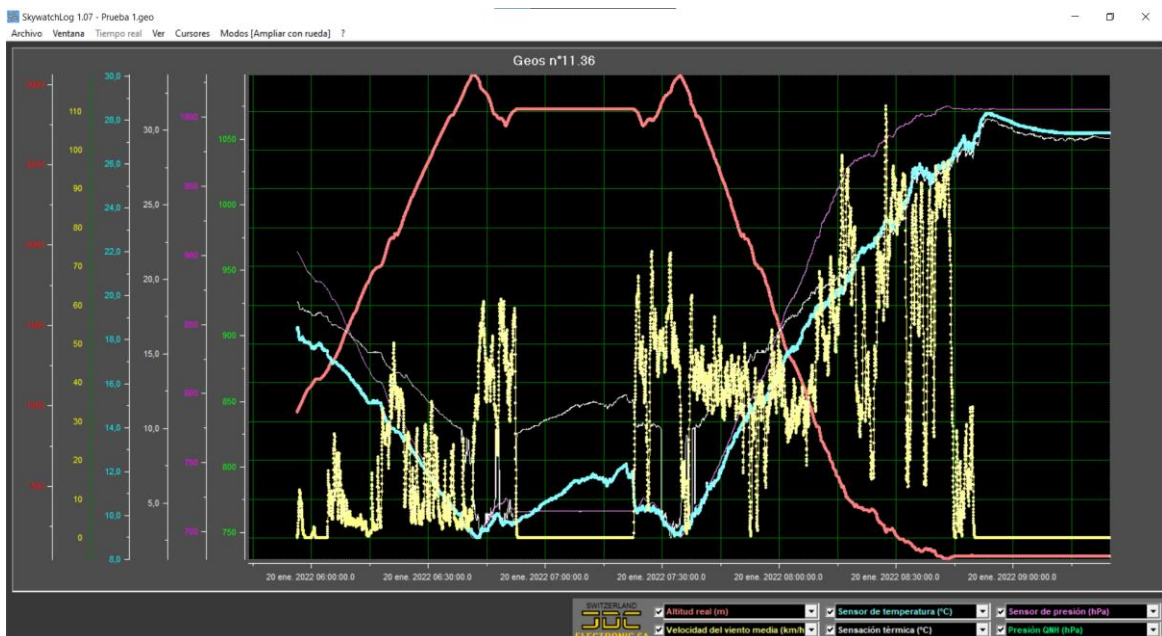


Figura 44. Interfaz del programa Skywatch Log.

Las gráficas anteriormente mostradas indican la variación de los valores correspondientes a los parámetros de: temperatura, presión QNH, humedad relativa, altitud real, entre otros. Tales factores fueron importantes para desarrollar el cálculo respectivo en las hojas de Excel como base de datos predeterminado por los dispositivos tecnológicos.

El fichero de datos de Excel almacenó miles de datos producto de las pruebas en la ruta extraurbana Ventanas – Guanaju, tales experimentos fueron realizados con éxito cuatro veces.

En la figura 45, se muestra un fichero de Excel que contiene los valores experimentales de una de las pruebas realizadas:

	A	B	C	D	E	F	G
	Fecha	Hora	Segundo (s)	Velocidad del vehículo (km/h)	Velocidad del vehículo (m/s)	Aceleración	Distancia cada segundo (m)
2	20/1/2022	10:13:00	00	0	0,00	0,28	0,00
3	20/1/2022	10:13:01	01	1	0,28	0,56	0,28
4	20/1/2022	10:13:02	02	3	0,83	0,28	0,83
5	20/1/2022	10:13:03	03	4	1,11	0,28	1,11
6	20/1/2022	10:13:04	04	5	1,39	0,28	1,39
7	20/1/2022	10:13:05	05	6	1,67	0,00	1,67
8	20/1/2022	10:13:06	06	6	1,67	0,28	1,67
9	20/1/2022	10:13:07	07	7	1,94	0,56	1,94
10	20/1/2022	10:13:08	08	9	2,50	0,28	2,50
11	20/1/2022	10:13:09	09	10	2,78	0,00	2,78
12	20/1/2022	10:13:10	10	10	2,78	0,83	2,78
13	20/1/2022	10:13:11	11	13	3,61	0,40	3,61
14	20/1/2022	10:13:12	12	14	4,01	0,07	4,01
15	20/1/2022	10:13:13	13	15	4,08	0,00	4,08
16	20/1/2022	10:13:14	14	15	4,08	-0,03	4,08
17	20/1/2022	10:13:15	15	15	4,06	1,33	4,06
18	20/1/2022	10:13:16	16	19	5,39	-0,08	5,39

Figura 45. Fichero con datos experimentales.

Como tal, los aparatos tecnológicos registraron un dato por cada segundo que duró la prueba de ruta. La hoja de Excel al final del día mostró miles de datos que fueron tratados con el fin de estimar el consumo de energía y combustible propios del vehículo liviano. El promedio de tiempo en realizar una prueba de conducción (Ida y Regreso) en la ruta Ventanas – Guanaju fue de 2 horas con 54 minutos.

A continuación, se indica en la tabla 19 el tiempo empleado en el desarrollo de cada una de las pruebas de ruta.

Tabla 19. Tiempo empleado en el desarrollo de las pruebas de ruta Ventanas – Guanujo.

N°	Prueba realizada	Duración (s)	Duración (h)	Tiempo total (h)
1	Ida hacia Guanujo	5914	1:38	2:58
	Regreso hacia Ventanas	4778	1:19	
2	Ida hacia Guanujo	5435	1:30	2:59
	Regreso hacia Ventanas	5337	1:28	
3	Ida hacia Guanujo	5434	1:30	3:06
	Regreso hacia Ventanas	5769	1:36	
4	Ida hacia Guanujo	4962	1:22	2:32
	Regreso hacia Ventanas	4189	1:09	

En los ficheros de Excel se realizó el cálculo de nuevas variables tales como: densidad del aire, aceleración del vehículo, pendiente, resistencia aerodinámica, resistencia a la rodadura, resistencia gravitatoria, fuerza neta, fuerza de tracción y potencia de tracción.

Estos parámetros no se vieron reflejados en los archivos que generaron los aparatos de medición, por lo que fue necesario el uso de fórmulas para obtener los valores indicativos y de esta forma describir el comportamiento del vehículo al transitar por la ruta extraurbana.

A continuación, se indican los parámetros involucrados en el estudio del vehículo de prueba.

Tabla 20. Parámetros de estudio en el automóvil de prueba.

PARÁMETRO	UNIDAD
Velocidad del vehículo	km/h
Aceleración	m/s ²
Pendiente	%
Temperatura del aire	°C
Humedad relativa	%rH
Presión atmosférica (QNH)	hPa
Altitud real	m
Densidad del aire	kg/m ³
Resistencia a la rodadura	N
Resistencia aerodinámica	N
Resistencia gravitatoria	N
Fuerza Neta	N
Fuerza de tracción	N
Potencia de tracción	kW

4.1.2. Perfil de velocidad.

Luego de haber realizado las pruebas en la ruta extraurbana Ventanas – Guanajuo, se obtuvieron los siguientes perfiles de velocidad en tiempo real. Tales gráficos permiten identificar el comportamiento del conductor al momento de transitar por estas vías y, además, en un posterior análisis determinar la influencia de la orografía en este tipo de experimento automovilístico.

En las figuras 46 y 47, se muestran los perfiles de velocidad de ida y regreso en la ruta extraurbana Ventanas – Guanajuo.

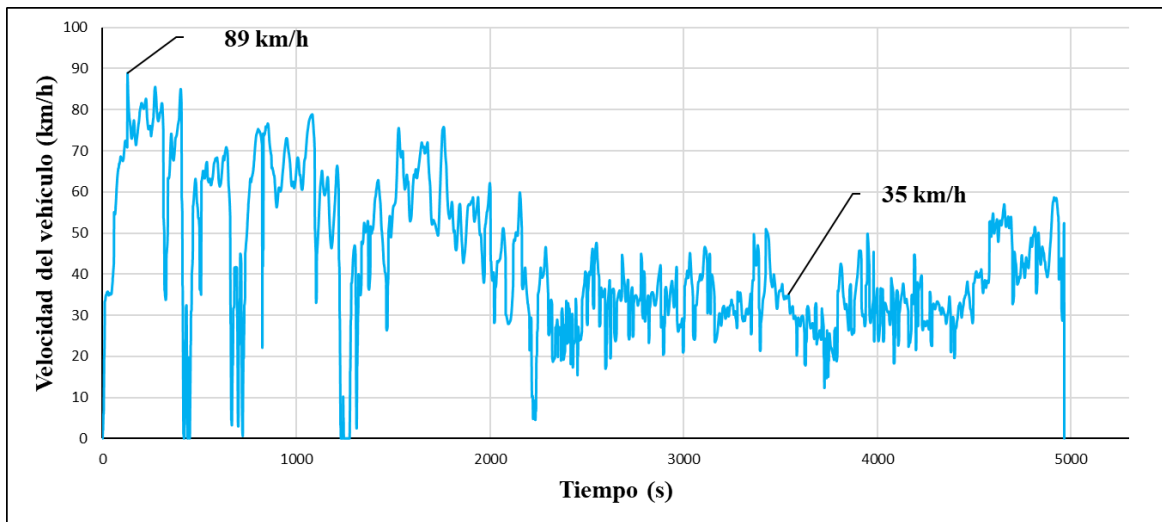


Figura 46. Perfil de velocidad - Ida hacia Guanajuo.

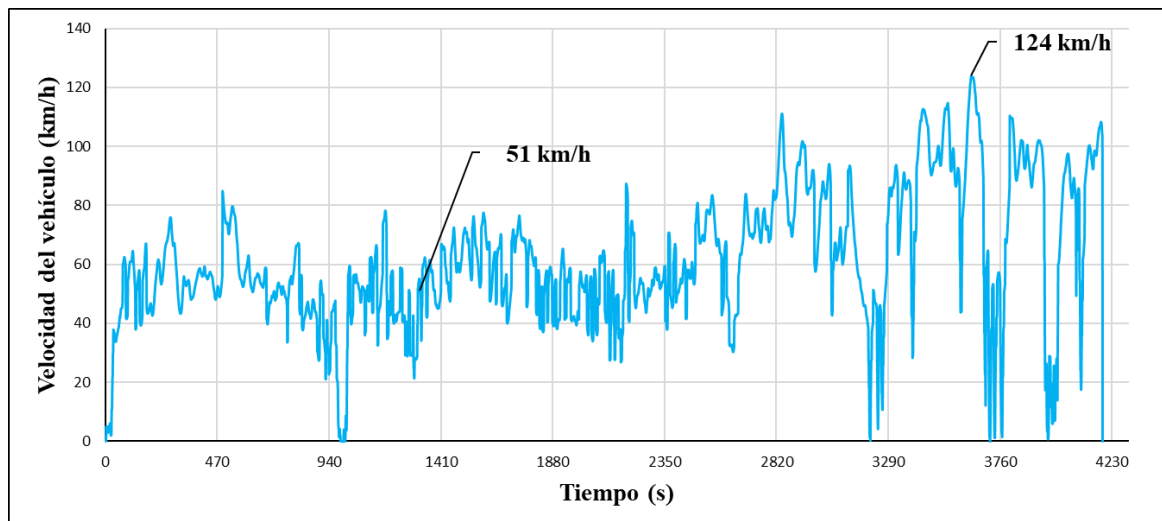


Figura 47. Perfil de velocidad - Regreso hacia Ventanas.

Debido a que la investigación se centra en el estudio de la orografía en la ruta extraurbana, se indica a continuación las incidencias que ha tenido esta variable en el comportamiento del conductor al momento de circular por la carretera.

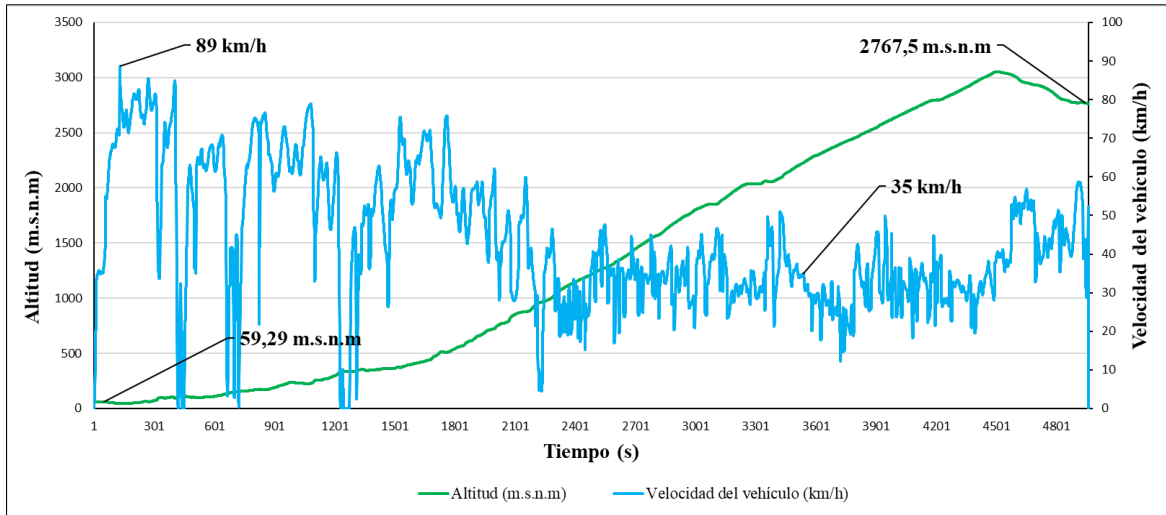


Figura 48. Perfiles de velocidad y altitud - Ida hacia Guanajuato.

En la figura 48, se puede evidenciar que el conductor incrementa la velocidad del vehículo hasta un tope de 89 km/h en los primeros kilómetros de la prueba de ida hacia Guanajuato, puesto que aún se encuentra transitando en una carretera que no posee un alto índice de pendiente.

Además, las condiciones climáticas de la zona favorecieron para que el conductor pueda circular con normalidad en un entorno despejado.

Sin embargo, la gráfica presenta un descenso en cuanto a la velocidad del automóvil hasta un promedio de 35 km/h a medida que se da el cruce desde la Región Costa hacia la Región Sierra, es decir, en los kilómetros finales del recorrido de la ruta Ventanas - Guanajuato.

El clima propio de la zona fue muy distinto al del punto de inicio de la prueba, ya que hubo la presencia de una densa neblina acompañada con leves lluvias.

La orografía del lugar tuvo varios tramos de ascenso y descenso en pendientes, curvas pronunciadas, curvas cerradas y reductores de velocidad.

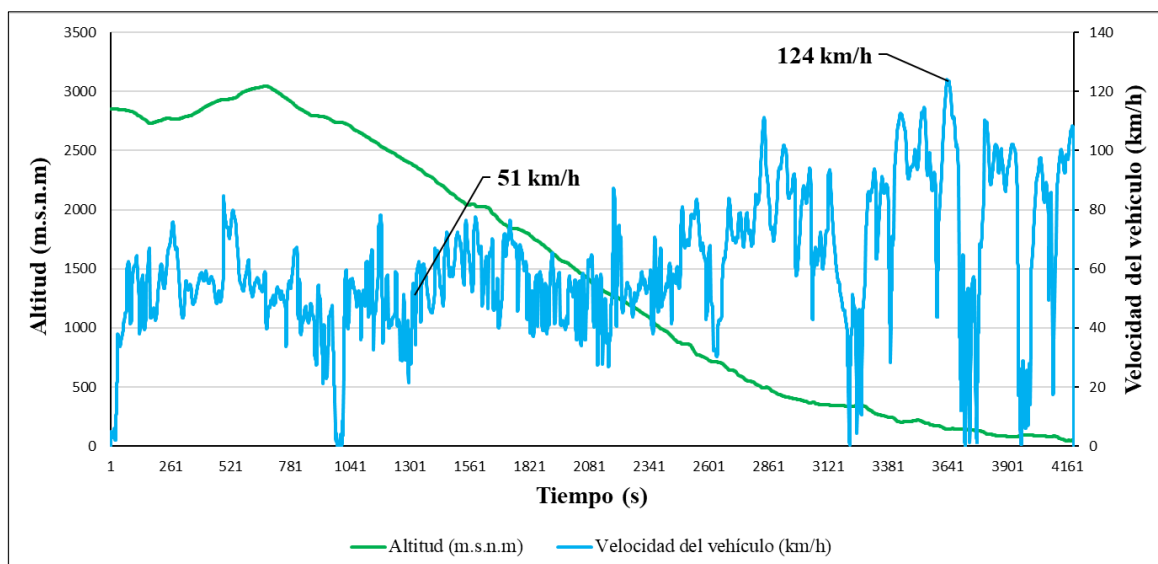


Figura 49. Perfiles de velocidad y altitud - Regreso hacia Ventanas.

En la figura 49, se puede evidenciar que el conductor reduce la velocidad del vehículo en los primeros kilómetros de la prueba de regreso hacia Ventanas, puesto que la orografía del lugar tuvo tramos de ascenso y descenso en pendientes, curvas pronunciadas, curvas cerradas; además, el factor climático y las condiciones del tráfico motivaron a un manejo con total precaución.

En los kilómetros finales de la ruta Ventanas – Guanaju, se presenta un incremento en la velocidad del automóvil ya que se ha pasado desde la Región Sierra a la Región Costa, en donde, las condiciones del entorno facilitaron aún más el desarrollo de la prueba con normalidad.

A continuación, se muestra los parámetros correspondientes al ciclo de conducción en tiempo real del presente proyecto de titulación.

Tabla 21. Características del ciclo de conducción del proyecto de titulación.

Características del ciclo de conducción del proyecto de titulación

Distancia recorrida (km)	78,4
Duración (s)	4962
Velocidad media (km/h)	43,54

4.1.3. Influencia de la orografía de rutas extraurbanas experimentales con alto índice de pendiente sobre la resistencia gravitatoria.

La ruta extraurbana Ventanas – Guanujo es fundamental para conocer el comportamiento del vehículo en base al estudio de las diversas resistencias que suelen presentarse a lo largo del desplazamiento.

El factor aerodinámico de mayor relevancia para el presente estudio es la resistencia gravitatoria que como tal posee un parámetro esencial que hace referencia a la pendiente que presenta una superficie.

La ecuación 6 que mide a esta resistencia, se muestra a continuación:

$$R_g = m_p * g * \sin \theta \quad \text{Ecuación 6.}$$

Donde:

- R_g = Resistencia gravitatoria (N)
- m_p = Masa de prueba (kg)
- g = Gravedad (m/s^2)
- θ = Ángulo de la pendiente en grados ($^\circ$).

En la figura 50, se muestra la variación del porcentaje de la pendiente durante el recorrido de la ruta extraurbana Ventanas –Guanujo.

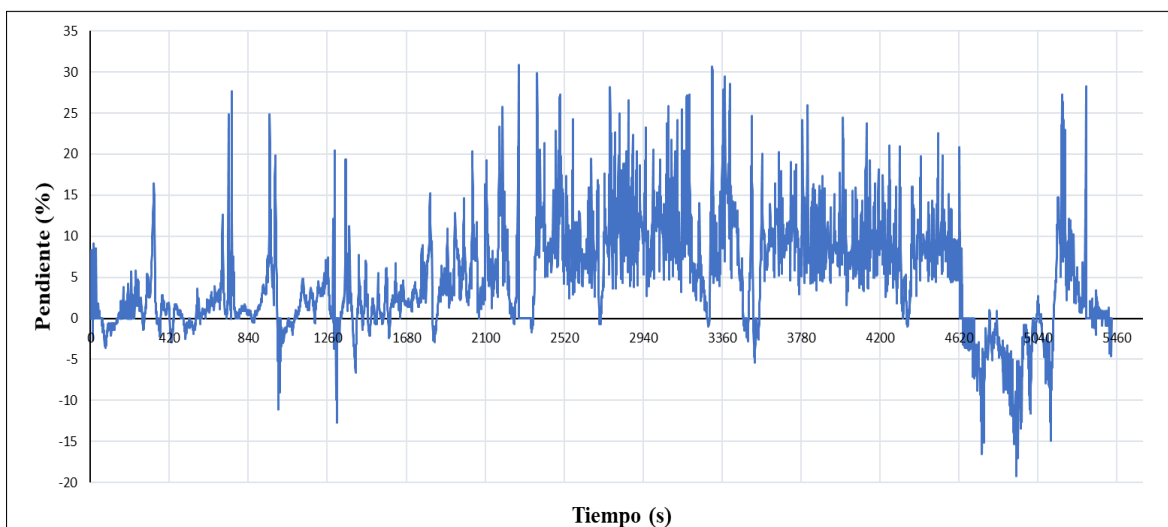


Figura 50. Variación del porcentaje de la pendiente en la ruta de ida hacia Guanujo.

