



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**Evaluación de un modelo de conducción eficiente en una  
unidad de la flota de transporte de pasajeros Élite Tours Cía.  
Ltda. en la ruta Cuenca- Loja**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

**Autores:**

**MUÑOZ FALCONÍ JORGE SANTIAGO**

**RIVAS PAZ LUIS FERNANDO**

**Director:**

**GUSTAVO ANDRÉS ÁLVAREZ COELLO**

**CUENCA, ECUADOR**

**2018**

## **DEDICATORIA**

A los pilares de la integridad humana: la fe, la familia y la academia. La fe, que mediante ese ser supremo brinda sabiduría, convicción y amparo; la familia, que fundamentada en el trazado ético y moral de Jorge y Delia, mis padres, es el sendero de constancia, voluntad, respeto y gratitud que sigo en cada instante de mi vida, sin olvidar los otros miembros de mi familia que también merecen un espacio en las entrañas del sentimiento. La academia, que a más de impartir acertadamente conocimientos técnicos y científicos, imparte experiencias, momentos y principios humanísticos.

Jorge M.

Dedico este trabajo de tesis a mi padre, Domingo R Rivas Castillo, mi madre Hortensia Paz Pérez, a mis hermanos Miriam Patricia y Carlos Rodrigo, por brindarme la oportunidad, valentía, apoyo y optimismo incondicional que todo hijo y hermano necesita para poder cumplir con mis desafíos y mi superación personal y profesional.

Fernando R.

## AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a todos quienes forman parte de mi dedicatoria, porque con su bondad, enseñanza y comprensión; permiten afianzar un peldaño más de mi trascendencia en cuerpo y espíritu.

Expreso un profundo agradecimiento al director del presente proyecto, el Ing. Gustavo Álvarez; quien no solo ha sido un destacado guía académico, sino ha proyectado consejos en el ámbito profesional y especialmente humano durante el tiempo compartido dentro y fuera de este proyecto.

Un sincero agradecimiento al Centro de Investigación Automotriz de la Universidad del Azuay, ERGON, especialmente a cada uno de sus miembros; por las facilidades prestadas en cuanto a equipos, herramientas y criterios técnicos para la realización del presente estudio.

Una inolvidable gratitud a la compañía de transporte turístico de pasajeros Élite Tours Cía. Ltda., principalmente a su gerente, el señor Juan Pablo Cabrera, quien de manera abierta y oportuna facilitó sus unidades vehiculares; sin desmerecer también a los conductores, los señores Abraham Paredes y Danilo Ayora, quienes con su constante disposición y pericia permitieron consolidar el presente proyecto. Por ello, recalco esa muestra de gentileza y confianza.

Jorge M.

Agradezco a Dios principalmente y por brindarme la fuerza, valor y sabiduría para seguir y haber terminado con éxito mi tesis; a mis padres por brindarme su apoyo incondicional enseñándome que con esfuerzo, trabajo y disciplina se consigue cumplir nuestras metas y objetivos.

Mi agradecimiento especial a la Universidad del Azuay por brindarme la oportunidad de poder formarme profesionalmente, gracias a ERGON centro de investigación y desarrollo de Ingeniería Automotriz por facilitarme los equipos y dispositivos para realizar mi estudio de tesis.

Mi agradecimiento también va dirigido al gerente de la empresa ÉLITE TOUR CIA LTDA. el Sr. Juan Pablo Cabrera por brindarme la aceptación y confianza de realizar el estudio en una de sus unidades de transporte.

Fernando R.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |             |
|--|-------------|
| <b>DEDICATORIA</b> .....                                     | <b>i</b>    |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....                                 | <b>ii</b>   |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....                               | <b>vii</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....                                | <b>x</b>    |
| <b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....                                | <b>xii</b>  |
| <b>RESUMEN</b> .....   | <b>xiii</b> |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | <b>xiv</b>  |
| <br>   |             |
| <b>CAPÍTULO I</b> .....                                      | <b>1</b>    |
| INTRODUCCIÓN.....  | 1           |
| ESTADO DEL ARTE .....  | 3           |
| MOTIVACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....                          | 8           |
| OBJETIVOS.....   | 9           |
| Objetivo general.....  | 9           |
| Objetivos específicos .....                                  | 9           |
| ALCANCE. ....  | 9           |
| CONCLUSIONES CAPÍTULO I.....                                 | 9           |
| <br>   |             |
| <b>CAPÍTULO II. CONDUCCIÓN EFICIENTE</b> .....               | <b>11</b>   |
| 2.1 BENEFICIOS .....   | 11          |
| 2.2 TÉCNICAS DE CONDUCCIÓN EFICIENTE .....                   | 11          |
| 2.2.1 Antes del viaje. ....                                  | 12          |
| 2.2.2 Durante el viaje.....                                  | 13          |
| 2.2.3 Después del viaje. ....                                | 16          |
| 2.3 EVALUACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE CONDUCCIÓN EFICIENTE ..... | 16          |

|  |    |
|--|----|
| 2.3.1 Rendimiento de combustible. ....             | 17 |
| 2.3.2 Apertura de la mariposa del acelerador. .... | 17 |
| 2.3.3 Rpm del motor y cambio de marchas ....       | 17 |
| 2.3.4 Aprovechamiento de la inercia ....           | 18 |
| 2.3.5 Aceleraciones y frenadas bruscas. ....       | 18 |
| 2.3.6 Períodos de ralentí. ....                    | 19 |
| 2.4 VARIABLES.....                                 | 20 |
| 2.5 CONCLUSIONES CAPÍTULO II .....                 | 20 |