En la gráfica anterior se puede evidenciar que en los kilómetros iniciales de la prueba desde Ventanas existen bajos valores de inclinación en la pendiente con un promedio del 2,04%, sin embargo, a medida que se da el ingreso a la Región Sierra la orografía del lugar cambia debido a que hay varios tramos con un incremento constante en el valor de la pendiente con un valor promedio de 8,91%, en donde el vehículo a su vez debe realizar un mayor trabajo para superar los desniveles propios de la carretera.

La resistencia por pendiente o gravitatoria, tiene lugar cuando el vehículo se desplaza cuesta arriba y la fuerza opuesta que se genera es directamente proporcional al peso del vehículo y el ángulo de la pendiente. En base a esto, luego de haber realizado las pruebas de conducción en la ruta extraurbana se obtuvieron gráficos que describen el comportamiento del vehículo y ofrecen un mayor entendimiento con respecto a la influencia de la orografía.

En la figura 51, se muestra la resistencia gravitatoria perteneciente a la prueba de ida hacia Guanaju.

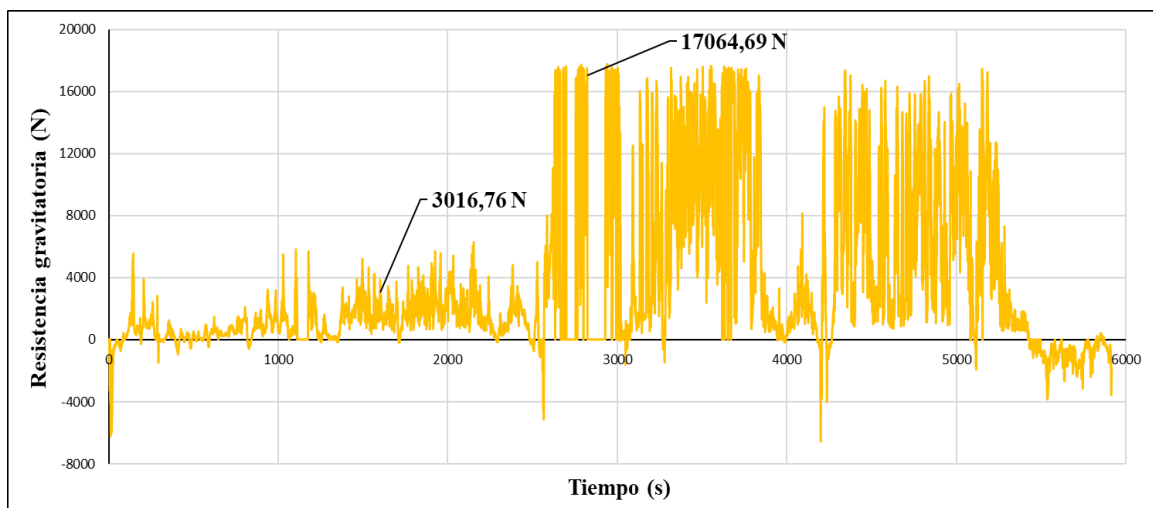


Figura 51. Resistencia gravitatoria - Ida hacia Guanaju.

De acuerdo con la figura 51 mostrada anteriormente, es evidente que los valores de resistencia gravitatoria son bajos en los primeros kilómetros del recorrido de ida en la ruta Ventanas – Guanaju con un valor promedio de 3016,76 N. Sin embargo, a medida que se transita por las poblaciones como Guanaju en la Región Sierra los valores de la resistencia gravitatoria han subido hasta un valor promedio de 17064,69 N.

La siguiente gráfica indica la incidencia que ha tenido la pendiente (%) de esta ruta extraurbana en la resistencia gravitatoria:

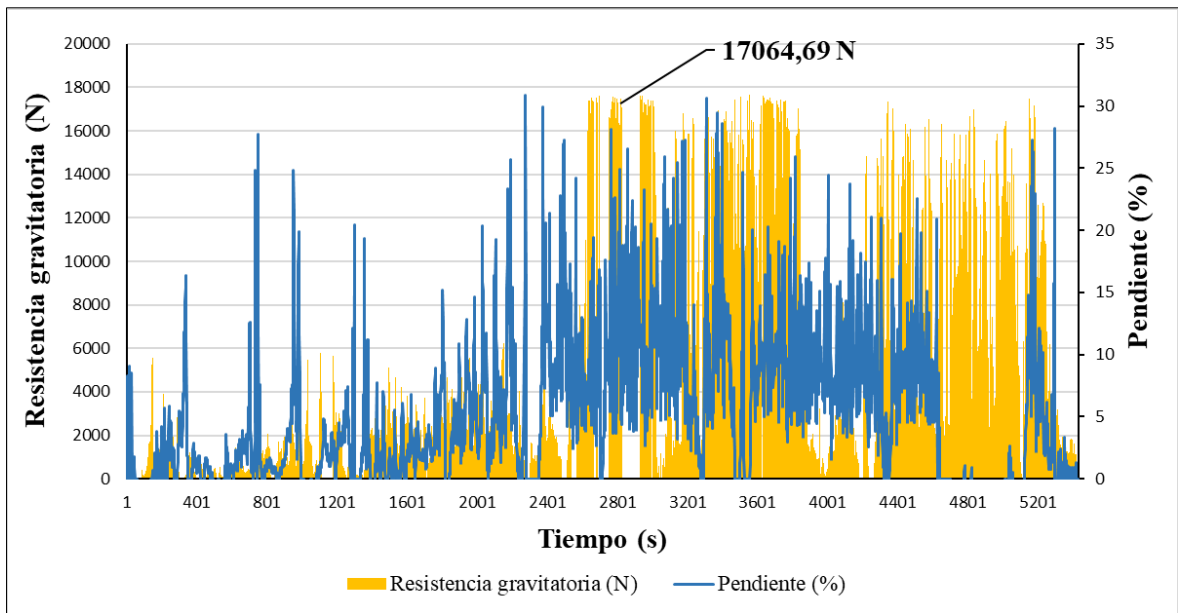


Figura 52. Resistencia gravitatoria vs Pendiente (%).

Tal como lo demuestra la figura anterior, el valor de la resistencia gravitatoria incrementó su valor paulatinamente al recorrer los tramos con mayor porcentaje de pendiente que suele ser una característica de la orografía en la Región Sierra.

En la figura 53, se muestra la resistencia gravitatoria registrada en la prueba de regreso hacia Ventanas.

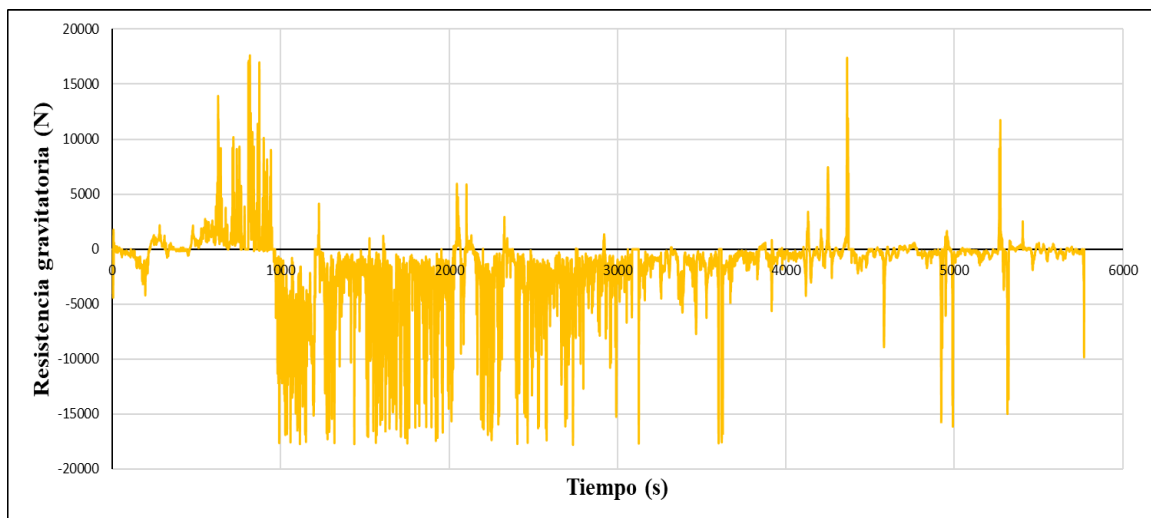


Figura 53. Resistencia gravitatoria - Regreso hacia Ventanas.

De acuerdo con la figura 53 mostrada anteriormente, se puede apreciar que la resistencia gravitatoria a lo largo de la prueba de regreso en la Ruta Ventanas – Guanujo posee valores bajos e inclusive presenta cifras negativas en su mayoría que dan a entender que el sistema dinámico del vehículo ha obtenido un plus en cuanto al desplazamiento puesto que el descenso en la vía impulsa de mejor manera el vehículo y con ello evita un mayor trabajo por parte del automotor.

Estas variaciones son producto de la orografía que presenta cada tramo de la ruta, es por ello que en los kilómetros finales de la prueba de ida hacia Guanujo (figura 51) se evidencia mayores valores de esta resistencia gravitatoria ya que han existido montañas con pendientes de subida y bajada (ver figura 48) que han exigido un mayor trabajo por parte del vehículo; a contra parte de las ciudades como Ventanas en la Región Costa en donde las carreteras tienen una morfología tipo llano.

Luego de haber analizado esta resistencia aerodinámica, es importante abordar las otras resistencias aerodinámicas que forman parte del sistema dinámico del automóvil tal y como se observa en la figura 54. A continuación, se analizará los resultados relacionados con las demás cargas aerodinámicas.

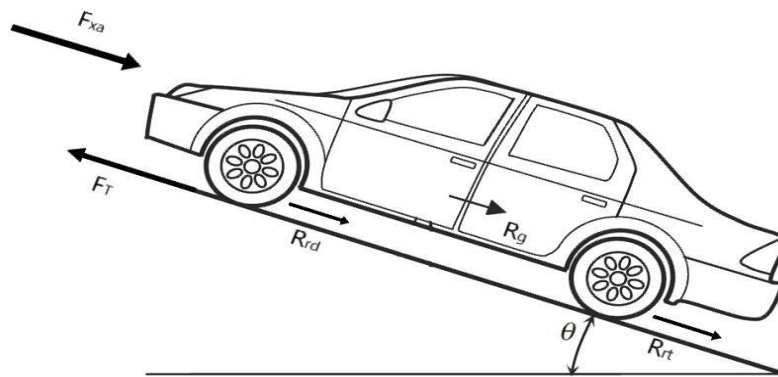


Figura 54. Fuerzas actuantes en el sistema dinámico vehicular.

4.1.3.1. Resistencia aerodinámica en la ruta extraurbana Ventanas – Guanujo.

Este tipo de resistencia tiene una relación directa tanto con el factor climático de la zona como de la morfología del vehículo y la velocidad con la que se desplaza. Esta carga aerodinámica es cuantificable con la siguiente ecuación:

$$F_{xa} = \frac{1}{2} \rho_a C_x A_f V^2$$

Ecuación 5.

Donde:

- F_{xa} = Resistencia aerodinámica (N)
- ρ_a = Densidad del aire (kg/m^3)
- C_x = Coeficiente aerodinámico
- A_f = Área frontal del vehículo (m^2)
- V = Velocidad del vehículo (m/s)

En las figuras 55 y 56, se indican las variaciones de presión y densidad del aire en la ruta extraurbana de ida Ventanas – Guanajuo.

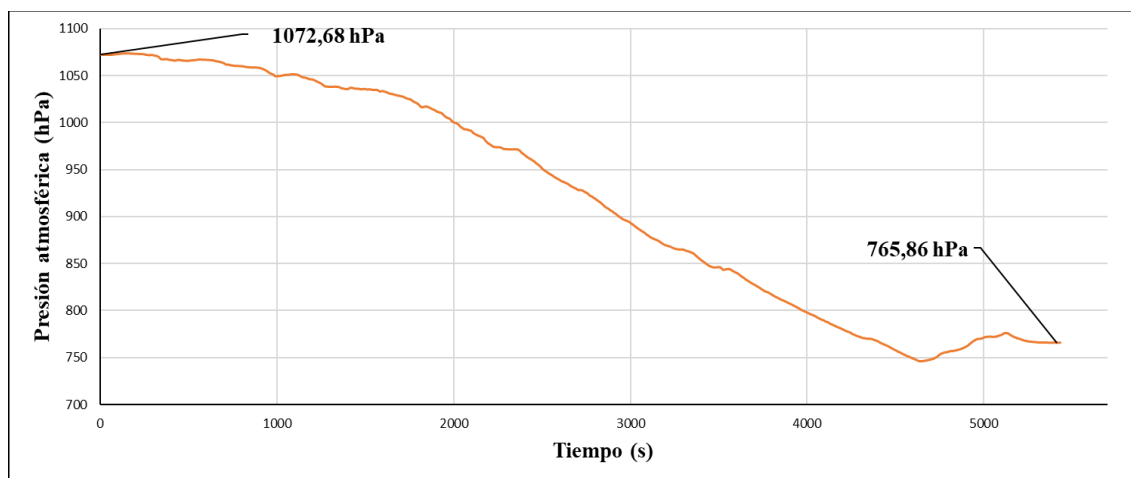


Figura 55. Variación de la presión en la prueba de ida hacia Guanajuo.

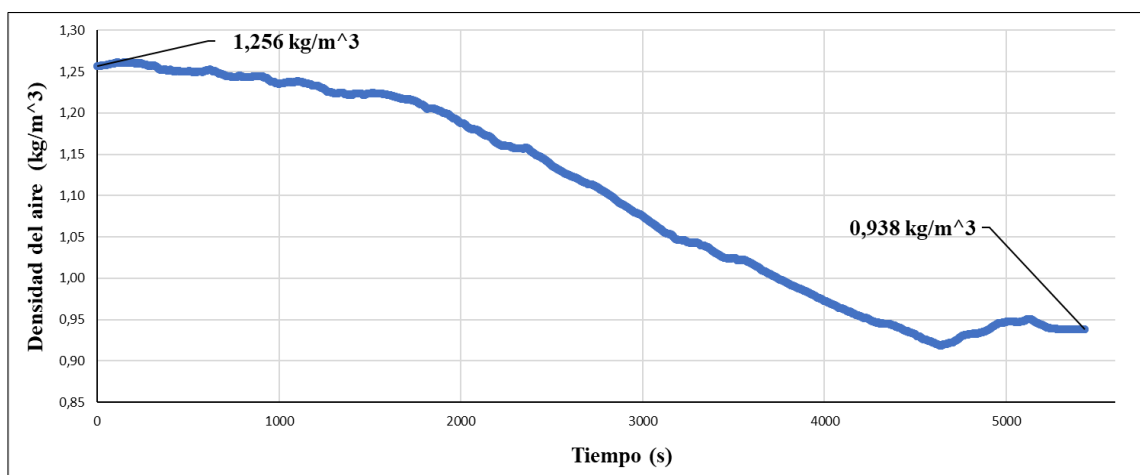


Figura 56. Variación de la densidad del aire en la prueba de ida hacia Guanajuo.

Las gráficas anteriores dan a entender que, en las ciudades como Ventanas con una altura (65 m.s.n.m.) cercana al nivel del mar, tienen una mayor presión atmosférica y densidad del aire. Sin embargo, existen ciudades como Guanajuo con una altura (2923 m.s.n.m.) en la

Región Sierra que presentan una baja presión atmosférica y una menor densidad del aire debido a que en estas condiciones hay poco oxígeno en el entorno.

En el sentido de regreso durante la prueba de conducción extraurbana, las gráficas cambian en su aspecto de manera invertida. Tal y como se indica en las figuras 57 y 58.

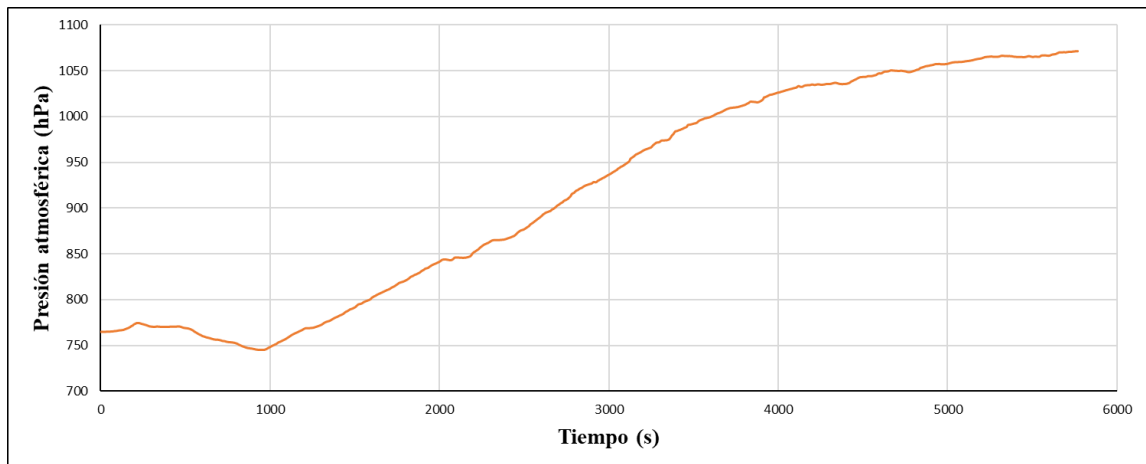


Figura 57. Variación de la presión en la prueba de regreso hacia Ventanas.

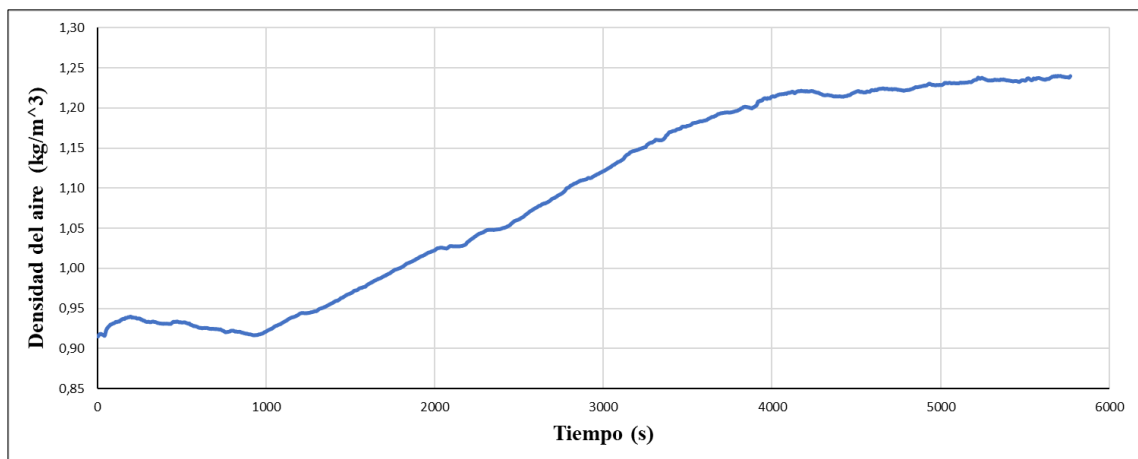


Figura 58. Variación de la densidad del aire en la prueba de regreso hacia Ventanas.