**CAPÍTULO III.MATERIALES Y MÉTODOS..... 22**

|  |    |
|--|----|
| 3.1 MATERIALES.....  | 22 |
| 3.1.1 Recopilación de datos. ....                          | 22 |
| 3.1.2 Instalación del flujómetro DFM 100D.....             | 27 |
| 3.1.3 Análisis de datos y parámetros .....                 | 28 |
| 3.2 DESCRIPCIÓN DE LA RUTA .....                           | 29 |
| 3.3 DESCRIPCIÓN DEL VEHÍCULO.....                          | 31 |
| 3.4 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....                         | 31 |
| 3.5 DESCRIPCIÓN DE LOS CONDUCTORES .....                   | 31 |
| 3.6 MÉTODOS.....   | 32 |
| 3.6.1 EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE CONDUCCIÓN EFICIENTE. .... | 33 |
| 3.6.2 COMPROBACIONES DE LOS EQUIPOS.....                   | 37 |
| 3.6.3 ETAPAS .....   | 38 |
| 3.6.3.1 Etapa de conducción normal o cotidiana .....       | 38 |
| 3.6.3.2 Etapa de conducción eficiente .....                | 42 |
| 3.6.4 EVALUACIÓN FINAL DE LOS RESULTADOS.....              | 43 |
| 3.7 CONCLUSIONES CAPÍTULO III.....                         | 43 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO IV. FASE I: CONDUCCIÓN NORMAL O COTIDIANA .....</b> | <b>45</b> |
| 4.1 RESULTADOS GENERALES.....                                   | 45        |
| 4.1.1 Tiempo.....   | 45        |
| 4.1.2 Velocidad.....  | 45        |
| 4.1.3 Pasajeros. ....   | 46        |
| 4.1.4 Altitud y pendiente.....                                  | 46        |
| 4.1.5 Consumo de combustible.....                               | 46        |
| 4.1.6 Costo.....  | 49        |
| 4.2 PERÍODOS DE RALENTÍ.....                                    | 50        |
| 4.3 ACELERACIONES Y FRENADAS BRUSCAS .....                      | 54        |
| 4.4 VELOCIDAD CRUCERO O UNIFORME .....                          | 59        |
| 4.5 APROVECHAMIENTO DE LA INERCIA. ....                         | 60        |
| 4.6 RÉGIMEN DE RPM. ....  | 61        |
| 4.7 INSTRUCCIÓN AL CONDUCTOR. ....                              | 64        |
| 4.8 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR. ....                      | 65        |
| 4.9 CONCLUSIONES CAPÍTULO IV .....                              | 66        |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO V. FASE II: CONDUCCIÓN EFICIENTE .....</b>          | <b>69</b> |
| 5.1 RESULTADOS GENERALES.....                                   | 69        |
| 5.1.1 Tiempo.....   | 69        |
| 5.1.2 Velocidad.....  | 69        |
| 5.1.3 Pasajeros. ....   | 69        |
| 5.1.4 Altitud y pendiente.....                                  | 70        |
| 5.1.5 Consumo de combustible.....                               | 70        |
| 5.1.6 Costo. ....   | 71        |
| 5.2 PERÍODOS DE RALENTÍ.....                                    | 72        |
| 5.3 ACELERACIONES Y FRENADAS BRUSCAS .....                      | 74        |