El área frontal del vehículo de prueba fue estimada con la ecuación del área de un rectángulo con el fin de abordar toda la superficie de contacto con el aire durante el experimento en la ruta extraurbana.

El valor del área frontal fue de 2,21 m² esto mediante el uso del software AutoCAD, tal y como se muestra en la figura 59.

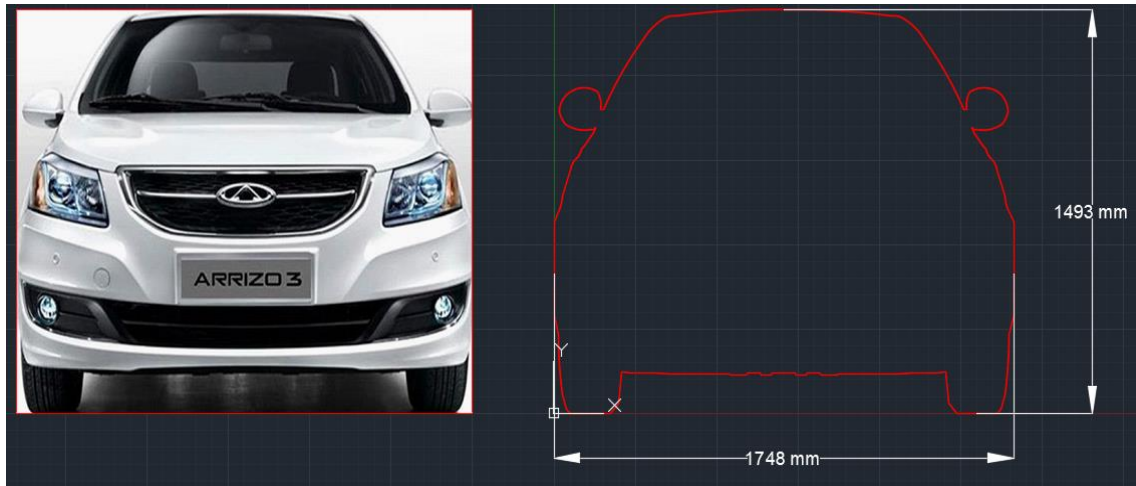


Figura 59. Área frontal del vehículo liviano Cherry Arrizo 3.

La resistencia aerodinámica del vehículo tuvo variaciones durante el recorrido de la ruta Ventanas – Guanajuato, los factores que han influido en esta fuerza fueron mencionados anteriormente por lo que con el uso de la ecuación 5 se han obtenido los gráficos de dispersión que se indican a continuación.

En la figura 60, se muestra la variación de la resistencia aerodinámica en el sentido de ida en la ruta extraurbana Ventanas – Guanajuato.

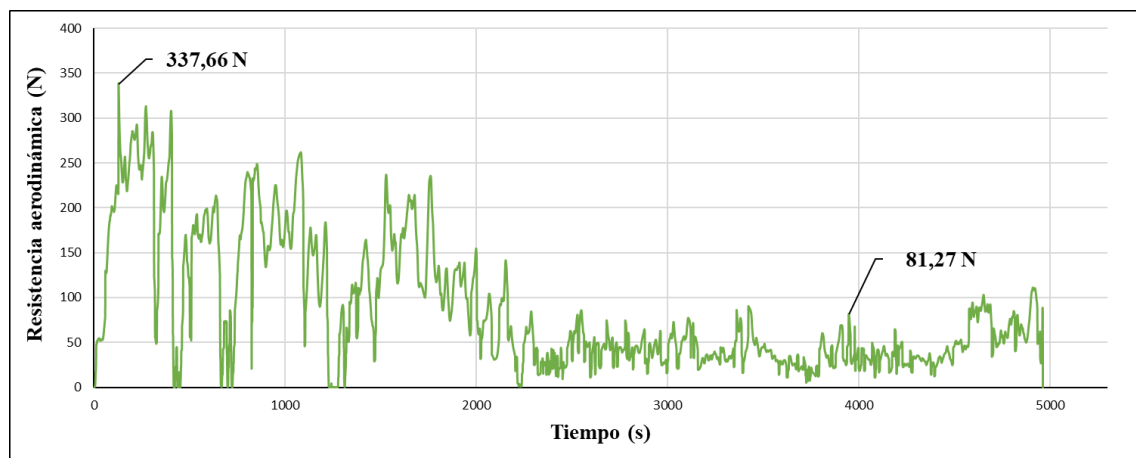


Figura 60. Resistencia aerodinámica en la prueba de ida hacia Guanajuato.

De acuerdo con la figura 60, en los primeros kilómetros de la prueba de conducción desde Ventanas que presentaba mayor densidad del aire ($1,256 \text{ kg/m}^3$) el valor de la resistencia aerodinámica fue de $337,66 \text{ N}$; mientras que en las poblaciones cercanas al punto final del recorrido en Guanajuato ($0,938 \text{ kg/m}^3$) la resistencia aerodinámica fue de $81,27 \text{ N}$. Esto significa una considerable reducción del $75,93\%$ de la fuerza que se opone al movimiento del vehículo.

Como tal, esto se debe a que la diferencia de alturas sobre el nivel del mar entre ambas ciudades como Ventanas y Guanujo es evidente ya que se pasa desde los 65 m.s.n.m. a 2923 m.s.n.m.

En la figura 61, se indica la variación de la resistencia aerodinámica presentada en el sentido de regreso en la ruta Ventanas – Guanujo.

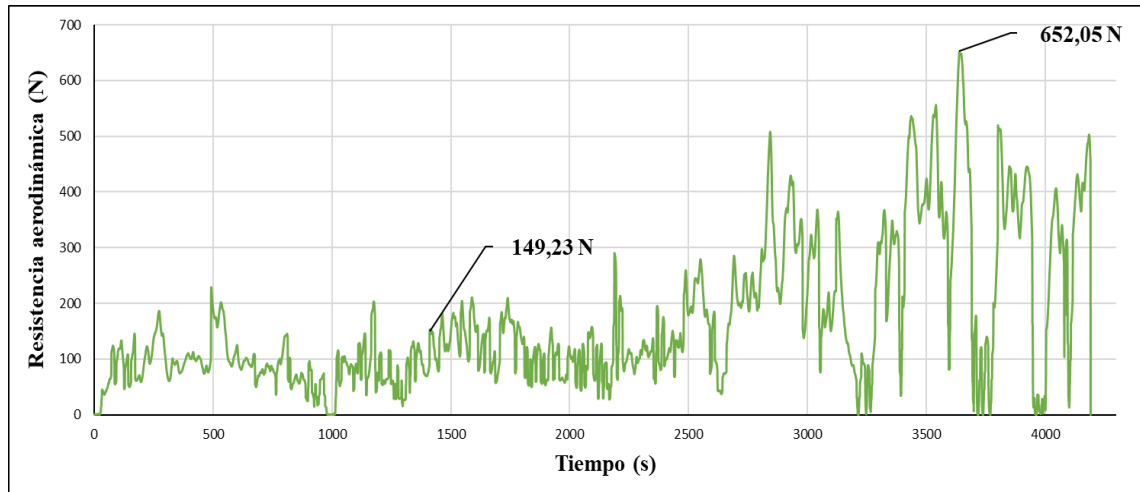


Figura 61. Resistencia aerodinámica en la prueba de regreso a Ventanas.

La figura 61, representa la variación de esta fuerza aerodinámica debido al cambio de las condiciones ambientales y la orografía de la ruta.

Nótese que existe un gran incremento en el valor de la resistencia aerodinámica puesto que, la prueba de regreso parte desde la ciudad de Guanujo en la Región Sierra con una menor presencia de oxígeno y presión atmosférica, hacia la ciudad de Ventanas en la Región Costa que principalmente tiene mayor densidad del aire y, por lo tanto, representa más oposición a que el vehículo liviano pueda desplazarse en este entorno.

Cabe destacar que al igual que la figura 47 mostrada anteriormente, la velocidad que ha adquirido el vehículo es también determinante puesto que existen diversos factores tales como: el clima, condiciones de la calzada, operativos de control, obstáculos en la vía, tránsito vehicular e incluso los cruces de animales (ej. ganado vacuno) provenientes de zonas aledañas especialmente en la región andina; que inciden en la conducción del automóvil con normalidad.

4.1.3.2. Resistencia a la rodadura en la ruta extraurbana Ventanas – Guanaju.

Es una resistencia que surge en el contacto directo de las ruedas con el piso por el cual transita, por lo que en las pruebas experimentales realizadas se ha obtenido el valor correspondiente a este parámetro de estudio.

Para ello se ha utilizado la siguiente ecuación con el objetivo de medir esta variable aerodinámica:

$$R_r = m_p * g * \mu \quad \text{Ecuación 7.}$$

Donde:

- R_r = Resistencia de rodadura (N)
- m_p = Masa de prueba (kg)
- g = Gravedad (m/s^2)
- μ = Coeficiente de rodadura

La resistencia a la rodadura en esta ruta extraurbana, se mantuvo constante durante todo el trayecto tal y como se indica en la figura 62.

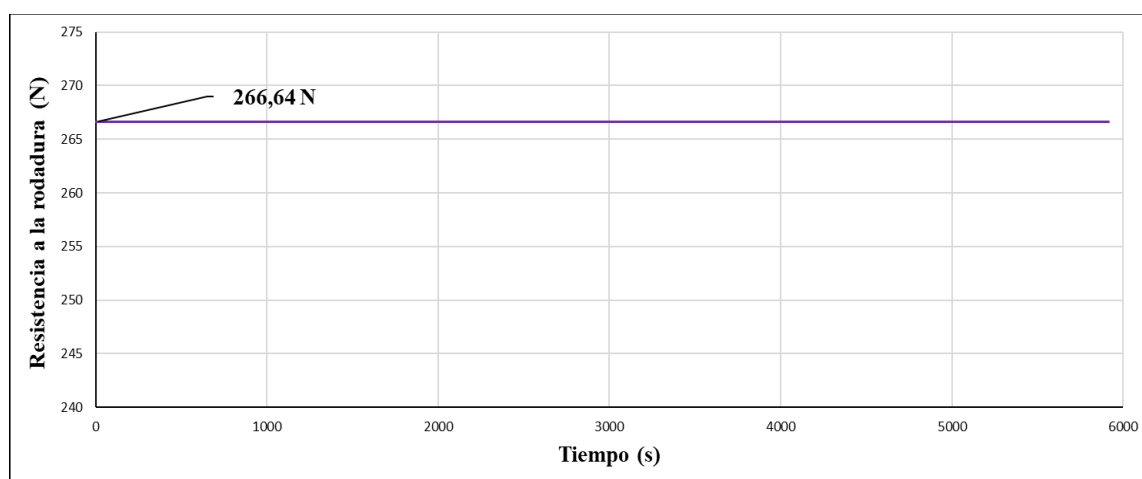


Figura 62. Resistencia a la rodadura en la ruta Ventanas - Guanaju.

Esta resistencia tuvo un valor fijo de 266,64 N producto de la masa de prueba, aceleración de la gravedad y del coeficiente de rodadura asignado para este experimento con un valor de 0,015 aplicado para carretera de hormigón asfáltico.

A continuación, se indica una gráfica que refleja los valores de las resistencias gravitatoria, aerodinámica y de rodadura por medio de una ventana de tiempo.

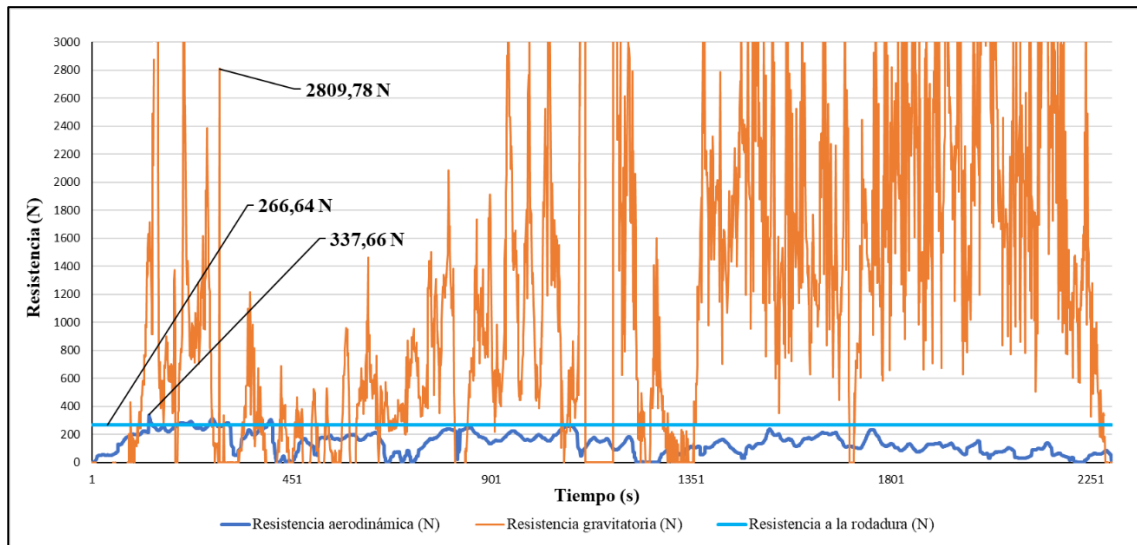


Figura 63. Ventana de tiempo - resistencias aerodinámicas principales.

En base a la gráfica anterior, se puede observar que el valor más bajo de resistencia es de 266,64 N y tiene relación con la fuerza de rodadura debido a que es un factor que permanece constante durante el desarrollo de las pruebas de conducción.

Por otro lado, la resistencia aerodinámica posee un mayor valor de 337,66 N que en comparación con la resistencia gravitatoria que reflejó 2809,78 N da a entender que es aproximadamente ocho veces menor que dicha resistencia gravitatoria.

Esto confirma el gran impacto que puede tener la orografía de una ruta en conjunto con el índice de la pendiente el cual hace que la resistencia gravitatoria sea la que mayores registros tenga en el presente proyecto de investigación. En la figura 64, se indica la fuerza de inercia que ha surgido durante el desarrollo de una de las pruebas de ruta.

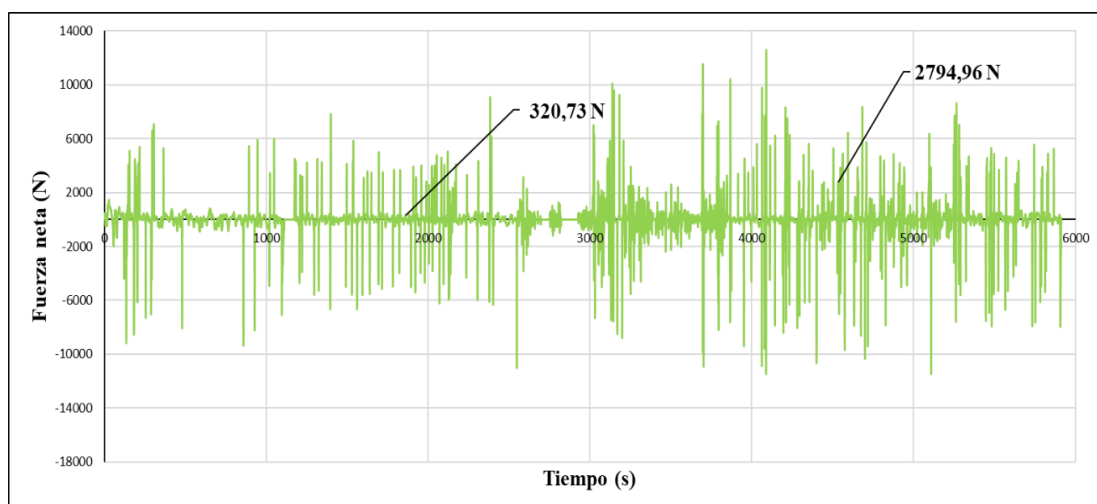


Figura 64. Fuerza neta o de inercia en la ruta extraurbana Ventanas - Guanajuato.

Esta fuerza neta, registra valores que suelen incrementarse con un promedio de 320,73 N hasta 2794,96 N a medida que el automóvil circula por los tramos de la ruta con mayor índice de pendiente, aunque no llega a alcanzar valores tan elevados como los de la resistencia gravitatoria (figura 51) si tiene un comportamiento similar debido a que el vehículo debe realizar más trabajo para superar las cuestas que existan en esta ruta extraurbana.

4.1.4. Sistema de propulsión.

Este sistema consiste en un conjunto mecánico, y un propulsor que contiene energía que se transformará en la fuerza necesaria para que el vehículo pueda moverse. En base a esto, se indicará a continuación las variables que fueron medidas durante las pruebas de conducción.

4.1.4.1. Fuerza de tracción en la ruta extraurbana Ventanas – Guanajuato.

Este parámetro es el resultado de la transmisión del momento desarrollado por el motor, y la potencia que se transmiten a las ruedas según el tipo de vehículo, 4x4, AWD, 4WD, RWD, FWD, lo que finalmente permite el movimiento de un automóvil.

Para el caso de este proyecto, se utilizó la siguiente ecuación para cuantificar la variación de este tipo de fuerza.

$$F_t = F_{xa} + R_g + R_r + F_n \quad \text{Ecuación 9.}$$

Donde:

- F_t = Fuerza de tracción (N)
- F_{xa} = Resistencia aerodinámica (N)
- R_g = Resistencia gravitatoria (N)
- R_r = Resistencia de rodadura (N)
- F_n = Fuerza neta (N)

En la figura 65, se indica la fuerza de tracción producida por el vehículo durante el desarrollo de la prueba de ida hacia Guanajuato.

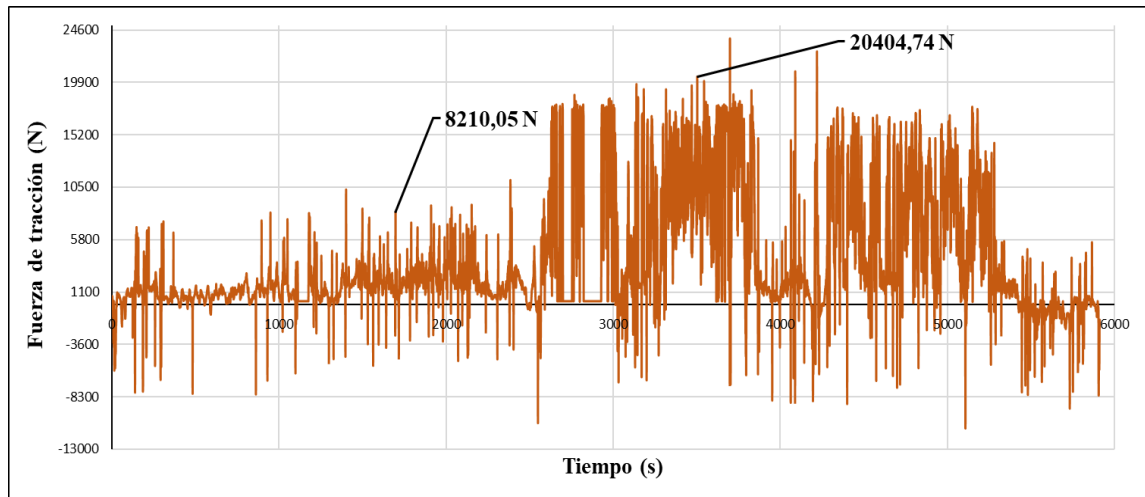


Figura 65. Fuerza de tracción en la prueba de ida hacia Guanajuato.

Durante los primeros kilómetros de recorrido, la fuerza de tracción reflejó un valor promedio de 8210,05 N el cual indica que el vehículo no tuvo tanta exigencia al momento de transitar por esta zona de baja pendiente en la Región Costa.

Sin embargo, a medida que el vehículo se desplazó por las carreteras con alto índice de pendiente reflejó mayores valores de fuerza de tracción tales como 20404,74 N. Esto es producto del esfuerzo que asume el automóvil para superar los desniveles propios de la orografía en la Región Sierra de nuestro país. Cabe destacar que el factor climático también influye en la tracción vehicular ya que afecta las condiciones del hormigón asfáltico en la carretera.

En la figura 66, se muestra la fuerza de tracción medida en el vehículo durante el desarrollo de la prueba de regreso hacia Ventanas.

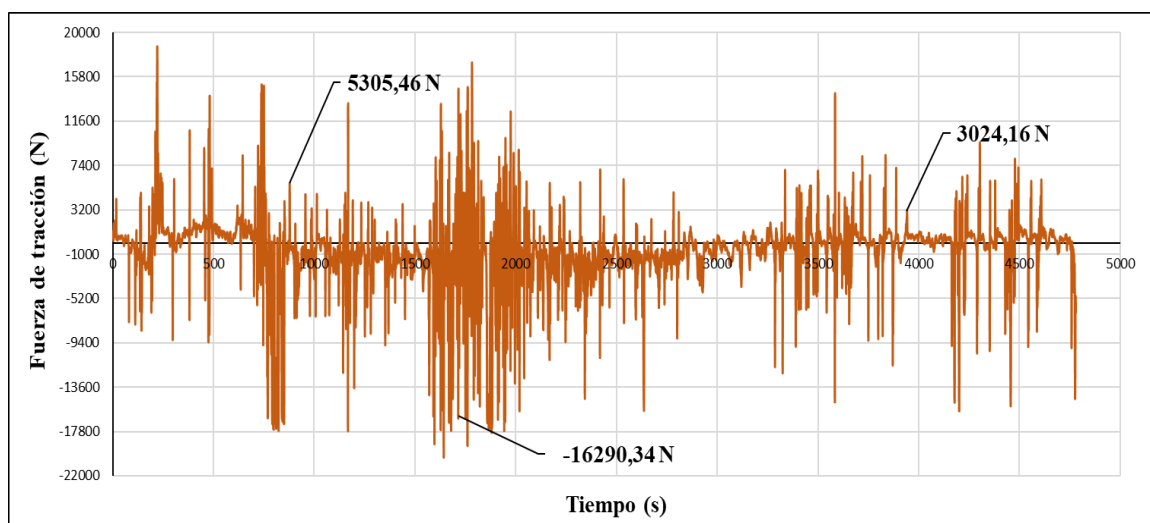


Figura 66. Fuerza de tracción en la prueba de regreso hacia Ventanas.

En la prueba de regreso se evidenció que el vehículo tuvo ciertas desaceleraciones en el recorrido de regreso hacia la ciudad de Ventanas y por ello registró un valor promedio de fuerza de tracción de 5305,46 N, esto se debe a que la ruta involucró el descenso por las pendientes de alto índice de gradiente.

La fuerza de frenado involucró la creación de valores negativos tales como -16290,34 N en la figura 66, a medida que se transitó por el territorio llano (Región Costa) la fuerza de tracción disminuyó más hasta un valor promedio de 3024,16 N.

4.1.4.2. Potencia de tracción en la ruta extraurbana Ventanas – Guanujo.

Esta potencia fue medida durante las pruebas de manejo en base al ciclo de conducción real para el presente proyecto. Por lo que fue necesario emplear la siguiente ecuación para determinar las variaciones en el trayecto recorrido.

$$P_t = F_t * v \quad \text{Ecuación 10.}$$

Donde:

- P_t = Potencia de tracción (kW)
- F_t = Fuerza de tracción (N)
- v = Velocidad del vehículo (m/s)

Cabe destacar que uno de los factores esenciales en esta potencia fue la velocidad del vehículo ya que el producto de este parámetro con la fuerza de tracción (F_t) del conjunto motriz, ha permitido la obtención de gráficos para comprender el comportamiento del automóvil.

En la figura 67, se muestra la variación de la potencia de tracción en la prueba de ida hacia Guanujo.

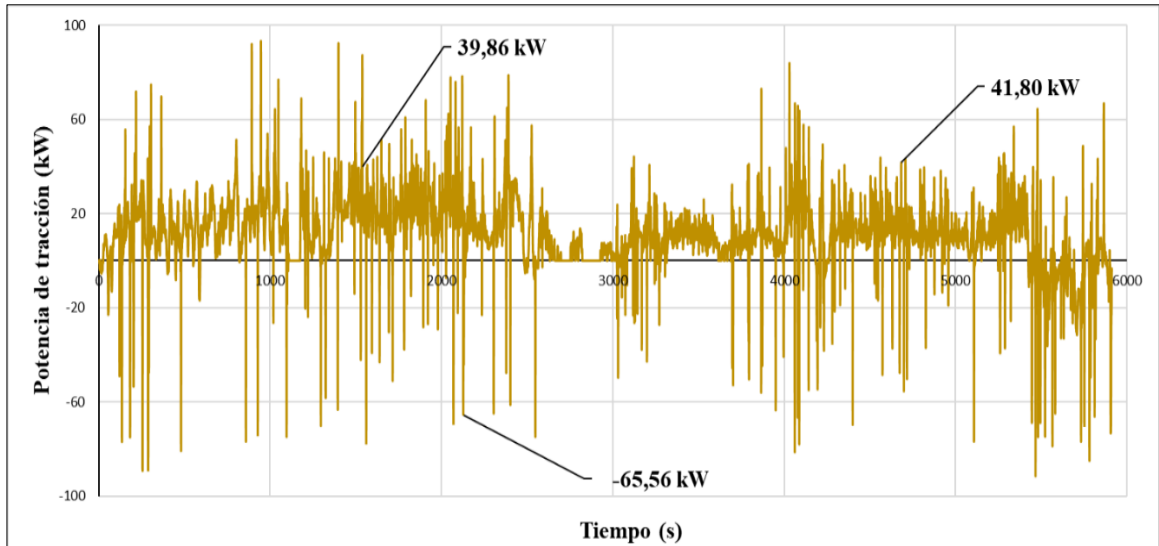


Figura 67. Potencia de tracción en la prueba de ida hacia Guanajuato.

En la figura 68, se muestra la potencia de tracción en la prueba de regreso hacia Ventanas.

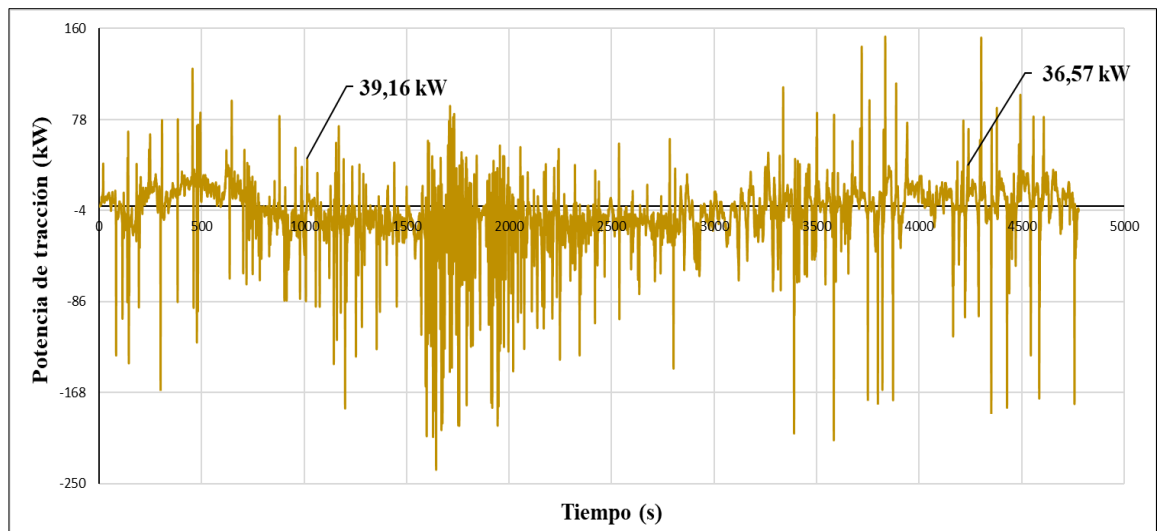


Figura 68. Potencia de tracción en la prueba de regreso hacia Ventanas.

Durante los primeros kilómetros de la prueba de ida hacia Guanajuato (figura 67), la velocidad fue un factor influyente en el valor de la potencia de tracción de 39,86 kW ya que, en la Región Costa al tener orografía con bajo índice de pendiente, facilita la conducción del automóvil a velocidades de entre 70 – 90 km/h. Además, la presencia de aire es aún mayor en la Costa lo que de acuerdo con la resistencia aerodinámica incrementa la potencia de tracción después del cálculo realizado.

Por otro lado, en los tramos finales de la prueba de ida (figura 67), la resistencia gravitatoria influye en un leve incremento de la potencia de tracción debido al hecho de transitar con menor velocidad en las vías de alta pendiente en la Región Andina, lo que reflejó un valor promedio de 41,80 kW.

Las desaceleraciones producidas durante el viaje de ida en esta ruta extraurbana, han generado elevados valores de potencia de tracción negativa tales como -65,56 kW. Mientras tanto en el caso de la prueba de regreso (figura 68) los datos negativos fueron más notorios puesto que el trayecto involucró el descenso por las pendientes pronunciadas en los primeros kilómetros del recorrido.

4.1.5. Determinación del consumo de energía y combustible en el vehículo liviano.

Las pruebas de conducción en tiempo real, se llevaron a cabo en la ruta extraurbana Ventanas – Guanujo en la cual por medio de los ficheros de datos en Excel se determinó el consumo de energía y combustible por parte del vehículo liviano en cada una de las 4 pruebas realizadas.

Para cumplir con ello se empleó la siguiente ecuación, que permite cuantificar la energía requerida para que el vehículo funcione con normalidad.

$$E_v = \int P_t * dt \quad \text{Ecuación 11.}$$

Donde:

- E_v = Energía requerida por el vehículo (kW)
- P_t = Potencia de tracción (kW)
- dt = Diferencial del tiempo (s)

El consumo de energía en el vehículo tuvo una mayor magnitud cuando se realizó la prueba de ida hacia la ciudad de Guanujo, esto debido a que los últimos tramos de la ruta extraurbana presentaron pendientes pronunciadas, además el factor climático también complicaba la conducción por el territorio andino.

La diferencia promedio entre el consumo de energía del vehículo en las pruebas de ida y regreso fue de 2,50 kWh. En la siguiente tabla, se indican los resultados del cálculo realizado en Microsoft Excel con el uso de las ecuaciones anteriormente mencionadas.

Tabla 22. Consumo de energía y combustible en cada una de las pruebas de conducción realizadas.

N°	Prueba realizada	Consumo de energía del automóvil (kWh)	Consumo de energía por cada 100 km (kWh/100 km)	Energía consumida por el motor (kWh) Tren de potencia ($\eta=20\%$)	Consumo de combustible del motor por cada 100 km (L/100 km)
1	Ida hacia Guanujo	24,42	31,15	149,08	13,86
	Regreso hacia Ventanas	23,50	29,97	143,47	13,34
2	Ida hacia Guanujo	24,99	31,88	152,56	14,18
	Regreso hacia Ventanas	19,74	25,18	120,51	11,20
3	Ida hacia Guanujo	26,33	33,58	160,74	14,94
	Regreso hacia Ventanas	25,22	32,17	153,97	14,31
4	Ida hacia Guanujo	23,44	29,90	143,10	13,30
	Regreso hacia Ventanas	20,71	26,42	126,43	11,75

En las siguientes gráficas se indica mediante una ventana de tiempo, la comparación entre el consumo de energía del sistema cuando el automóvil circula por carreteras con bajo y alto índice de pendiente (%).

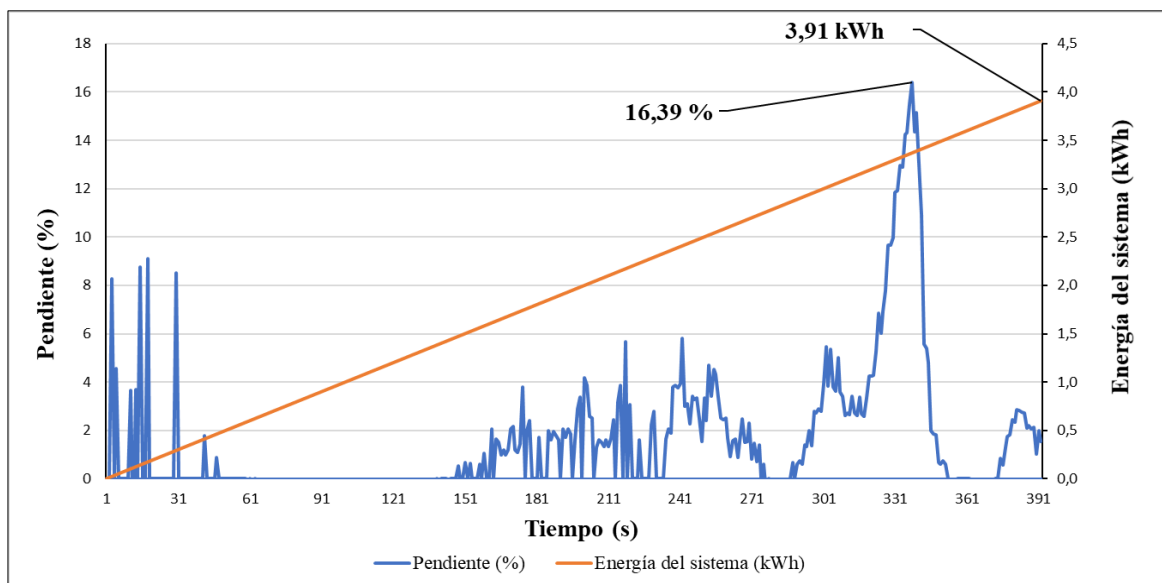


Figura 69. Consumo de energía en un tramo de la ruta con bajo índice de pendiente (%).

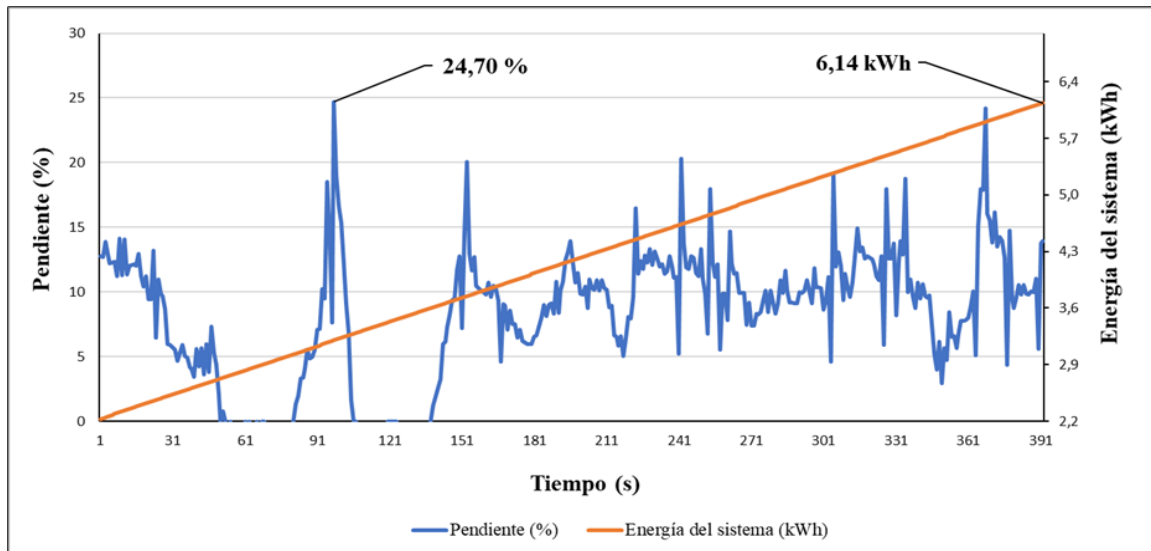


Figura 70. Consumo de energía en un tramo de la ruta con alto índice de pendiente (%).

En las figuras 69 y 70 indicadas anteriormente, se puede apreciar que la conducción en un territorio con bajo porcentaje de pendiente reflejó un consumo de energía de 3,91 kWh; mientras que, al circular en los tramos de la ruta con alto porcentaje de pendiente el consumo de energía incrementó hasta 6,14 kWh.

A continuación; se indican los promedios del consumo de energía del vehículo, registrados durante el desarrollo de las pruebas de ida y regreso en la ruta extraurbana Ventanas – Guanaju. Cabe destacar que la orografía de las regiones Costa y Sierra se ve reflejada en la variación de la altitud (m.s.n.m).

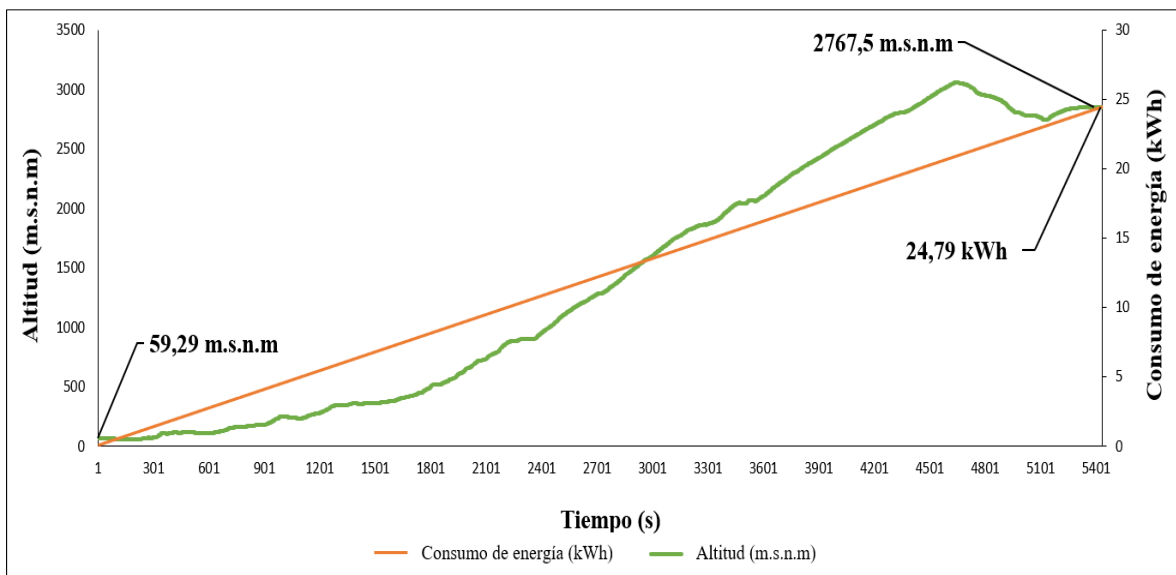


Figura 71. Consumo de energía del vehículo vs Altitud - Ida hacia Guanaju.