|   |            |
|---|------------|
| 5.4 VELOCIDAD CRUCERO O UNIFORME .....  | 78         |
| 5.5 APROVECHAMIENTO DE LA INERCIA. .... | 79         |
| 5.6 RÉGIMEN DE RPM. ....                | 80         |
| 5.7 CONCLUSIONES CAPÍTULO V .....       | 82         |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>     | <b>84</b>  |
| RESULTADOS GENERALES.....               | 84         |
| PERÍODOS DE RALENTÍ .....               | 85         |
| ACELERACIONES Y FRENADAS BRUSCAS .....  | 87         |
| VELOCIDAD CRUCERO O UNIFORME .....      | 88         |
| APROVECHAMIENTO DE LA INERCIA .....     | 89         |
| RÉGIMEN DE RPM .....                    | 90         |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>                | <b>94</b>  |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b>             | <b>96</b>  |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                | <b>98</b>  |
| <b>ANEXOS .....</b>                     | <b>103</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1. Consumo energético en el Ecuador por sector. ....               | 1  |
| Figura 1.2. Consumo diésel del parque automotor en Ecuador. ....            | 2  |
| Figura 1.3. Ecodriving vs. otras tecnologías. ....                          | 4  |
| Figura 2.1. Esquema de la presión en neumáticos. ....                       | 13 |
| Figura 2.2. Distancia óptima de seguridad. ....                             | 16 |
| Figura 2.3. Curvas comparativas de consumo de combustible. ....             | 17 |
| Figura 2.4. Curva de eficiencia de rpm. ....                                | 18 |
| Figura 2.5. Intervalo de inercia. ....                                      | 18 |
| Figura 2.6. Períodos de ralentí. ....                                       | 19 |
| Figura 3.1. Esquema de conexión. ....                                       | 24 |
| Figura 3.2. Diagrama de instalación del flujómetro. ....                    | 27 |
| Figura 3.3. Interfaz Q Travel. ....   | 28 |
| Figura 3.4. Localización de la ruta. ....                                   | 29 |
| Figura 3.5. Intervalo tolerable para aceleraciones y frenadas bruscas. .... | 34 |
| Figura 3.6. Intervalo tolerable para velocidad crucero. ....                | 35 |
| Figura 3.7. Tramos designados para aprovechamiento de la inercia. ....      | 35 |
| Figura 3.8. Intervalo teórico de rpm. ....                                  | 36 |
| Figura 3.9. Intervalo teórico de rpm en pendientes. ....                    | 36 |
| Figura 3.10. Intervalo de rpm real. ....                                    | 37 |
| Figura 3.11. Ubicación de los equipos. ....                                 | 39 |
| Figura 3.12. Formato para el registro de información. ....                  | 39 |
| Figura 4.1. Intervalo de velocidad. ....                                    | 46 |
| Figura 4.2. Lugares de repostaje. ....                                      | 47 |
| Figura 4.3. Diagrama Altitud- Caudal- Tiempo. ....                          | 49 |
| Figura 4.4. Diagrama Caudal-Velocidad-Tiempo. ....                          | 49 |
| Figura 4.5. Intervalo antes del viaje. ....                                 | 50 |
| Figura 4.6. Intervalo durante el viaje. ....                                | 50 |
| Figura 4.7. Tiempo total ralentí durante el viaje. ....                     | 50 |
| Figura 4.8. Tiempo períodos de ralentí. ....                                | 51 |
| Figura 4.9. Puntos de congestionamiento al inicio de la ruta. ....          | 51 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 4.10. Puntos de detención en la ruta.....                            | 52 |
| Figura 4.11. Punto de alto tráfico.....                                     | 52 |
| Figura 4.12. Intervalo después del viaje.....                               | 53 |
| Figura 4.13. Consumo por períodos de ralentí.....                           | 53 |
| Figura 4.14 Intensidad de tráfico en rutas de la sierra ecuatoriana.....    | 55 |
| Figura 4.15. Puntos conflictivos en la ruta.....                            | 56 |
| Figura 4.16. Resultados aceleraciones bruscas .....                         | 57 |
| Figura 4.17. Resultados frenadas bruscas .....                              | 57 |
| Figura 4.18. Resultados por eventos bruscos .....                           | 58 |
| Figura 4.19. Resultados sin velocidad crucero.....                          | 60 |
| Figura 4.20. Resultados aprovechamiento de inercia.....                     | 61 |
| Figura 4.21. Diagrama rpm- tiempo.....                                      | 63 |
| Figura 4.22. Resultados régimen de rpm .....                                | 64 |
| Figura 4.23. Curva Torque-Potencia motor D4BH.....                          | 65 |
| Figura 4.24. Diagrama de velocidades Hyundai H1 .....                       | 66 |
| Figura 4.25. Límites de velocidad por cada marcha .....                     | 66 |
| Figura 5.1. Intervalo de velocidad.....                                     | 69 |
| Figura 5.2. Diagrama Altitud- Caudal- Tiempo.....                           | 70 |
| Figura 5.3. Diagrama Caudal-Velocidad-Tiempo.....                           | 71 |
| Figura 5.4. Intervalo de ralentí antes del viaje .....                      | 72 |
| Figura 5.5. Intervalo máximo durante el viaje .....                         | 72 |
| Figura 5.6. Tiempo total en ralentí durante el viaje .....                  | 72 |
| Figura 5.7. Resultados períodos de ralentí .....                            | 73 |
| Figura 5.8. Intervalo de ralentí después del viaje.....                     | 73 |
| Figura 5.9. Consumo por períodos de ralentí.....                            | 74 |
| Figura 5.10. Diagrama % acelerador-torque y diagrama Torque- Potencia. .... | 75 |
| Figura 5.11. Resultados aceleraciones bruscas .....                         | 76 |
| Figura 5.12. Resultados frenadas bruscas .....                              | 76 |
| Figura 5.13. Resultados por eventos bruscos .....                           | 77 |
| Figura 5.14. Resultados por velocidad crucero.....                          | 78 |
| Figura 5.15. Resultados aprovechamiento inercia .....                       | 79 |
| Figura 5.16. Diagrama rpm- tiempo.....                                      | 80 |
| Figura 5.17. Resultados régimen de rpm .....                                | 81 |
| Figura 6.1. Comparación consumo, costo y rendimiento.....                   | 85 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 6.2. Comparación consumo períodos de ralentí.....     | 87 |
| Figura 6.3. Comparación consumo eventos bruscos .....        | 88 |
| Figura 6.4. Comparación consumo por velocidad crucero .....  | 89 |
| Figura 6.5. Comparación consumo aprovechamiento inercia..... | 90 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 2.1. Beneficios de la conducción eficiente.....                         | 11 |
| Tabla 2.2. Variables obtenidas en la evaluación de conducción eficiente ..... | 20 |
| Tabla 3.1. Arduino MEGA.....  | 23 |
| Tabla 3.2. Módulo Arduino + GPS .....   | 24 |
| Tabla 3.3. GPS Q Starz .....  | 25 |
| Tabla 3.4. Lector OBD II .....  | 25 |
| Tabla 3.5. Manómetro.....   | 25 |
| Tabla 3.6. Torque App .....   | 26 |
| Tabla 3.7. Flujómetro.....  | 26 |
| Tabla 3.8. Características de la ruta Cuenca-Loja.....                        | 30 |
| Tabla 3.9. Instalaciones Élite Tours, Cuenca.....                             | 30 |
| Tabla 3.10. Instalaciones Élite Tours, Loja.....                              | 30 |
| Tabla 3.11. Ficha Técnica Hyundai H1 .....                                    | 32 |
| Tabla 3.12. Variables que inciden en el estudio .....                         | 34 |
| Tabla 3.13. Características de los tramos en descenso.....                    | 36 |
| Tabla 3.14. Compatibilidad en varios vehículos .....                          | 37 |
| Tabla 3.15. Parámetros que intervienen en el análisis estadístico .....       | 40 |
| Tabla 3.16. Variables calculadas.....   | 41 |
| Tabla 4.1. Características de los tramos en ascenso.....                      | 48 |
| Tabla 4.2. Resultados generales Fase I. ....                                  | 49 |
| Tabla 4.3. Resultados de períodos en ralentí.....                             | 53 |
| Tabla 4.4. Resultados de aceleraciones y frenadas bruscas .....               | 58 |
| Tabla 4.5. Resultados velocidad crucero o uniforme.....                       | 59 |
| Tabla 4.6. Resultados tramos aprovechamiento de la inercia .....              | 61 |
| Tabla 4.7. Características de los tramos.....                                 | 62 |
| Tabla 4.8. Resultados de régimen de rpm .....                                 | 64 |
| Tabla 5.1. Resultados generales Fase II.....                                  | 71 |
| Tabla 5.2. Resultados de períodos en ralentí.....                             | 74 |
| Tabla 5.3. Resultados de aceleraciones y frenadas bruscas .....               | 77 |
| Tabla 5.4. Resultados velocidad crucero o uniforme.....                       | 78 |
| Tabla 5.5. Resultados tramos aprovechamiento de la inercia .....              | 80 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 5.6. Resultados de régimen de rpm .....            | 81 |
| Tabla 6.1. Contraste de resultados entre las fases ..... | 91 |

## ÍNDICE DE FLUJOGRAMAS

|   |    |
|---|----|
| Flujograma 2.1. Aplicación de las técnicas de conducción eficiente..... | 12 |
| Flujograma 3.1. Herramientas para la evaluación de datos.....           | 22 |
| Flujograma 3.2. Actividades Fase I.....                                 | 42 |
| Flujograma 3.3. Actividades Fase II.....                                | 43 |
| Flujograma 3.4. Comparación de resultados.....                          | 43 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|  |     |
|--|-----|
| Anexo 1. Tabla fuerzas opositoras al movimiento.....       | 95  |
| Anexo 2. Criterios lógicos usados en Excel.....            | 97  |
| Anexo 3. Manual de Conducción Eficiente.....               | 100 |
| Anexo 4. Plantillas en Excel.....                          | 120 |
| Anexo 4a. Plantilla obtención consumo de combustible.....  | 120 |
| Anexo 4b. Plantilla determinación consumo por técnica..... | 121 |
| Anexo 4c. Plantilla generación de pendientes.....          | 122 |
| Anexo 4d. Plantilla rpm.....                               | 123 |
| Anexo 4e. Plantilla dinámica del vehículo.....             | 124 |
| Anexo 4f. Plantilla resumen.....                           | 125 |
| Anexo 5. Imágenes referenciales del estudio.....           | 126 |

**EVALUACIÓN DE UN MODELO DE CONDUCCIÓN EFICIENTE EN UNA  
UNIDAD DE LA FLOTA DE TRANSPORTE DE PASAJEROS ÉLITE TOURS CÍA.  
LTDA. EN LA RUTA CUENCA- LOJA**