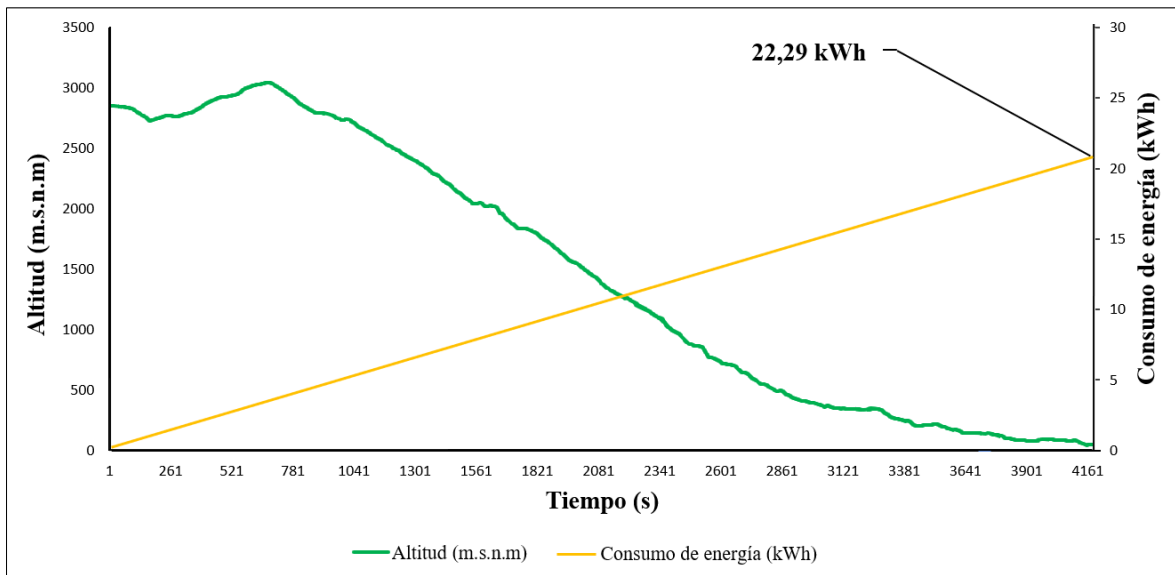


Figura 72. Consumo de energía del vehículo vs Altitud - Regreso hacia Ventanas.

Los valores promedio indicados anteriormente, dan a conocer que existe un incremento del 11,23% en el consumo de energía cuando el automóvil recorre la ruta de ida desde la ciudad de Ventanas hacia Guanujo.

Cabe destacar que la energía consumida por el vehículo tiene una leve cercanía en cuanto a los valores de la prueba de ida y regreso. Esto se debe a la influencia que tuvieron las resistencias aerodinámica y gravitatoria, las cuales tuvieron su rol en las respectivas regiones Costa y Sierra involucradas en esta ruta extraurbana.

Por una parte, la resistencia aerodinámica fue notable en los primeros kilómetros de la prueba de ida hacia Guanujo (figura 60), ya que en el territorio costeño hubo más presencia de oxígeno que en la región Sierra. Esto significó una mayor exigencia del vehículo para que pueda atravesar la barrera de aire que tiende a ofrecer una oposición al desplazamiento de un objeto.

Por otra parte, la resistencia gravitatoria fue importante ya que está relacionada con la orografía de esta ruta extraurbana y como tal fue el objeto de estudio de este proyecto. Reflejando según los cálculos, una mayor magnitud en la región Sierra (figura 51) por la superficie irregular que presenta varios tramos con alto índice de pendiente, en comparación con la región Costa que tiene una tendencia al llano.

Es evidente que el vehículo tuvo que realizar más trabajo para superar las cuestas o pendientes de subida propias de una carretera andina que como tal fueron las poblaciones cercanas a la ciudad de Guanujo en la provincia de Bolívar.

El consumo de energía en el vehículo liviano es mayor en el trayecto de ida hacia Guanajuato a 2923 m.s.n.m. debido a que tiene un mayor índice de pendiente, además, es importante destacar que el inicio de las pruebas desde la ciudad de Ventanas a una altura de 65 m.s.n.m. supone una mayor resistencia aerodinámica que también influye en el consumo final de energía del automóvil.

La potencia máxima que suele desarrollar el vehículo Chery Arrizo 3 Versión 1,5 Litros MT Confort según el catálogo del fabricante automotriz es de 107 HP el cual es equivalente a 79,80 kW. El promedio de la potencia alcanzada durante las pruebas en la ruta extraurbana fue de 53,97 kW lo que representa una reducción del 32,36 % frente al valor que el fabricante estipula en las especificaciones técnicas.

En el siguiente diagrama de Sankey, se indican los porcentajes de rendimiento que comúnmente suele tener un motor de encendido provocado. Tales valores estimados generalmente, dan a conocer el aprovechamiento de la energía química proveniente de un combustible fósil, que en este caso es la gasolina Extra de 85 octanos.

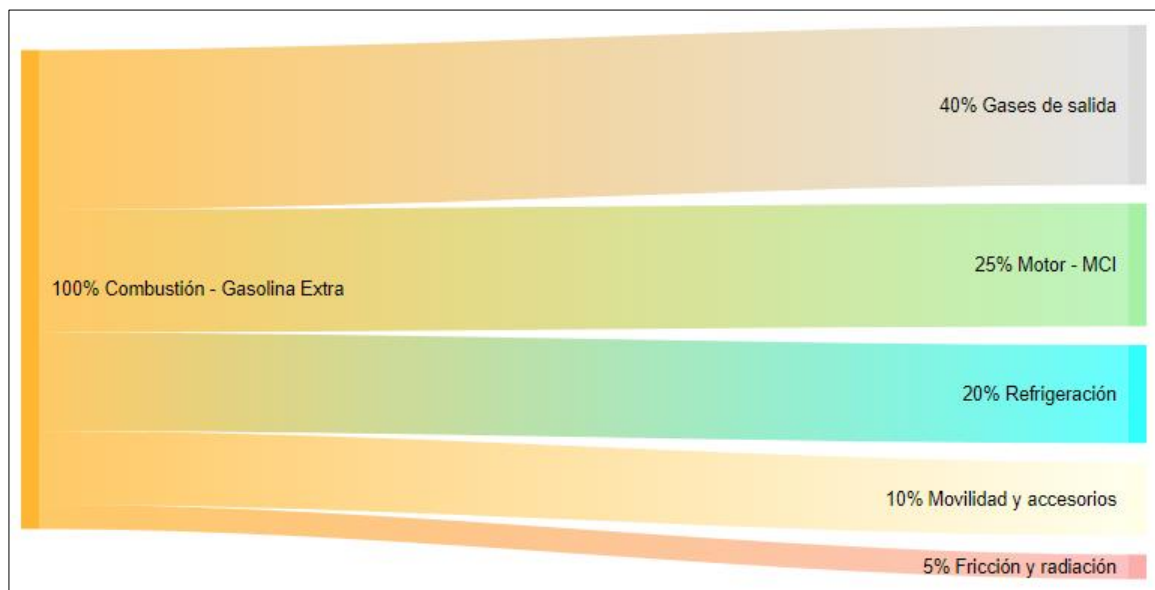


Figura 73. Diagrama de Sankey - Porcentajes de rendimiento que tiene un motor de MCI.

En base a esto, el consumo energético del motor difiere del consumido por el vehículo, debido a que el sistema de propulsión tiene una eficiencia correspondiente, es decir, a nivel general los motores de encendido provocado, poseen eficiencias del 20 al 25 % cuando se encuentran en excelentes condiciones, además suelen existir pérdidas en diferentes componentes mecánicos como caja de cambios y diferencial.

En este punto, el sistema de propulsión del auto de prueba tiene un rendimiento de la transmisión determinada por el fabricante del 97%.

En la tabla 22 mostrada anteriormente, se puede evidenciar que el consumo de energía del motor es aproximadamente seis veces mayor que la energía requerida por el automóvil, la demanda de energía del motor tiene una diferencia promedio de 15,28 kWh entre las pruebas de ida y regreso.

La diferencia promedio del consumo de energía del motor, surge a partir de la comparación de los valores en los siguientes gráficos que describen el comportamiento del automóvil en las pruebas de ida y regreso.

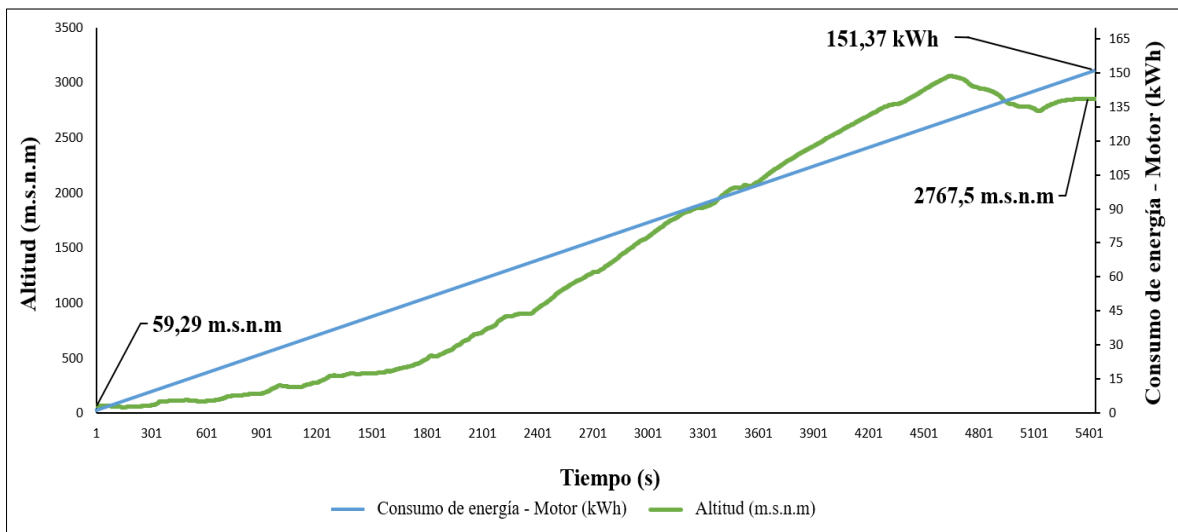


Figura 74. Consumo de energía del motor vs Altitud - Ida hacia Guanajuato.

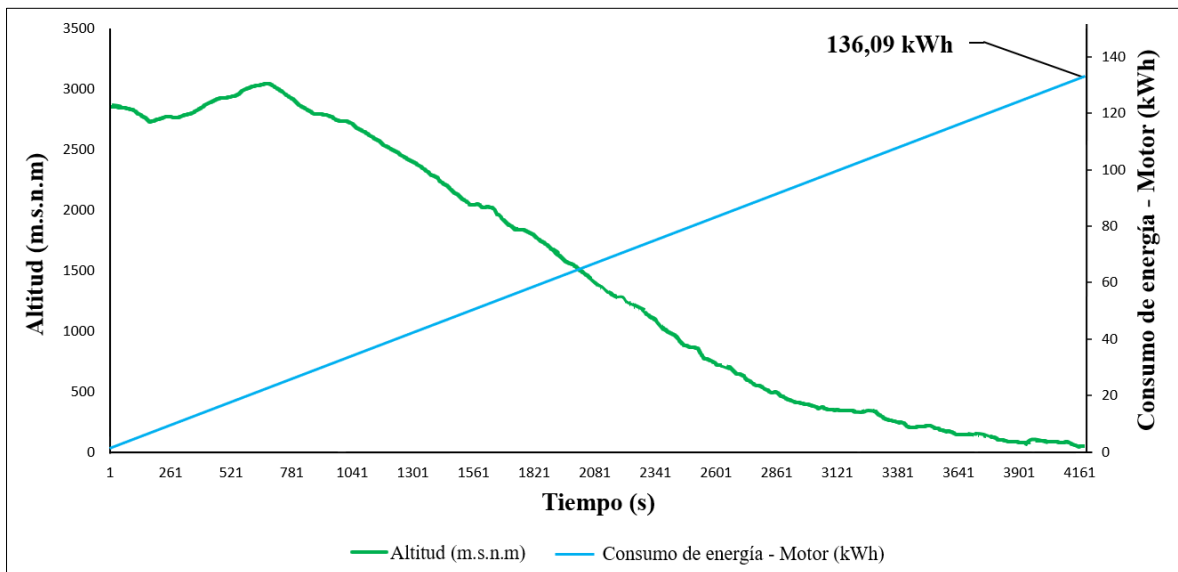


Figura 75. Consumo de energía del motor vs Altitud - Regreso hacia Ventanas.

Al igual que la energía consumida por el automóvil, el motor en especial también registra un consumo de energía que en el caso de la prueba de ida hacia Guanajuato fue un valor de 151,37 kWh (figura 74) mientras que, en la prueba de regreso reflejó un valor de 136,09 kWh (figura 75). Esto significa que existe un incremento del 11,23% en el consumo de energía del motor cuando el vehículo circula desde la ciudad de Ventanas hacia Guanajuato.

El consumo de combustible al igual que la energía requerida por el automotor presenta un incremento en la prueba de ida hacia la ciudad de Guanajuato, con una diferencia promedio de 1,42 Litros/100 km entre el viaje de ida y regreso, lo que representa un 11,22% más de consumo de combustible con respecto a la prueba de regreso a Ventanas.

El consumo de combustible en 100 km de recorrido que se muestra en la tabla 22 es estimado, y se basa en la energía consumida durante la ruta extraurbana Ventanas - Guanajuato. Cabe mencionar que las pruebas de conducción fueron realizadas con el uso del combustible tipo gasolina Extra, la cual posee 85 octanos.

4.2. Discusión.

4.2.1. Perfil de velocidad.

Según Hussein Ali Ameen, Abd Kadir Mahamad, Sharifah Saon, Rami Qays Malik, Zahraa Hashim Kareem, Mohd Anuaruddin Bin Ahmadon & Shingo Yamaguchi, en el documento **«Identificación de perfiles de seguridad de conducción en el sistema de comunicación de vehículo a vehículo basado en la información OBD del automóvil»**, año 2021, pp. 1-2 de la Revista del Instituto Multidisciplinario de Edición Digital (MDPI). Mencionan que “El método propuesto utiliza datos de conducción registrados continuamente para recopilar información de operación del vehículo, incluida la velocidad del vehículo, las revoluciones del motor por minuto (RPM), la posición del acelerador y la carga calculada del motor a través de la interfaz de diagnóstico a bordo (OBD). Luego, el método propuesto hace uso de la estratificación de la gravedad de la aceleración para crear un modelo de clasificación del comportamiento de conducción para determinar si el comportamiento de conducción actual pertenece a la conducción segura o no”.

Con respecto a lo antes citado, en la presente investigación se utilizaron dispositivos tecnológicos tales como: OBD II y Skywatch Geos 11 para realizar la medición de los distintos parámetros de estudio, en especial, la rapidez que adquirió el vehículo ya que a partir del mismo se obtuvo un perfil de velocidad en tiempo real. En base a esto, las condiciones tanto climatológicas como orográficas que ofreció la ruta extraurbana Ventanas – Guanajuato influyeron para que el conductor asuma una forma de manejo prudente y que ajuste en la medida de lo posible la velocidad del automóvil de acuerdo con lo que estipule la ley.

4.2.2. Aerodinámica.

Según Geoffrey Le Good, Max Resnick, Peter Boardman & Brian Clough, en el documento **«Una investigación de los efectos aerodinámicos de la transformación de la carrocería para automóviles de pasajeros en las proximidades»**, año 2021, pp. 18-19 de la Revista del Instituto Multidisciplinario de Edición Digital (MDPI). Mencionan que “El concepto de la agrupación de vehículos puede ofrecer oportunidades de ahorro de energía para los automóviles de paso. Sin embargo, para lograr esos ahorros de energía, la organización y formación de los pelotones debe tener en cuenta la forma del vehículo como una de las dos variables principales de rendimiento, siendo la otra el tema más común de las investigaciones publicadas: la separación de vehículos.

Sin embargo, la variedad de formas y tamaños de vehículos de pasajeros hace que esta variable sea bastante más compleja de investigar que la separación de vehículos. En última instancia, la performance en la agrupación de automóviles deberá tener en cuenta ambas variables simultáneamente que requieren una amplia investigación”.

Con respecto a lo antes citado, en la presente investigación se utilizó un vehículo tipo liviano cuya área frontal resultó ser menor al igual que varios modelos de su clase, aunque también tuvo un valor de coeficiente aerodinámico (C_x) de 0,4 característico de los automóviles tipo sedán.

4.2.3. Análisis del consumo de energía y combustible, en comparación con otros estudios.

Según Jarosław Mamala, Michał Smieja & Krzysztof Praznowski, en el documento «**Análisis del consumo total de energía unitaria de un automóvil con un sistema de propulsión híbrido en condiciones reales de funcionamiento**», año 2021, pp. 1-2 de la Revista del Instituto Multidisciplinario de Edición Digital (MDPI). Mencionan que “la demanda energética de un automóvil es diversificada en condiciones reales de tráfico como resultado de la dinámica de su aceleración. Este problema también se relaciona con el aumento del consumo de combustible debido a un estilo de conducción agresivo. En las pruebas en carretera, se encontraron discrepancias significativas en el consumo de combustible de kilometraje, que oscilaron entre 12,44 y 31,8 (Litros/100 km)”.

Con respecto a lo antes citado, en la presente investigación se pudo notar que los valores del consumo energético por parte del vehículo (ver tabla 22) siempre variaron, pero no sólo por el factor del nivel del tráfico que tiene una ruta, sino que, además influyen la climatología de la región, características del vehículo y las fuerzas aerodinámicas en las que destaca la resistencia gravitatoria que está relacionada con la orografía propia de una determinada zona de nuestro país, que en este caso fue la ruta extraurbana Ventanas - Guanajuato.

Es por ello que la prueba de ida hacia Guanajuato resultó ser la que mayor consumo de energía reflejó con un valor máximo de 26,33 kWh, además, la demanda de combustible también fue de 14,94 Litros/100 km el cual está dentro del rango de consumo estimado por la investigación de los autores antes mencionados.

Según Edwin Grijalva, Jorge Acosta & Edison Mancheno, en el documento «**Influencia de la densidad del aire en el consumo de combustible en vehículos livianos**», año 2021, pp. 7-10 de la Revista Digital Novasinería. Mencionan que “en las ciudades evaluadas de la región Costa, el consumo de energía del sistema fue de 55,56 kWh/100 km, mientras que la sierra fue de 52,28 kWh/100 km. Esto significa que la resistencia aerodinámica influyó en alrededor del 6% en el consumo de energía del sistema vehicular entre ambas regiones”.

Además, en torno al tema del consumo de combustible mencionan que “en las ciudades evaluadas de la región Costa, el consumo de combustible del vehículo fue aproximadamente de 7,21 Litros/100 km, mientras que la sierra de 6,79 Litros/100 km. Esto significa que la resistencia aerodinámica influyó en alrededor del 6% en el consumo de combustible entre ambas regiones”.

En primer lugar, el consumo de energía obtenido en la presente investigación dio a conocer que el motor de combustión interna requirió aproximadamente seis veces más energía con respecto a lo que necesitó el automóvil en general. Esto puede notarse en base a los resultados incluidos en la tabla 22, además, el consumo de energía del sistema difiere en cuanto a la investigación anteriormente citada puesto que en el presente proyecto de titulación el mayor valor de consumo fue de 33,58 kWh/100 km (prueba de ida hacia Guanujo) y de 32,17 kWh/100 km (prueba de regreso hacia Ventanas).

Dichos valores provienen de las pruebas de ruta realizadas con perfiles de velocidad en tiempo real, por lo tanto, la resistencia gravitatoria influyó en aproximadamente un 5% del consumo de energía debido a la orografía que presentó esta ruta extraurbana.

En segundo lugar, el consumo de combustible obtenido en la presente investigación dio a conocer que la prueba de ida hacia Guanujo resultó ser la que mayor demanda de combustible reflejó con un valor de 14,94 Litros/100 km. Esto da a entender que la resistencia gravitatoria también influyó en aproximadamente un 5% del consumo de combustible en esta ruta extraurbana entre las regiones Costa y Sierra de nuestro país. Cabe mencionar que las pruebas de conducción fueron realizadas con el uso del combustible tipo gasolina Extra, la cual posee 85 octanos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Se identificaron las especificaciones técnicas del automóvil Chery Arrizo 3 para que las pruebas sean desarrolladas con normalidad, en donde, los parámetros que más destacaron fueron: las dimensiones del vehículo, peso neto, peso con carga, rendimiento de la transmisión; además, estas variables fueron involucradas en los procesos de cálculo junto con los datos obtenidos por los dispositivos tecnológicos de medición en tiempo real.