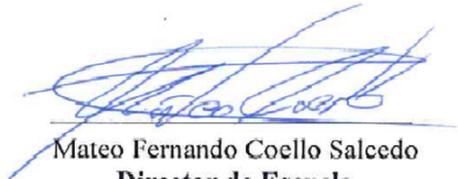
**RESUMEN**

La demanda energética del transporte en Ecuador abarca aproximadamente un 50 % del consumo total. Por ello, este estudio analiza numerosas fuentes bibliográficas que han demostrado que es posible optimizar el consumo de combustible empleando técnicas de conducción eficiente; una estrategia que se basa en la actitud del conductor. Se establecen cinco técnicas de conducción eficiente: períodos de ralentí, aceleraciones y frenadas bruscas, velocidad crucero, aprovechamiento de la inercia y régimen de rpm; medidas antes y después de una capacitación a un conductor de una flota de transporte. En una ruta de 212 km, se emplean dispositivos a bordo: flujómetro, lector OBD II, GPS y aplicación Android; generándose un ahorro de combustible del 8 %.

**Palabras clave:** Conducción eficiente, combustible, consumo energético, ralentí, aceleración, inercia, rpm, georreferenciación.



**Gustavo Andrés Álvarez Coello**  
**Director del Trabajo de Titulación**



**Mateo Fernando Coello Salcedo**  
**Director de Escuela**



**Jorge Santiago Muñoz Falconí**  
**Autor**



**Luis Fernando Rivas Paz**  
**Autor**

**EVALUATION OF AN EFFICIENT DRIVING MODEL IN A UNIT OF THE PASSENGER TRANSPORTATION FLEET OF “ÉLITE TOURS CÍA. LTDA” IN THE CUENCA - LOJA ROUTE**

**ABSTRACT**

The energy demand for transportation in Ecuador covered approximately 50% of the total consumption. This study analyzed numerous bibliographical sources that had shown that it was possible to optimize fuel consumption using efficient driving techniques, a strategy based on the attitude of the driver. Five efficient driving techniques were established: idle periods, acceleration and sudden braking, cruise speed, use of inertia and rpm regime. Measurements were made before and after training a driver of a transport fleet. On-board devices such as a flowmeter, an OBD II reader, a GPS and an Android application were used on a 212 km route. It was possible to determine a fuel saving of 8%.

**Keywords:** Efficient driving, fuel, energy consumption, idling, acceleration, inertia, rpm, georeferencing.



\_\_\_\_\_  
Gustavo Andrés Álvarez Coello  
**Degree Word Director**



\_\_\_\_\_  
Mateo Fernando Coello Salcedo  
**Faculty Director**



\_\_\_\_\_  
Jorge Santiago Muñoz Falconí  
**Author**



\_\_\_\_\_  
Luis Fernando Rivas Paz  
**Author**



\_\_\_\_\_  
Magali Arteaga  
UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY  
Dpto. Idiomas



\_\_\_\_\_  
Translated by

Ing. Paul Arpi

Muñoz Falconí Jorge Santiago

Rivas Paz Luis Fernando

Trabajo de Titulación

Ing. Gustavo Andrés Álvarez Coello, Msc.

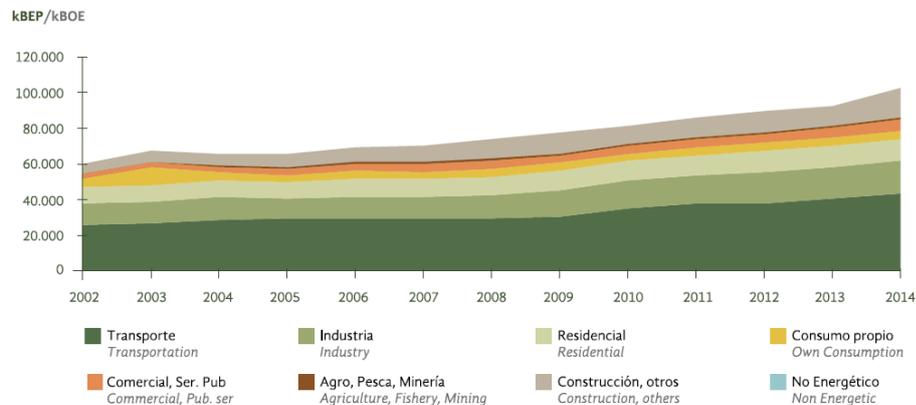
Marzo, 2018

## EVALUACIÓN DE UN MODELO DE CONDUCCIÓN EFICIENTE EN UNA UNIDAD DE LA FLOTA DE TRANSPORTE DE PASAJEROS ÉLITE TOURS CÍA. LTDA. EN LA RUTA CUENCA- LOJA

### CAPÍTULO I

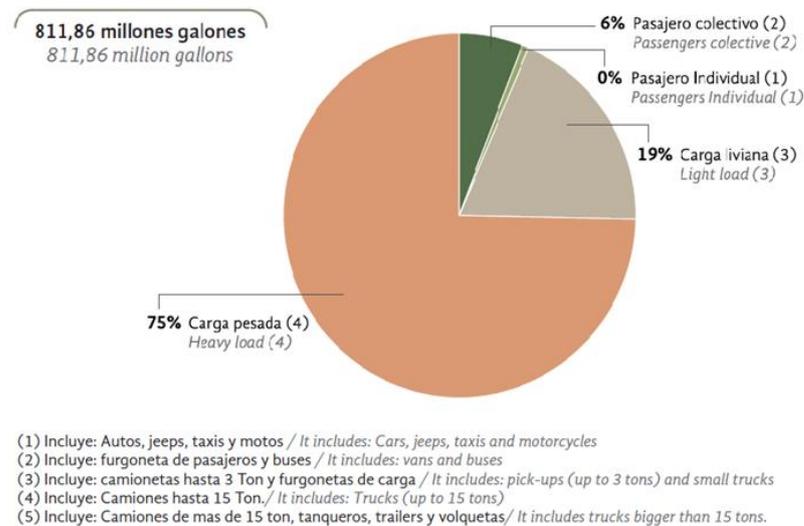
#### INTRODUCCIÓN

El transporte abarca un elevado porcentaje de la demanda energética del Ecuador. El [Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos \(2015\)](#) a través del Balance Energético Nacional da a conocer que este sector consume un 42% de la energía en el país y que proviene de fuentes como el diésel, gasolinas, gas licuado de petróleo (GLP) y la electricidad. Véase *Figura 1.1*. Además, menciona que el 45% de ese sector utiliza diésel como fuente energética; convirtiéndose en el combustible más requerido del país.



*Figura 1.1.* Consumo energético en el Ecuador por sector. Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (2015) Balance energético nacional. 2015 (Documento digital)

Consecuentemente, el transporte terrestre comprende la mayor demanda de este combustible; de la cual prima el transporte de carga, seguido por el transporte de pasajero colectivo: furgonetas de pasajeros y buses (*Figura 1.2*). Es así que, el transporte terrestre amerita un especial interés y atención (INER, 2012), más aún si se considera que esta área ayuda a “diversificar y especializar la economía”, con una expansión considerable que vincula una serie de inconvenientes que deben ser abordados desde un contexto de desarrollo sostenible (Hubental, 2010).



*Figura 1.2.* Consumo diésel del parque automotor en Ecuador.  
 Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (2015). Balance energético nacional. 2015 (Documento digital)

Si se nota que al año 2015, los vehículos entre uno a once años de antigüedad: modelos 2005 a 2016, representan el 72% del total de vehículos matriculados (INEC, 2015); es posible decir que el parque automotor en el país es relativamente moderno, con unidades vehiculares que cuentan con implementaciones que permite ejercer un mayor control de los parámetros del vehículo: rpm, consumo instantáneo y emisiones contaminantes.

Por ende, surgen nuevas estrategias para la eficiencia energética desde los diversos entes que intervienen en la movilidad: fabricantes, organismos de control, empresas de transporte, conductores, entre otros. Algunas estrategias buscan optimizar el consumo de combustible o reducir emisiones contaminantes, otros disminuir costos operativos durante sus desplazamientos. Así, las propuestas son cada vez más diversas y se encuentran en difusión por todo el mundo, no sólo enfocándose al desarrollo tecnológico de los automotores sino también al comportamiento de los

conductores, para, “conforme los principios básicos de la mecánica que relacionan la fuerza, el torque y la potencia, lograr la máxima eficiencia energética en el motor” aprovechando la tecnología automotriz actual (Rafael y Hernández, 2012).

De este modo, las recomendaciones están enfocadas a incluir dentro de las políticas públicas de transporte aspectos de una conducción eficiente, término que se entiende como un conjunto de nuevas técnicas que, unidas a una adecuada actitud del conductor; originan un nuevo estilo de conducción cuyos beneficios están enfocados a las áreas: energética, ambiental y de seguridad vial (IDAE, 2005).

## **ESTADO DEL ARTE**

El estudio de la conducción eficiente como un conjunto de técnicas ligadas al comportamiento del conductor, se encuentra en constante expansión; por ejemplo, se trata de aplicar en flotas de autobuses, taxis y camiones (IDAE, 2005), aunque su visión también abarca a conductores de vehículos particulares. Los estudios básicamente incluyen temas enfocados al consumo de combustible y emisiones contaminantes y su difusión es global.

El término conducción eficiente puede presentarse como eco driving (Strömberg y Karlsson, 2013), conducción técnica (Rafael y Hernández, 2012), eco conducción o conducción ambiental, según las fuentes textuales; también puede estar relacionado con la denominación “estilos de manejo” (Ferreira & et al., 2015), de la que se pueden obtener parámetros del comportamiento del conductor durante la marcha del vehículo: cambio de marchas, aceleración, freno, aprovechamiento de la inercia, entre otros; deduciéndose un perfil *agresivo*, *normal* y *técnico* (Sánchez y Rafael, 2000). Como es notoria, toda esta variedad de términos convergen en una sola idea: la actitud del conductor y su influencia básicamente en el consumo de combustible y las emisiones contaminantes, con efectos colaterales en: la vida útil de ciertos componentes mecánicos, la seguridad vial y el confort durante el desplazamiento.

Del mismo modo, organismos gubernamentales, regionales e interinstitucionales promueven tácticas para la difusión de técnicas de eficiencia en la conducción como políticas públicas. Algunas estrategias contemplan estándares regulatorios, objetivos

voluntarios, incentivos económicos e información al consumidor (Onoda, 2009); para tal como lo menciona el fabricante automotriz Fiat en su publicación “Los secretos del eco-driving” (2009), esta técnica puede ser utilizada por cualquier persona, en cualquier vehículo y sin importar el lugar, gracias a su alcance universal con un efecto inmediato. Véase Figura 1.3.



Figura 1.3. Ecodriving vs. otras tecnologías. FIAT (2009). Los secretos del eco driving. (Documento digital)

A pesar de ello, en muchas de las ocasiones no existe un consenso referente a las reglas de conducción eficiente, variando según el país y el fabricante; además, los conductores generalmente no tienen conocimiento sobre este tema y cambiar sus hábitos de conducción es muy difícil (Corcoba, s.f), especialmente si se piensa que la conducción durante un tiempo prolongado genera una disminución de la capacidad de respuesta neuronal y crea una sensación de reducción de velocidad, originando una conducción más rápida (Egea, s.f).

Asimismo, el entrenamiento en conducción eficiente genera resultados positivos aunque los efectos disminuyen conforme el paso del tiempo, por lo que se pueden generar incentivos a los conductores que apliquen técnicas a largo plazo tal como lo señala Liimatainen (2011); a pesar que en ciertos casos, los conductores remunerados reporten mayores niveles de falta de atención y cansancio durante la conducción en comparación con los voluntarios (Newnman y Watson, 2010).

Consecuentemente, existen diversas metodologías para analizar la influencia de la conducción eficiente en el consumo de combustible; por ejemplo, Corcoba y Muñoz (2014) emplean algoritmos genéticos para el cálculo de la velocidad media efectiva

en una ruta y validan su propuesta a través de situaciones reales con y sin incidentes de tráfico. [Yay & et al. \(2014\)](#) a través de algoritmos de coincidencia, desarrollaron un sistema que crea recomendaciones individuales ante la variación de las condiciones de conducción. [Correa & et al. \(2010\)](#) emplearon el diseño de experimentos para evaluar un modelo de conducción eficiente en carretera. [Schall y Mohnen \(2015\)](#) proponen experimentos de campo para evaluar técnicas de conducción eficiente y comparan los resultados al usar incentivos monetarios y no monetarios.