Se emplearon aparatos modernos tales como: el Can Edge 1 OBD: 2x registrador de datos de bus can (sd + rtc) que cumplió su función de medir varios parámetros a nivel del motor del vehículo destacando entre ellos a: la velocidad, rpm, par, entre otros; y el Skywatch Geos 11 (estación meteorológica portátil) que registró las condiciones de la presión, temperatura, altitud real, humedad relativa y demás variables del entorno en donde se llevó a cabo las pruebas de ruta extraurbana.

Se ha realizado la transferencia de los datos que registraron los dispositivos durante las pruebas de ruta, con el fin de generar un fichero de Excel apropiado para el desarrollo del estudio dinámico del automóvil. Cabe destacar que existieron valores que presentaron inconsistencias en ciertos trayectos del recorrido, esto debido al estado de la vía ya que generó lecturas erróneas en los aparatos de medida y que como tal fueron descartadas del análisis correspondiente.

De los resultados obtenidos, se determinó que el consumo de energía del sistema fue mayor cuando se desarrollaron las pruebas de conducción de ida hacia la ciudad de Guanajuato a 2923 m.s.n.m. con un valor máximo de 33,58 kWh/100 km, en donde, la resistencia gravitatoria tuvo principal importancia debido a su relación directa con la orografía de la ruta que presentó varios tramos con alto índice de pendiente especialmente en la Región Sierra.

Finalmente, bajo estas mismas condiciones de prueba el consumo de combustible en promedio también reflejó un incremento del 11,22% en comparación con las pruebas de regreso hacia la ciudad de Ventanas a 65 m.s.n.m. De esta forma se reconoce que, la prueba de ida hacia Guanajuato resultó ser la que mayor demanda de combustible reflejó con un valor de 14,94 Litros/100 km, por consiguiente, la resistencia gravitatoria también influyó en aproximadamente un 5% del consumo de combustible en esta ruta extraurbana entre las regiones Costa y Sierra de nuestro país.

5.2. Recomendaciones.

Es recomendable verificar que el vehículo puesto a prueba, siempre esté en buenas condiciones y que los dispositivos de medición no tengan problemas de conectividad con el automóvil para evitar errores al momento de la generación de datos, los cuales son esenciales para obtener los resultados propios de alguna investigación futura.

Se recomienda escoger lugares o sitios adecuados para llevar a cabo las pruebas de conducción, en donde, lo primordial siempre será salvaguardar la integridad física de los ocupantes y a su vez evitar severas averías en el vehículo seleccionado para la experimentación en ruta.

Es recomendable planificar con antelación: los horarios - fechas de las pruebas y los puntos de abastecimiento de combustible, para evitar que los datos obtenidos generen confusiones al momento de determinar bajo qué circunstancias se dieron tales resultados.

Se recomienda filtrar los datos obtenidos por parte de los dispositivos tecnológicos, ya que en ciertos casos se reflejan valores que no tienen un significado numérico, son muy repetitivos y que por lo tanto no son de incluir en un estudio determinado.

Es recomendable que el conductor asuma una forma de manejo prudente y segura, debido a que el presente proyecto fue realizado entre dos regiones distintas tales como: Costa y Sierra. En donde, la orografía y el clima de los mismos cambia durante el trayecto de prueba, por ende, tanto los ocupantes como el vehículo en sí, estarán circulando bajo condiciones de alta exigencia y concentración.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía.

- [1] E. A. Pino, «Enciclopedia del Ecuador,» Educa, Guayaquil, 2018.
- [2] D. K. a. G. F. Barouch Giechaskiel, «Impacts of Extreme Ambient Temperatures and Road Gradient Consumption and CO2 Emissions of a Euro 6d-Temp Gasoline Vehicle,» *MDPI*, p. 20, 2021.
- [3] C. d. Gispert, *El mentor de física y química*, Barcelona: Océano, 2019, p. 456.
- [4] J. M. a. V. D. Olga Lingaitienė, «The Model of Vehicle and Route Selection for Energy Saving,» *MDPI*, p. 20, 2021.
- [5] M. N. a. M. Jarre, «Assessing Commuting Energy and Emissions Savings through Remote Working and Carpooling: Lessons from an Italian Region,» *MDPI*, p. 19, 2021.
- [6] B. Vračarević, «Urban transport in world metropolises: A comparative analysis and key features of energy consumption,» *DOAJ*, p. 13, 2021.
- [7] A. C. R. T. a. J. R. Sodrė, «Impacts of replacement of engine powered vehicles by electric vehicles on energy consumption and CO2 emissions,» *ScienceDirect*, p. 10, 2018.
- [8] R. Nicolás, «Los diferentes ciclos de conducción,» Zúrich, 2020.
- [9] A. K. M. S. S. R. Q. M. Z. H. K. M. A. B. A. & S. Y. Hussein Ali Ameen, «Identification of Driving Safety Profiles in Vehicle to Vehicle Communication System Based on Vehicle OBD Information,» 2021.
- [10] M. B. a. Y. Cengel, *Termodinámica*, México D.F.: McGraw-Hill, 2018.
- [11] J. C. a. Y. Cengel, *Mecánica de fluidos*, México D.F.: McGraw-Hill, 2018.
- [12] J. A. E. M. Edwin Grijalva, *Influencia de la densidad del aire en el consumo de combustible en vehículos livianos*, Quevedo: Novasineria, 2021.
- [13] M. R. P. B. a. B. C. Geoffrey Le Good, «An Investigation of Aerodynamic Effects of Body Morphing for Passenger Cars in Close-Proximity,» *MDPI*, p. 20, 2021.
- [14] K. S. a. K. K. Jacek Pielecha, «Exhaust Emissions and Energy Consumption Analysis of Conventional, Hybrid, and Electric Vehicles in Real Driving Cycles,» *MDPI*, p. 21, 2020.
- [15] T. L. a. S. J. Kwangho Ko, «A Deep Learning Method for Monitoring Vehicle Energy Consumption with GPS Data,» *MDPI*, p. 15, 2021.

- [16] J. R. Morales, ESTUDIO DE LA DINÁMICA DE TRACCIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO, Pereira, 2017.
- [17] J. Kotikov, «Comparative analysis of energy consumption by modern cars and future quantomobiles,» *DOAJ*, p. 7, 2018.
- [18] C. Saiamotors, «Manual Chery Arrizo 3,» Santiago , 2018.
- [19] D. K. G. F. Barouch Giechaskiel, «Impacts of Extreme Ambient Temperatures and Road Gradient on Energy Consumption and CO2 Emissions of a Euro 6d-Temp Gasoline Vehicle,» 28 Septiembre 2021. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/19/6195/htm>. [Último acceso: 26 Noviembre 2021].
- [20] Servicio Ecuatoriano de Normalización, «PRODUCTOS DERIVADOS DE PETRÓLEO. GASOLINA. REQUISITOS,» Quito, 2016.
- [21] CSS Electronics. Disponible en: <https://www.csselectronics.com/products/can-logger-sd-canedge1>. [Último acceso: 18 12 2021].
- [22] La casa del clima. Disponible en: <https://www.casaclima.com/Estaci%C3%B3n-port%C3%A1til-multifunci%C3%B3n-Skywatch-GEOS-11-aGEOS11.html>. [Último acceso: 18 12 2021].
- [23] «AVTOTACHKI». Disponible en: <https://avtotachki.com/es/chery-arrizo-3-15-mt-comfort/>. [Último acceso: 28 12 2021].
- [24] G. Maps, 2021. Disponible en: <https://www.google.com.ec/maps/dir/Ventanas+M%C3%A1gicas+PVC,+Vicente+Heredia,+y,+Quito+170528/Guanujo/>.
- [25] A. G. y. J. Uribarri, «Altimetrías de Puertos de Montaña,» APM, Murcia, 2019.
- [26] M. Ś. a. K. P. Jarosław Mamala, «Analysis of the Total Unit Energy Consumption of a Car with a Hybrid Drive System in Real Operating Conditions,» *MDPI*, p. 16, 2021.
- [27] J. M. L. M. a. E. R. Grijalva, «Analysis of the Reduction of CO2 Emissions in Urban Environments by Replacing Conventional City Buses by Electric Bus Fleets: Spain Case Study,» *MDPI*, p. 31, 2019.
- [28] I. R. K. G. a. S. G. Evtimov Ivan, «Life cycle assessment of electric and conventional cars energy consumption and CO2 emissions,» *DOAJ*, p. 5, 2018.
- [29] J. M. L. M. M. N. F. a. V. D. P. Edwin R. Grijalva, «Design and Simulation of a Powertrain System for a Fuel Cell Extended Range Electric Golf Car,» *MDPI*, p. 30, 2018.

- [30] B. T. H. J. C. Y. D. Z. a. Y. H. Dong Cao, «Study on Low-Speed Steering Resistance Torque of Vehicles Considering Friction between Tire and Pavement,» *MDPI*, p. 16, 2019.
- [31] J. S. F. R. a. Z. S. Ali Enes Dingil, «Updated Models of Passenger Transport Related Energy Consumption of Urban Areas,» *MDPI*, p. 16, 2019.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

7.1. Instrumentos de medición.



Anexo 1. Skywatch Geos 11 (estación meteorológica portátil), [22].

Especificaciones técnicas	
Precisión	
Velocidad del viento	± 2%
Temperatura	± 0.5°C a 25°C
Humedad	± 2% a 50%rH
Presión	± 0.5% a 25°C
Brújula	± 3°
Reloj	<0.1 segundos por día, posible si calibrado
Resolución	
Velocidad del viento	0.1 unidad <99.9 , 1 unidad >100 0.1 a 25.0 Beaufort
Temperatura	0.1° <99.9° , 1° >100
Sensación Térmica	0.1° <99.9° , 1° >100
Punto de Rocío	0.1° <99.9° , 1° >100
Humedad	0.1%rH
Presión	0.1 hPa - 0.01 inHg
Altitud	0.1m de -999.9m a 3000m 0.5m de 3000 a 10000m 1m de 10000 a 21535m
Densidad Altitud	1 unidad
Altura QFE	0.1 m - 1 ft (pie)
Variómetro	0.1 unidad
Tendencia barométrica	0.1hPa - 1inHg
Brújula	1°

Anexo 2. Especificaciones técnicas del Skywatch Geos 11 (estación meteorológica portátil), [22].



Anexo 3. Dispositivo Can Edge 1 OBD: 2x registrador de datos de bus can (sd + rtc), [21].

Recinto y peso	Caja de aluminio compacta: 52,5 x 70,0 x 24,5 mm (L x An x Al) excl. antena, 70 gramos
Conector	1 conector estándar D-sub 9 (DB9)
pin de salida	Consulte el manual del producto para conocer las asignaciones de pines del conector DB9.
USB	Conector mini USB estándar para actualizaciones de configuración/firmware y transmisión (cable USB no incluido)
LED	Estado del módulo a través de 4 LED externos: alimentación, bus CAN, memoria, GNSS
Temperatura	Temperatura de funcionamiento (piezas): -25°C a +70°C
Clasificación del IP	Clasificación IP 40
Montaje	El módulo se puede montar mediante, por ejemplo, cinta resistente de doble cara, bridas o un soporte de montaje
Antena GPS	u-blox ANN-MS-0-005 (enchufe SMA, cable de 5 m, base magnética, -40 a +85 °C, 48 x 40 x 13 mm)
Señales CAN	El módulo comunica varias señales GNSS/IMU (para obtener una lista completa, consulte el archivo Docs o DBC)
	Posición GNSS: información de longitud y latitud [1 Hz]
	Hora GNSS: marca de tiempo de época basada en GNSS precisa [1 Hz]
	Estado GNSS: tipo fijo (NO/UDR/2D/3D/GNSS+UDR) y recuento de satélites [1 Hz]
	Velocidad GNSS: Velocidad de desplazamiento en metros/segundo [1 Hz]
	Altitud GNSS: información de altitud en metros [1 Hz]
	Actitud/orientación GNSS: balanceo, cabeceo, rumbo [1 Hz]
	Odómetro GNSS: Distancia recorrida (desde el encendido y total) [1 Hz]
	IMU 3D: velocidad angular basada en giroscopio (X, Y, Z) y aceleración basada en acelerómetro (X, Y, Z) [100 Hz]
	Geocercas: Estado de las geocercas configuradas [1 Hz]

Anexo 4. Especificaciones técnicas del Can Edge 1 OBD: 2x registrador de datos de bus can (sd + rtc), [21].

7.2. Vehículo de prueba.



Anexo 5. Vehículo de prueba Chery Arrizo 3.

7.3. Colocación de los instrumentos de medición en el vehículo de prueba.



Anexo 6. Conexión del dispositivo Can Edge 1 OBD: 2x registrador de datos de bus can (sd + rtc).



Anexo 7. Instalación del soporte imantado para el medidor OBD II.



Anexo 8. Fijación del dispositivo Skywatch Geos 11 (estación meteorológica portátil).

7.4. Transferencia de datos para el análisis respectivo.

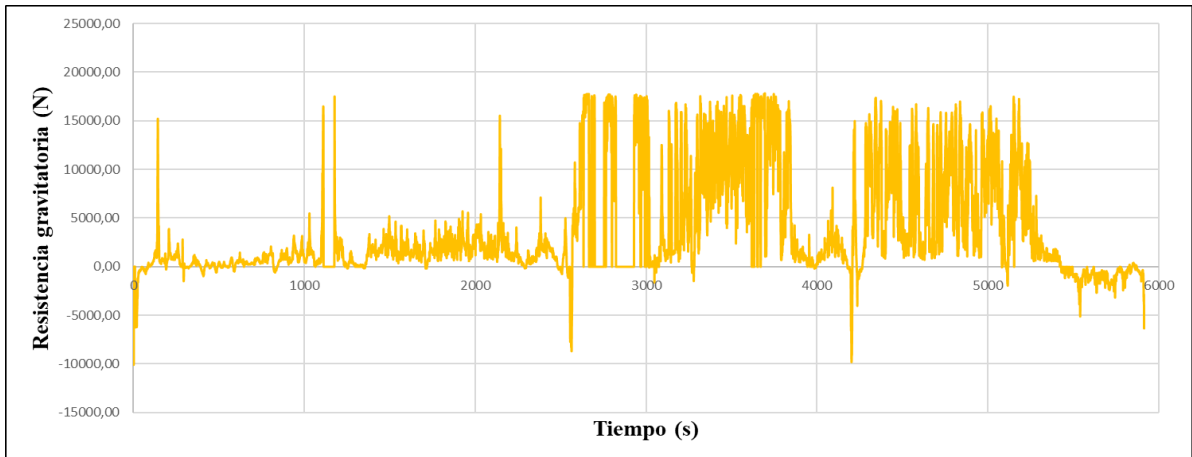


Anexo 9. Vinculación y transferencia de datos a una laptop.

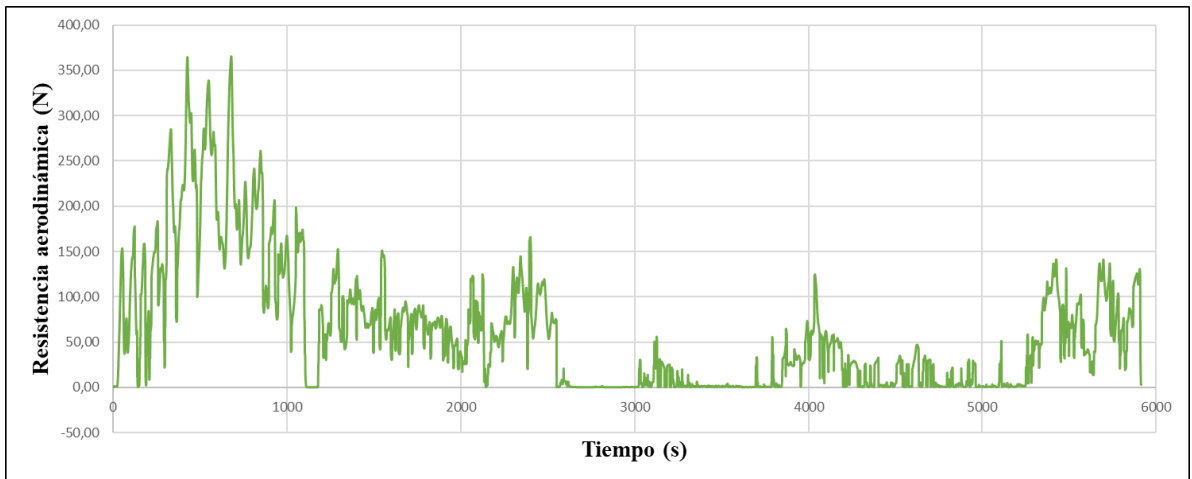


Anexo 10. Monitoreo de las gráficas obtenidas en la prueba de ruta.

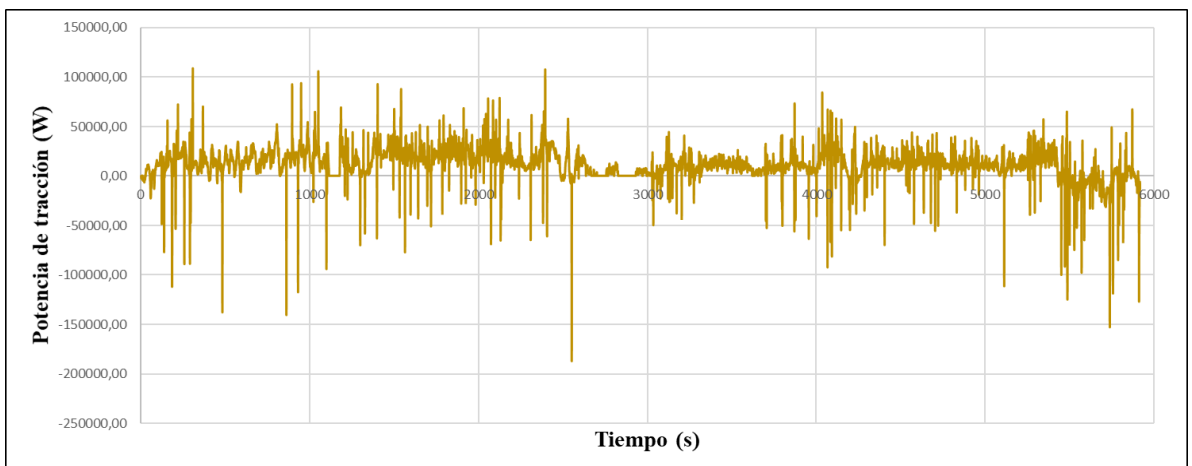
7.5. Gráficas descriptivas de las pruebas de ruta realizadas.



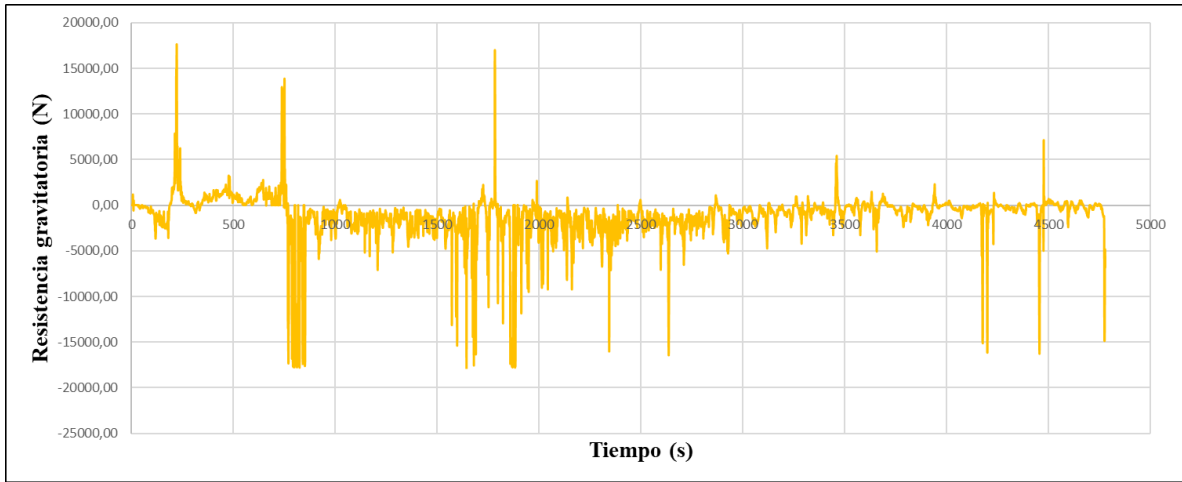
Anexo 11. Resistencia gravitatoria en la prueba 1 ida hacia Guanajuato.