Además, pueden presentarse metodologías que resultan eficaces sólo para el lugar en el que fueron desarrolladas; por ejemplo, [Hiraoka & et al. \(2009\)](#), aplican técnicas de conducción eficiente alemanas y japonesas, estableciendo que la propuesta nipona provee de un mayor ahorro de combustible. [Strömberg y Karlsson \(2013\)](#) definen como variables la distancia recorrida, el tiempo de conducción, tiempo de inercia, tiempo de velocidad excesiva, desaceleración brusca, arranque por inercia y combustible, dentro de una evaluación a conductores de buses divididos en grupos. [Pañeda & et al. \(2016\)](#) establecen una secuencia de pasos: inician con el planteamiento de las técnicas de conducción eficiente, seguidos de la definición de competencias y objetivos de aprendizaje, posteriormente aparecen indicadores de medición KPIS (Indicadores medibles y cuantificables de la satisfacción de un determinado proceso), luego dominios de conducción para definir acciones diferentes a las normales conforme el tipo de vehículo, servicio y ruta; después una categorización por relevancia de los resultados de aprendizaje para, finalmente; asignar la importancia de los objetivos de aprendizaje y evaluar el grado de cumplimiento de dichas metas. [Schall y Mohnen \(2015\)](#), además incluyen dentro de su estudio variables como la edad de los conductores, la temperatura ambiente y el nivel de precipitaciones.

Respecto a las herramientas de medición utilizadas, es común el uso de dispositivos a bordo para la supervisión y registro de los parámetros de conducción. Tal es el caso de [Beusen & et al. \(2009\)](#), quienes utilizaron una tarjeta de memoria, un módem GPRS (Servicio General de Paquetes vía Radio) y un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) conectado a la entrada CAN (Red de Área de Campos) del vehículo; equipamiento que durante las pruebas permaneció oculto de los conductores. Para factores externos como las condiciones climatológicas, [Ferreira &](#)

et al. (2015) determinan estos parámetros a través de referencias online. Liimatainen (2011) aplica un análisis a una flota de buses de transporte urbano, usando un identificador del conductor a través de la máquina automática de cobro, un GPS y la red CAN del vehículo para, mediante un dispositivo GPRS, enviar la información a una base de datos. Corcoba (s.f) plantea para la obtención de la telemetría del vehículo, conectar un dispositivo conversor de OBDII a Bluetooth. Este dispositivo está comunicado con un móvil Android.

En consecuencia, la información analizada permite evaluar el comportamiento de los conductores; presentándose métodos para la difusión de técnicas de conducción eficiente, desde maneras sencillas como la inclusión de contenidos dentro de programas de formación para la obtención de permisos de conducción (IDAE, 2005), entrenamientos particulares dirigidos a conductores de flotas vehiculares (Strömberg y Karlsson, 2013); hasta aplicaciones de advertencia a bordo para dispositivos Android, como el prototipo diseñado por Corcoba (s.f), en el que el hardware del sistema son un dispositivo móvil Android con GPS y un adaptador OBD (Sistema de Diagnóstico a Bordo); proveyendo al usuario de recomendaciones al detectarse alguna acción ineficiente.

Como se muestra, los estudios sobre conducción eficiente están presentes en todo el mundo, en especial en zonas que en un mayor grado promueven la eficiencia energética. Tal es el caso de Europa; específicamente España, que pone a disposición un manual de conducción eficiente para conductores de vehículos industriales (IDAE, 2005). En Suecia, se enfoca la conducción eficiente a flotas de transporte urbano de pasajeros (Strömberg y Karlsson, 2013), recalándose la dificultad para poner en práctica ciertas técnicas. También se pueden encontrar análisis sobre el comportamiento humano en conducción: factores perceptivos, cognitivos y de respuesta (Egea, s.f)

En Asia, Taiwán cuenta con un estudio para recompensar económicamente la aplicación efectiva de las técnicas de conducción eficiente (Lai, 2016). En Japón, como consta en líneas anteriores, se han comparado dos técnicas de conducción eficiente: la alemana y la japonesa; utilizando como herramientas modernos simuladores de conducción y tráfico (Hiraoka, 2009).

En Oceanía, Australia cuenta con una evaluación en condiciones reales de la efectividad de las capacitaciones a conductores sobre conducción eficiente, con una

muestra de 1056 conductores particulares monitoreados por siete meses; a través de una selección de conductores tanto del interior como del exterior de áreas metropolitanas, generando una reducción del 4,6% de consumo de combustible durante los desplazamientos (Jeffreys & et al., 2016).

En América, Estados Unidos dispone con un estudio a través de pruebas en dinamómetros para vehículos ligeros, aplicando ciclos de conducción pre establecidos (Berry, 2010). México a través del Instituto Mexicano de Transporte (Sánchez y Rafael, 2000), se evaluaron varios estilos de manejo y sus repercusiones en las emisiones contaminantes y el rendimiento, basándose en el ciclo 5 millas desarrollado por la Universidad West Virginia de los Estados Unidos, en los que a través de porcentajes de apertura de la mariposa del acelerador, se establecen modelos de conducción: agresiva, normal y técnica.

En la región, en Colombia se ha analizado un modelo de conducción eficiente a través del diseño de experimentos, un planteamiento aplicado en una ruta de distancia considerable, determinándose los factores presentes en la conducción de vehículos de carga pesada que pueden incidir en el consumo de combustible (Correa A & et al, 2010). A través de alianzas estratégicas, se busca propagar el conocimiento en torno a la conducción eficiente. Tal es el caso del Clean Air Institute (2017) que, con el apoyo de organizaciones de los sectores público y privado de América Latina y el Caribe lleva a cabo un programa denominado CONDUCE, con la meta de desarrollar capacidades técnicas de conducción eficiente a nivel regional.

A nivel nacional, se presenta un estudio de conducción eficiente realizado a través del ciclo de conducción IM240 y evaluado en un banco dinamométrico (García y Villalba, 2016). También ha sido analizada la actitud que presentan los conductores antes, durante y después de la conducción, estableciéndose una comparación entre los datos de cada conductor con los de una conducción estándar referencial que agrupa ciertas características que un conductor debe presentar (Inca & et al, 2014).

Loaiza y Rodríguez (2013), dentro de su estudio de eficiencia del sistema de transmisión y frenado de los vehículos de transporte pesado de una escuela de capacitación de conductores profesionales, formulan un manual de conducción eficiente en el que se destacan las características técnicas de las unidades de las flotas

del lugar y la determinación de las gráficas de velocidades para una selección óptima de marchas. [Arboleda \(2010\)](#) propone un manual de conducción eficiente en el que menciona ciertas técnicas, precisa el mantenimiento que se debe efectuar en el vehículo y realiza pruebas en una unidad vehicular aplicando las recomendaciones planteadas sin especificar ni cuantificar técnicas específicas.

Por consiguiente, considerando la importancia del sector transporte y de la demanda del diésel como fuente energética; es pertinente implementar un proyecto que sirva como referencia de primer orden ([Onoda, 2009](#)) para la optimización de combustible en flotas vehiculares, a través de un análisis real que permita aplicar técnicas de conducción eficiente cuantificables y específicas, con el propósito de obtener réditos energéticos y económicos, sin desprestigiar los beneficios ambientales, de seguridad vial y de vida útil de componentes que también se generan.

## **MOTIVACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El transporte abarca un elevado porcentaje del consumo energético en Ecuador, específicamente un 42% del total del consumo nacional; destacando como fuentes energéticas: el diésel, la gasolina, el GLP y la electricidad ([Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2015](#)).

Consecuentemente, es pertinente analizar alternativas para la optimización del consumo de combustible en un sector de alta demanda energética, a través de métodos sencillos y eficaces que no requieren de mayor equipamiento e inversión sino que influyen en el aspecto humano, permitiendo el ahorro de recursos energéticos y económicos; beneficiando también a la seguridad vial, el confort de los usuarios y la reducción de emisiones contaminantes ([Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía, 2002](#))

Es así que, la manera de conducir un vehículo depende notablemente del factor humano; existiendo una serie de estudios, manuales y otras referencias que analizan el comportamiento del conductor y su influencia en el consumo energético (combustible), determinándose ciertas falencias que a través de una instrucción sencilla pueden ser corregidas ([Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía, 2002](#)).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Obtener un modelo de conducción eficiente en una unidad de la flota de transporte de pasajeros (busetas) en la ruta Cuenca- Loja.

### **Objetivos específicos**

- Obtener las técnicas de conducción actuales en una unidad de la flota de transporte de pasajeros (busetas) en la ruta Cuenca-Loja.
- Determinar las técnicas de conducción eficiente idóneas para una unidad de la flota de transporte en la misma ruta.
- Determinar el consumo de combustible con y sin la aplicación de técnicas de conducción eficiente.

## **ALCANCE.**

El estudio de conducción eficiente influye en aspectos humanos de conducción y no requiere de equipos ni de inversión para su aplicación. Únicamente define técnicas específicas para la ruta Cuenca Loja, diseñadas conforme los parámetros técnicos de las unidades Hyundai H1 y de las condiciones topográficas de esa ruta. El estudio evalúa el modelo en un sólo conductor de la flota; con la intención de optimizar el consumo de combustible y generar un modelo para las otras unidades de la compañía Élite Tours Cía. Ltda.

## **CONCLUSIONES CAPÍTULO I**

-El sector del transporte terrestre requiere de una atención prioritaria desde el punto de vista de optimización de los recursos energéticos, puesto que la demanda de combustibles como el diésel abarca un porcentaje del 42%; más aún cuando es un

sector que promueve el desarrollo económico y las empresas destinan altos costos a rubros como el combustible.

-El estilo de conducción tiene influencia directa sobre el consumo de combustible y, tal como lo demuestran numerosos estudios, las repercusiones también abarcan emisiones contaminantes, costos operativos y estado de los componentes vehiculares. Por ello, la instrucción a los conductores constituye un mecanismo directo y que no requiere mayor inversión cuando se desea reducir el consumo de combustible en una determinada flota vehicular.

-Aunque no existe un consenso sobre las técnicas que un modelo de conducción eficiente debe incluir, tampoco sobre el procedimiento para cuantificar una determinada técnica; el estado del arte permite evidenciar con cifras, entre un 5 y 15%, la reducción del consumo de combustible a través de técnicas definidas por los investigadores; empleando como herramientas dispositivos a bordo satelitales, lectores de OBD II y aplicaciones Android por celular.

## CAPÍTULO II

### CONDUCCIÓN EFICIENTE

Según la [Dirección General de Tráfico de España \(2014\)](#), es un nuevo método para conducir los vehículos, cuyo propósito fundamental es reducir el consumo de combustible y la contaminación ambiental; además proveer un mayor confort en la conducción y una mayor seguridad vial. Abarca una serie de reglas sencillas y eficaces que se benefician de las ventajas que ofrece la tecnología automotriz actual y está basada en la actitud del conductor y su estilo de conducción.

#### 2.1 BENEFICIOS

Del mismo modo, la [Dirección General de Tráfico de España \(2014\)](#) señala algunas ventajas de esta técnica; tal como se indica en la *Tabla 2.1*:

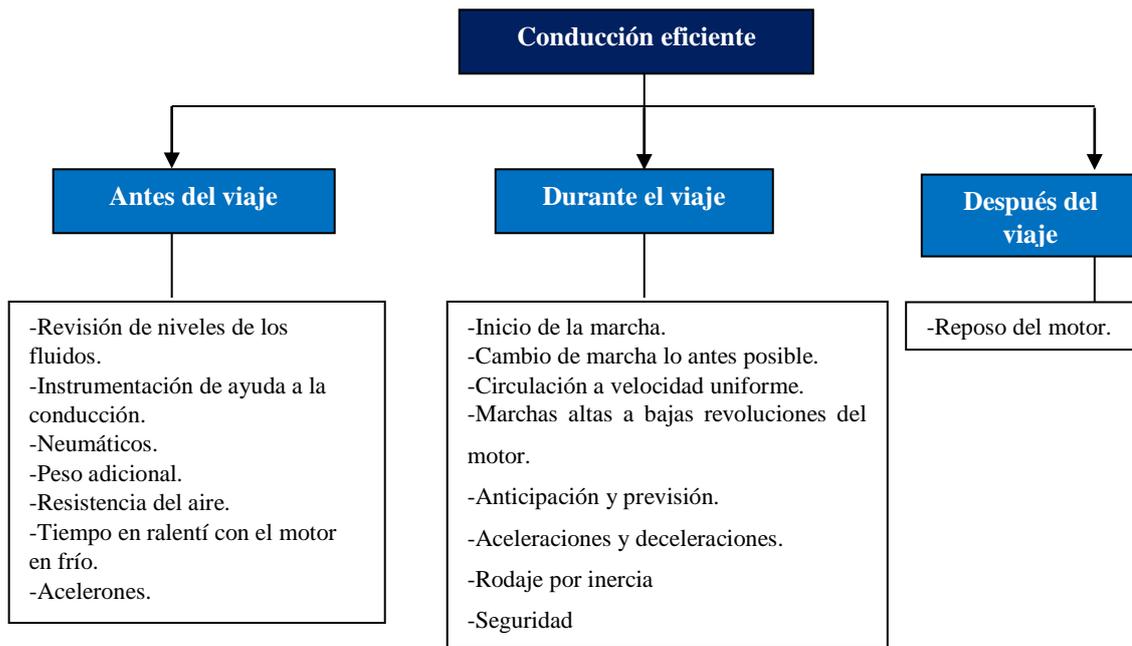
**Tabla 2.1**

*Beneficios de la conducción eficiente.*

| <b>Ítem</b>      | <b>Beneficio</b>   |
|------------------|--|
| Conductores      | -Aumento del confort.  |
|                  | -Disminución de la tensión.  |
|                  | - Disminución del riesgo y gravedad de los siniestros.   |
| Parque automotor | -Ahorro monetario de combustible: hasta ahorros medios de carburante en un orden del 15%   |
|                  | -Reducción de costos de mantenimiento: frenos, embrague, caja de cambios, neumáticos y motor.  |
|                  | -Al existir aceleraciones de una forma más efectiva, se evitan mayores detenciones y existe un mejor aprovechamiento de las inercias que presenta el vehículo en su circulación. |
| Seguridad vial   | -Al mantenerse una distancia de seguridad, existe un mayor tiempo de reacción.   |
|                  | - Se mantiene una velocidad media constante.   |
|                  | -Se produce anticipación y previsión, manteniéndose también un adecuado campo visual.  |