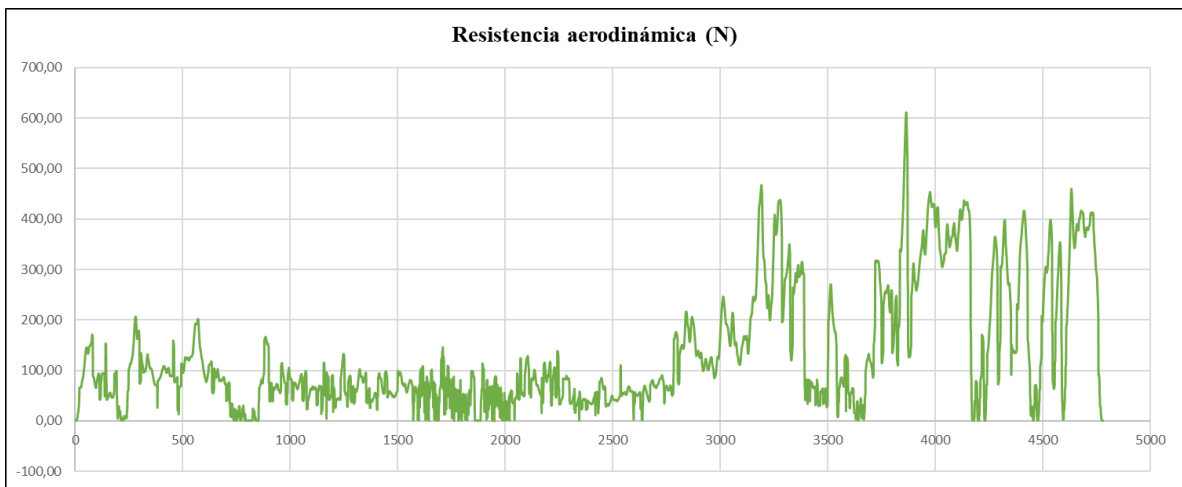
Anexo 12. Resistencia aerodinámica en la prueba 1 ida hacia Guanajuato.



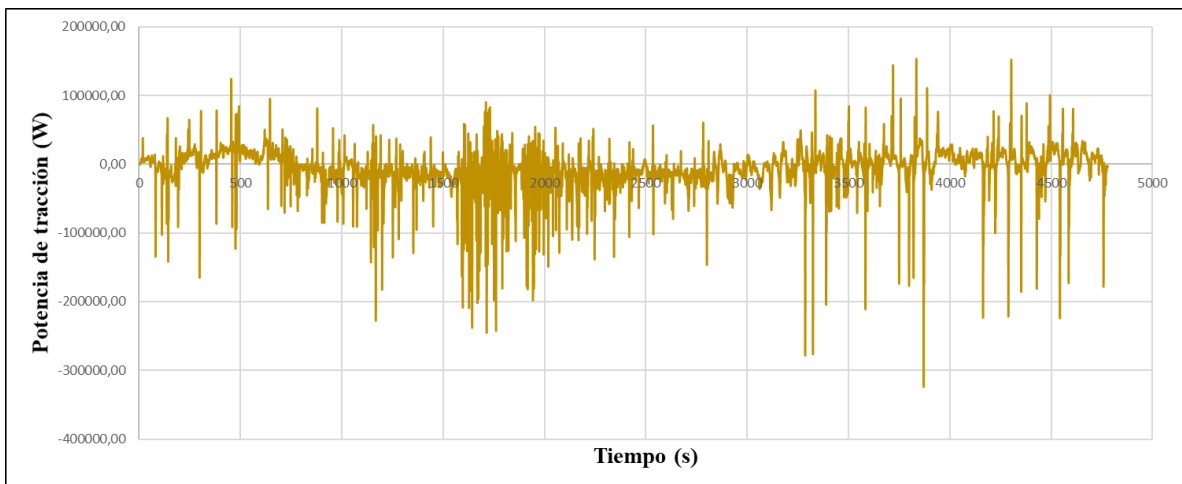
Anexo 13. Potencia de tracción en la prueba 1 ida hacia Guanajuato.



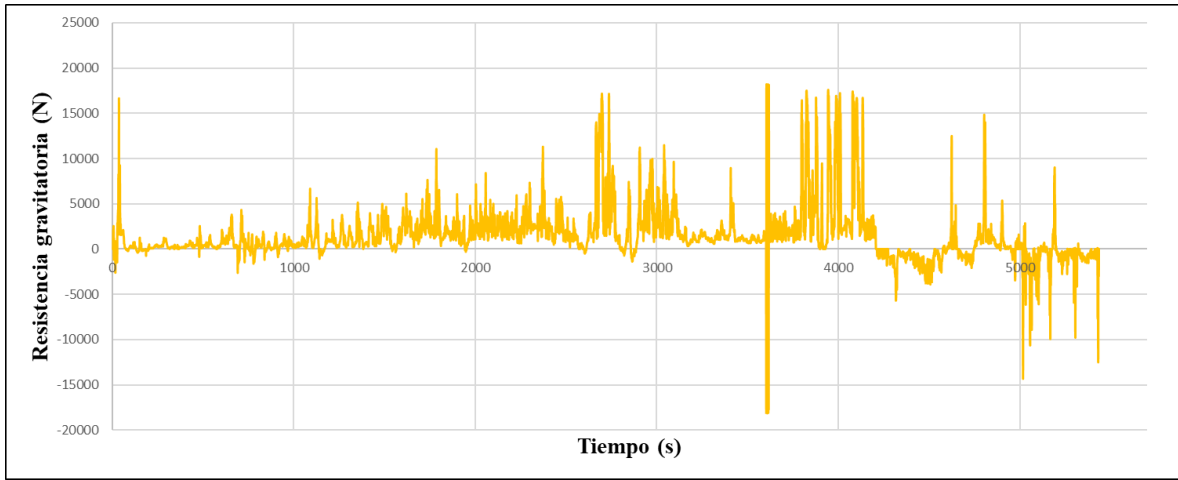
Anexo 14. Resistencia gravitatoria en la prueba 1 regreso hacia Ventanas.



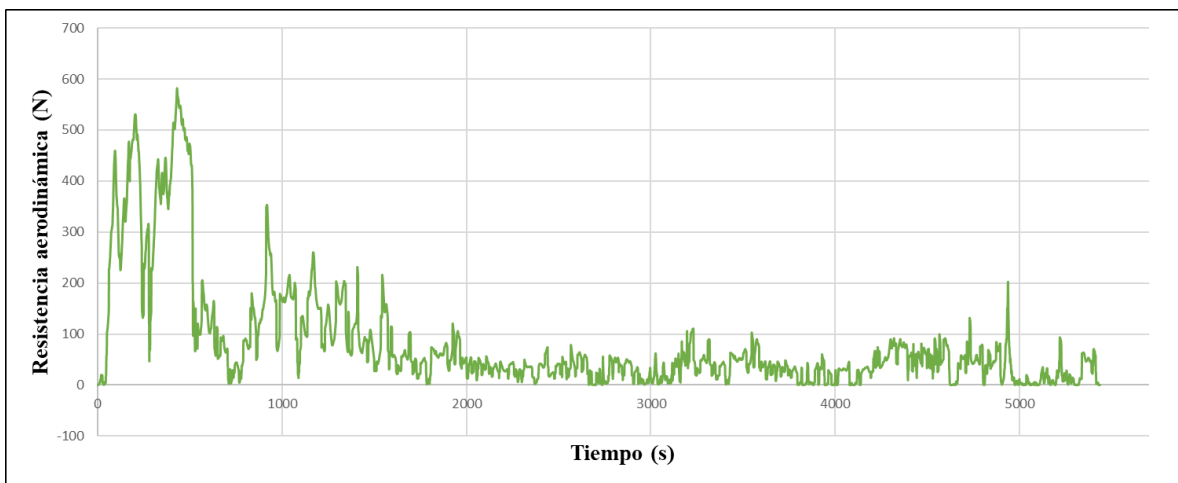
Anexo 15. Resistencia aerodinámica en la prueba 1 regreso hacia Ventanas.



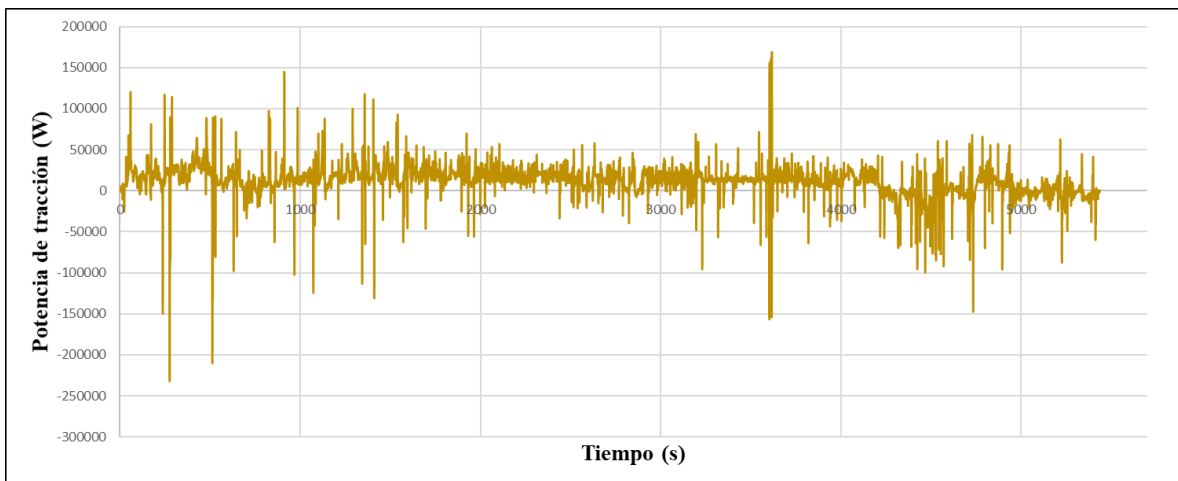
Anexo 16. Potencia de tracción en la prueba 1 regreso hacia Ventanas.



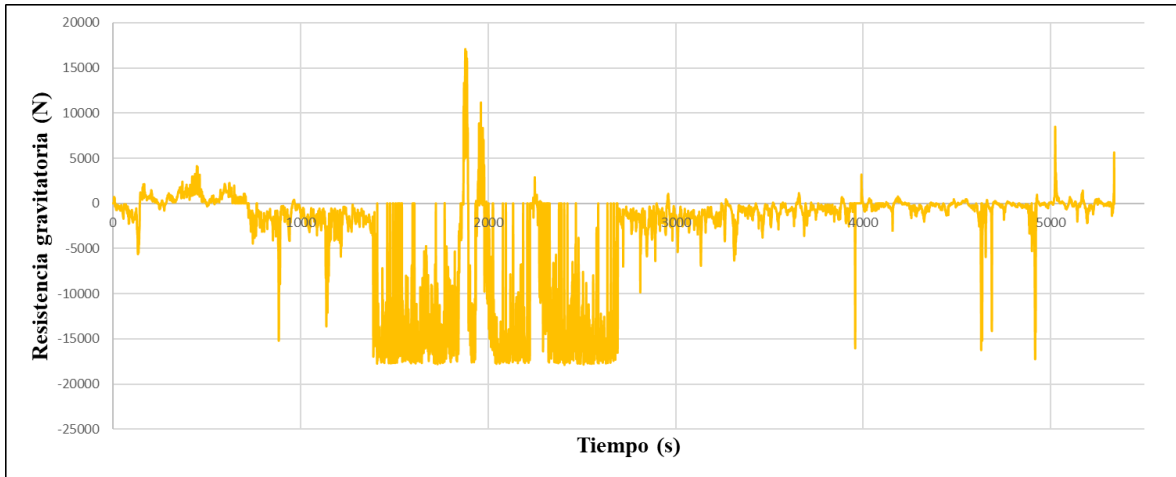
Anexo 17. Resistencia gravitatoria en la prueba 2 ida hacia Guanaju.



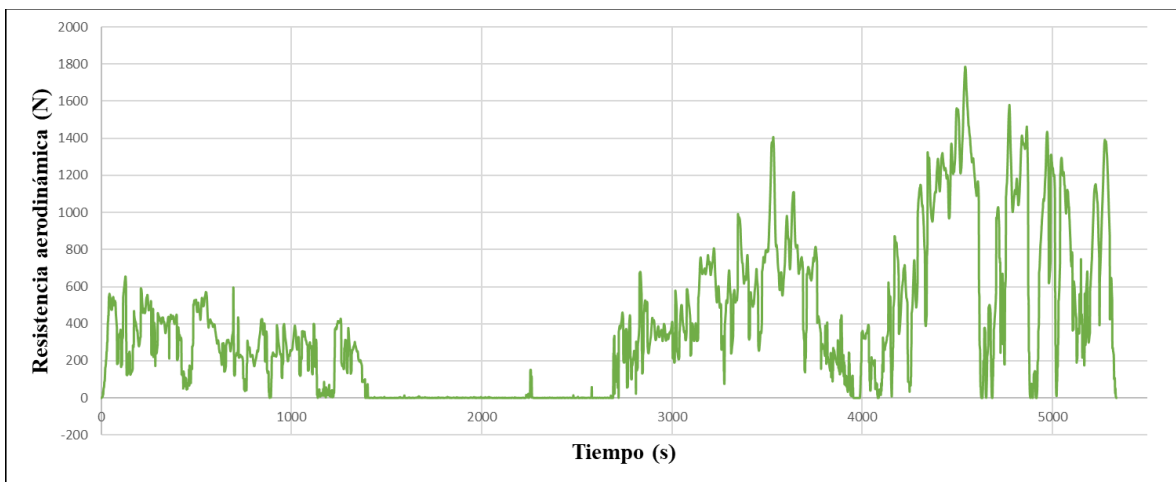
Anexo 18. Resistencia aerodinámica en la prueba 2 ida hacia Guanaju.



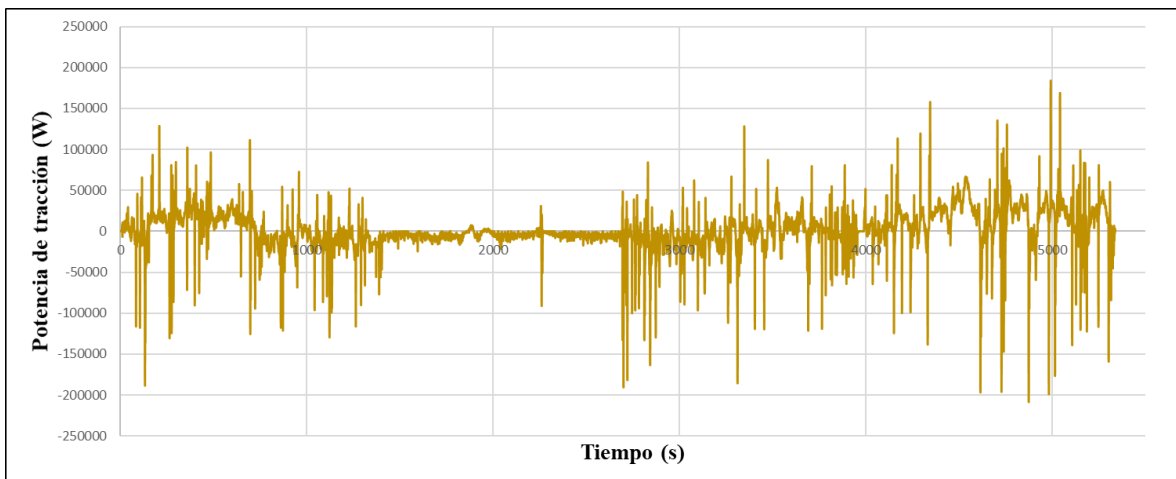
Anexo 19. Potencia de tracción en la prueba 2 ida hacia Guanaju.



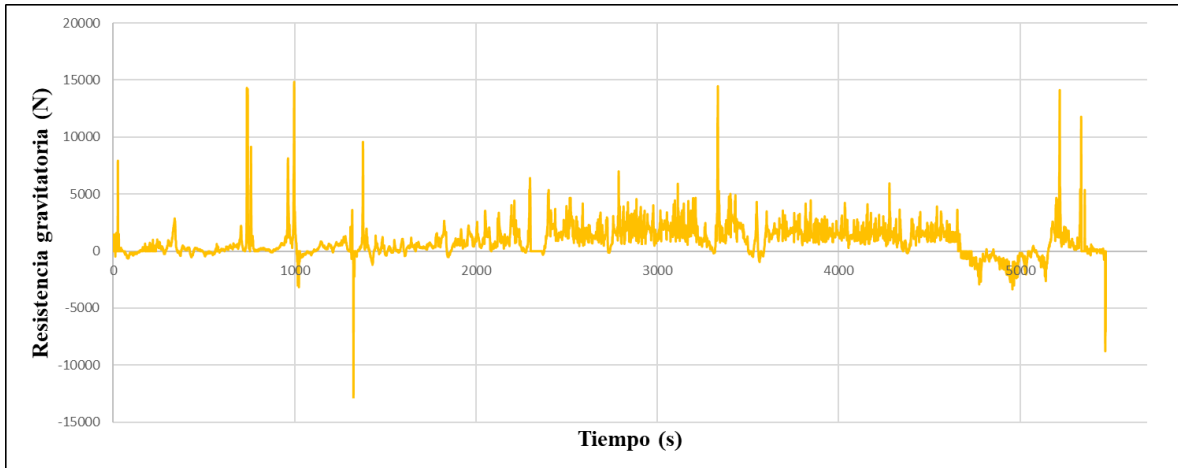
Anexo 20. Resistencia gravitatoria en la prueba 2 regreso hacia Ventanas.



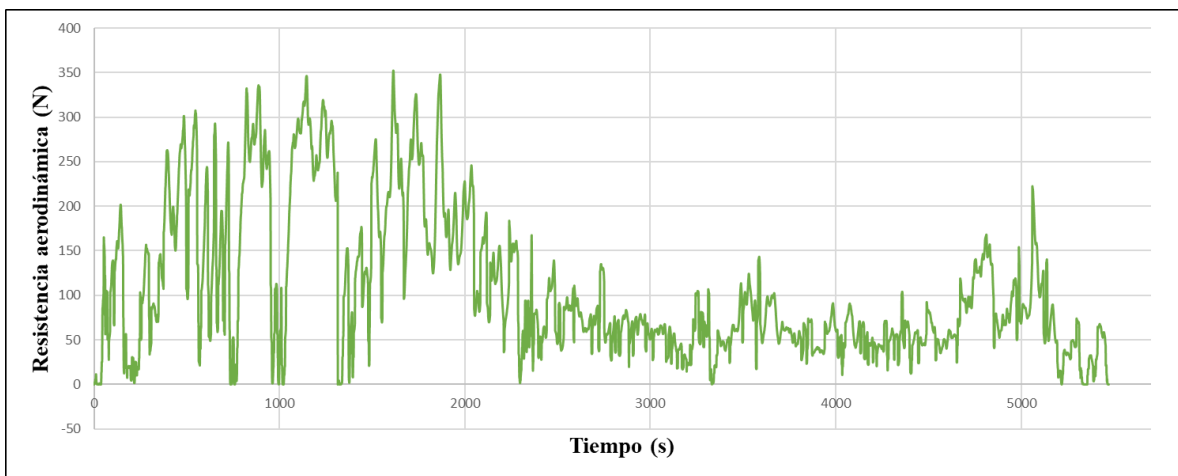
Anexo 21. Resistencia aerodinámica en la prueba 2 regreso hacia Ventanas.



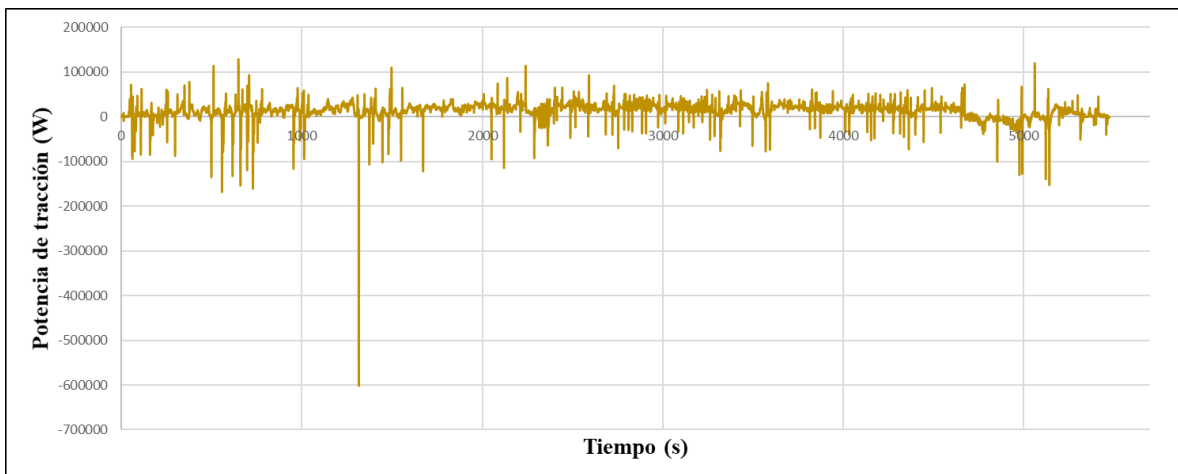
Anexo 22. Potencia de tracción en la prueba 2 regreso hacia Ventanas.



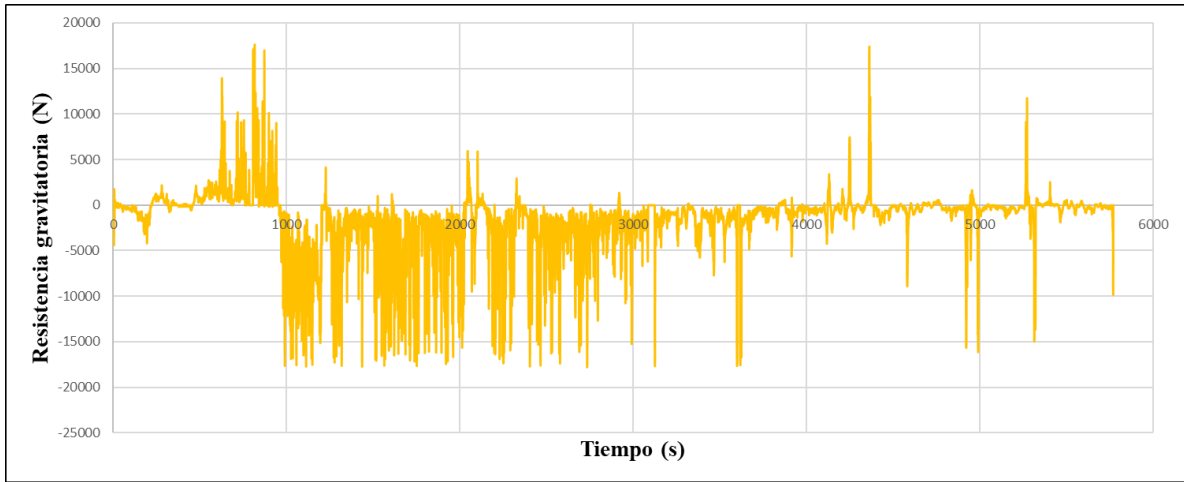
Anexo 23. Resistencia gravitatoria en la prueba 3 ida hacia Guanaju.



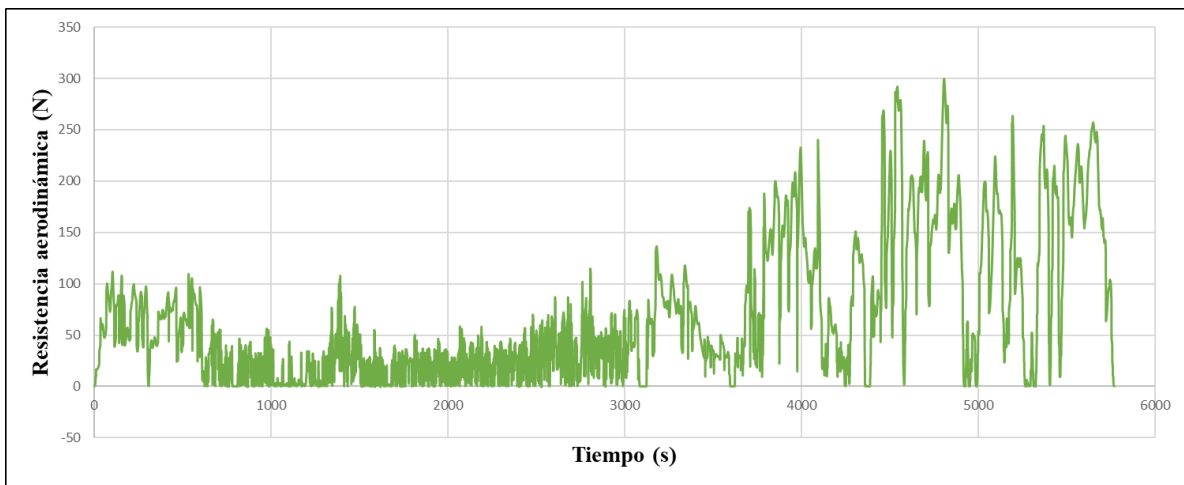
Anexo 24. Resistencia aerodinámica en la prueba 3 ida hacia Guanaju.



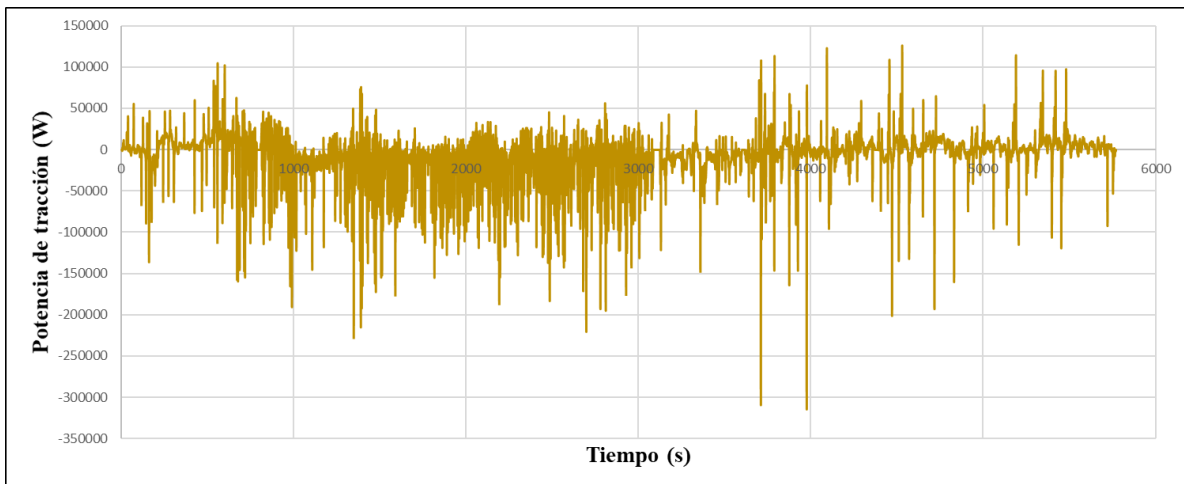
Anexo 25. Potencia de tracción en la prueba 3 ida hacia Guanaju.



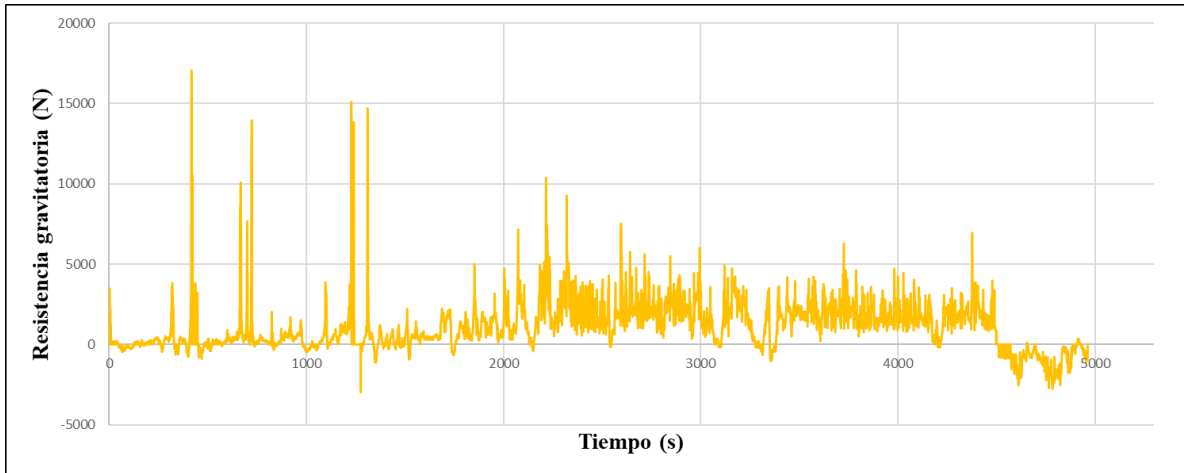
Anexo 26. Resistencia gravitatoria en la prueba 3 regreso hacia Ventanas.



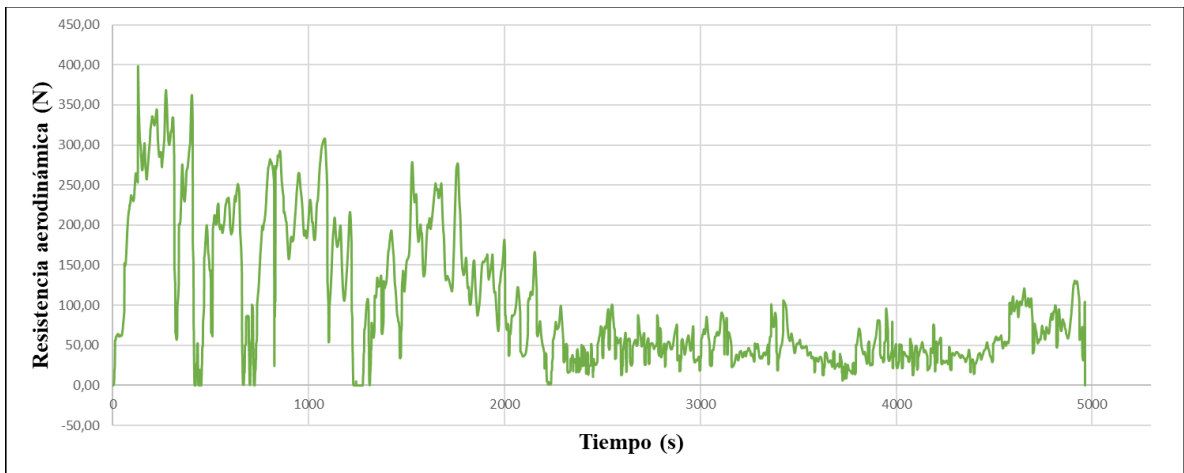
Anexo 27. Resistencia aerodinámica en la prueba 3 regreso hacia Ventanas.



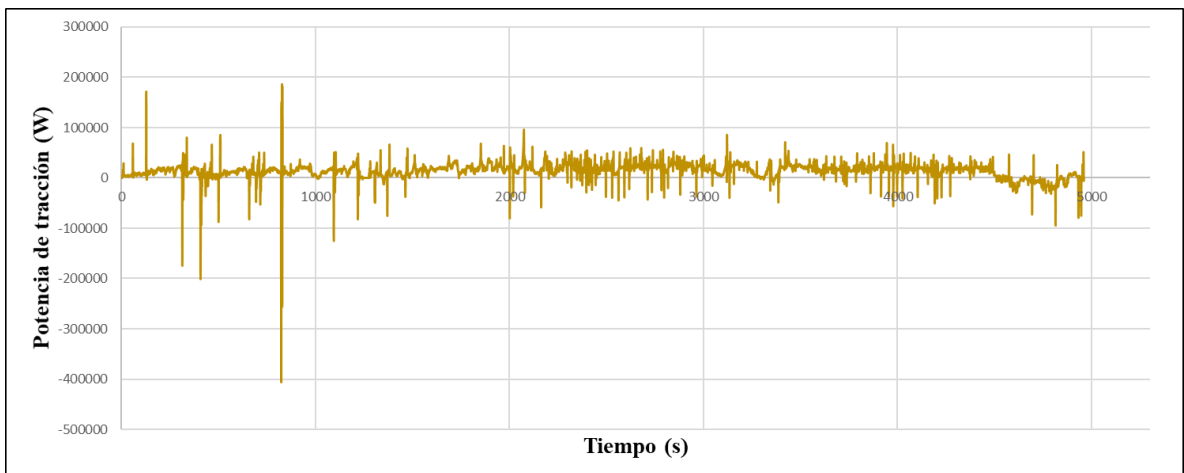
Anexo 28. Potencia de tracción en la prueba 3 regreso hacia Ventanas.



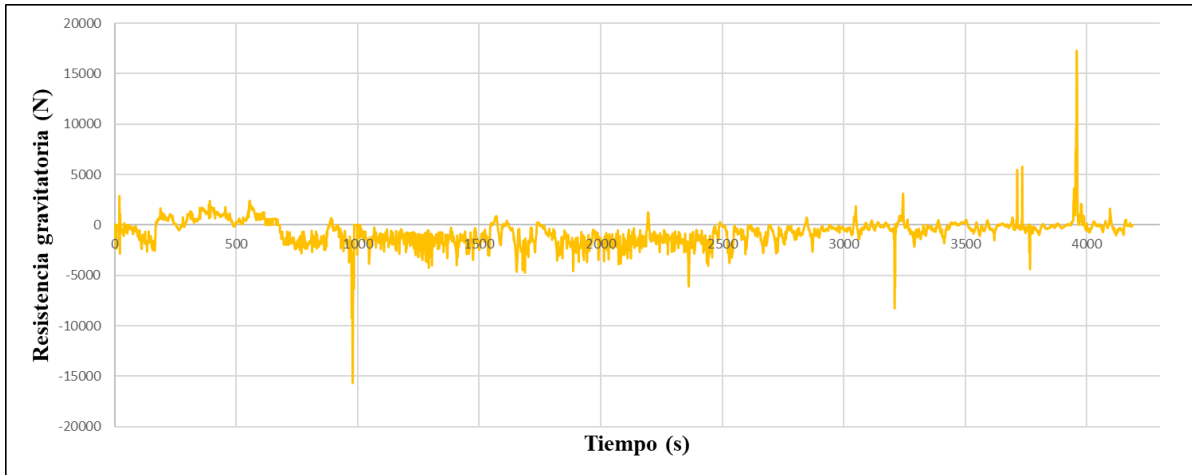
Anexo 29. Resistencia gravitatoria en la prueba 4 ida hacia Guanajuato.



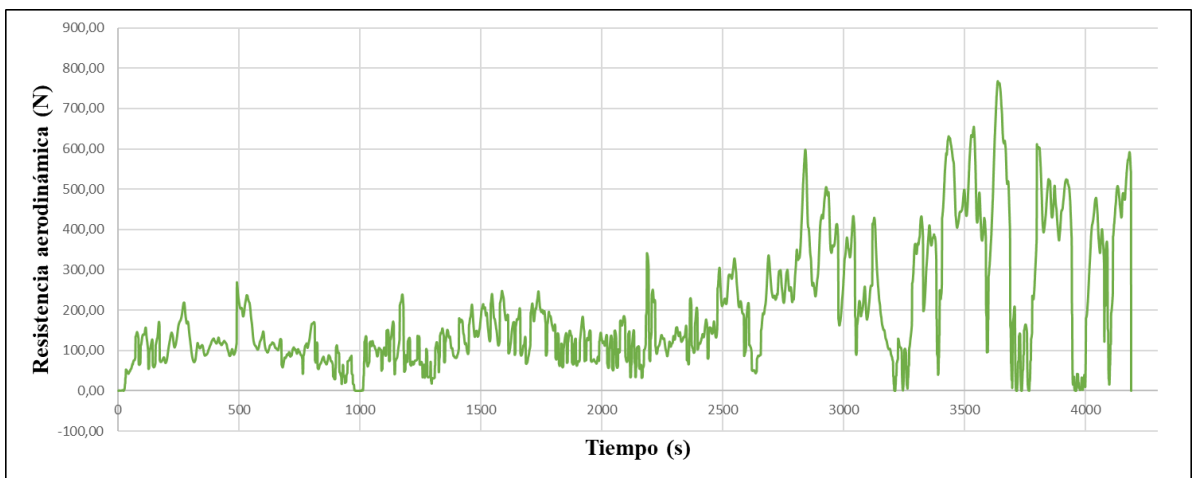
Anexo 30. Resistencia aerodinámica en la prueba 4 ida hacia Guanajuato.



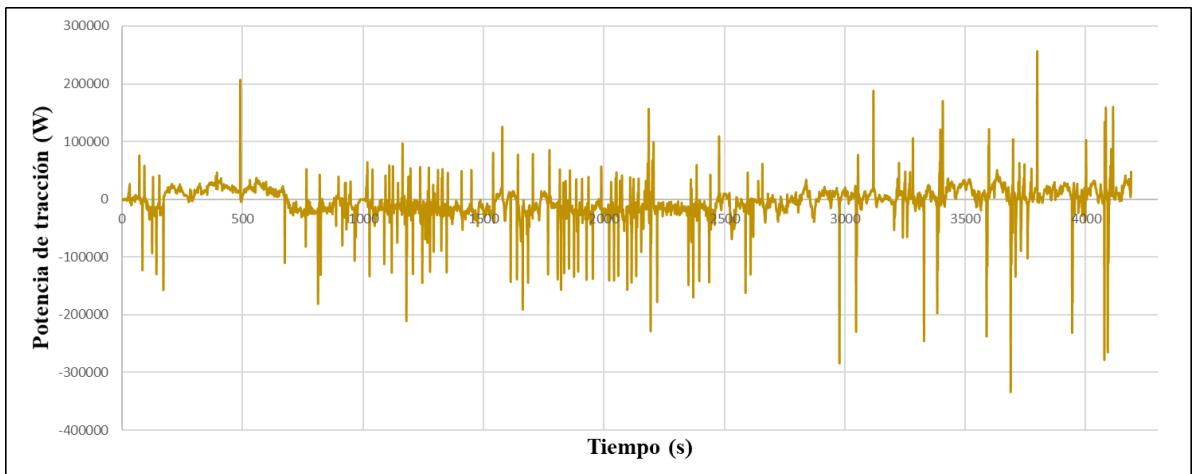
Anexo 31. Potencia de tracción en la prueba 4 ida hacia Guanajuato.



Anexo 32. Resistencia gravitatoria en la prueba 4 regreso hacia Ventanas.



Anexo 33. Resistencia aerodinámica en la prueba 4 regreso hacia Ventanas.



Anexo 34. Potencia de tracción en la prueba 4 regreso hacia Ventanas.