#### 2.2 TÉCNICAS DE CONDUCCIÓN EFICIENTE

Las técnicas de conducción eficiente abarcan una serie de procedimientos a efectuarse antes, durante y después del viaje. El siguiente cuadro resume las principales consideraciones.



Flujograma 2.1. Aplicación de las técnicas de conducción eficiente

En consecuencia, a continuación son detalladas las técnicas antes listadas.

### 2.2.1 Antes del viaje.

**-Revisión de niveles de los fluidos:** Aceite del motor, refrigerante, fluido de dirección, líquido de frenos.

**-Instrumentación de ayuda a la conducción:** Limpieza y colocación de los retrovisores, inspección del sistema de alumbrado, inspección de luces de advertencia.

**-Neumáticos:** Control de la presión, desgaste, incrustaciones, estado del neumático de emergencia. Una baja presión de inflado implica un sobrecalentamiento del neumático, mayor consumo de combustible y desgaste más rápido. En cambio, un exceso en la presión de inflado reduce la vida útil del neumático así como su adherencia e influye en el desplazamiento. Por ello, un neumático con una presión de un 20% por debajo de la aconsejada dura un 20% menos, es decir puede generar una pérdida de 8000 km en una distancia potencial de 40.000 km (Michelin, 2017). Véase Figura 2.1.



Figura 2.1. Esquema de la presión en neumáticos.  
Grupo San Juan S.A. (2017).

**-Peso adicional:** Una carga extra de 100 kg en un vehículo de gama media de 1.500 kg supone un consumo extra del orden del 7% (IDAE, 2002).

**-Resistencia del aire:** Los accesorios extras alteran la aerodinámica y por ende la fuerza de resistencia aerodinámica, por ejemplo: portabicicletas, alerones (IDAE, 2005).

**-Tiempo en ralentí con el motor en frío:** Mantener el motor en ralentí por tiempo excesivo mientras está parado el vehículo (fuera de ruta), es una práctica muy común. Luego de encenderse, el motor no deberá mantenerse por mucho tiempo en ralentí debido a que no se encuentra en su temperatura óptima de funcionamiento, situaciones que generan una mala combustión y un aumento en el consumo de combustible. Los motores modernos, destacan por una mayor efectividad; requiriendo de menor tiempo en ralentí durante el encendido inicial (IDAE, 2005).

**-Acelerones:** Los acelerones bruscos (4000 rpm) con el motor en frío provocan una mayor fricción y desgaste de los mecanismos internos (turbo y motor), debido entre otras cosas a la lubricación ineficiente en ese instante. Es recomendable no sobrepasar las 2000 rpm y pisar el acelerador de forma lenta y progresiva (IDAE, 2005). Del mismo modo, durante el encendido del motor del vehículo no es recomendable pisar el acelerador. Los motores modernos cuentan con sistemas electrónicos que controlan el encendido y al pisar el pedal del acelerador, se alteran y desajustan los mandos electrónicos (IDAE, 2005).

### 2.2.2 Durante el viaje.

**-Inicio de la marcha:** la primera relación de marchas (1ª), debe utilizarse sólo para poner en movimiento el vehículo. Referencialmente, puede cambiarse a la segunda relación de marchas (2ª) a los 2 segundos o análogamente a los 6 metros recorridos.

**-Cambio de marcha lo antes posible:** Para los vehículos a gasolina, es recomendable el cambio de marchas entre las 2000 y 2500 rpm. Para los vehículos diésel los cambios se recomiendan entre las 1500 y 2000 rpm.

**-Circulación a velocidad uniforme:** La aceleración de un motor requiere de mayor combustible en el sistema de inyección para satisfacer la combustión interna. Por lo tanto, al momento de frenar, parte de la energía generada por el combustible se perderá, provocando además incrementos de consumo en las aceleraciones consiguientes para compensar la velocidad de circulación durante el frenado. En consecuencia, deben evitarse al máximo los picos y valles de velocidad (cambios bruscos al acelerar o frenar), para así nivelar el consumo energético durante el recorrido, evitándose un gasto innecesario de energía por aceleraciones y frenadas repetidas (IDAE, 2005).

**-Marchas altas a bajas revoluciones del motor:** Es importante mantener el pedal del acelerador pisado a 3/4 partes de su recorrido, considerándose las condiciones de carga del vehículo, de circulación, de pendiente de la vía y del motor de la unidad (IDAE, 2005).

**-La anticipación y previsión:** La anticipación y la distancia adecuada de circulación proporcionan mayor seguridad al conductor, haciéndole posible identificar el estado del tráfico y evitar ciertos imprevistos a tiempo. Se debe evitar adelantar vehículos para acortar distancias antes de llegar a un semáforo, a una intersección de vías; los adelantamientos innecesarios afectan la conducción y generan agresividad en los conductores (IDAE, 2005).

**-Aceleraciones y deceleraciones:** Durante la aceleración, es recomendable evitar "arrancones " o brusquedad, con precaución de patinar el embrague y con la realización de cambios progresivos de marchas llegando al cambio más alto lo más rápido posible y empleando todas las marchas. Del mismo modo, tener precaución y no usar el máximo régimen del motor para el cambio de marchas sino tratar de hacerlo al régimen recomendado (IDAE, 2005).

En las deceleraciones es recomendable mantener el motor girando sin pisar el acelerador y con la relación de marchas en la que se circula engranada. Además, por

encima de un número mínimo de revoluciones cercano al de ralentí, el consumo de carburante del motor es nulo, es decir, no se consume carburante, generándose también un efecto de retención del motor de mucha utilidad al desacelerar (IDAE, 2005).

**-Rodaje por inercia:** Al llegar a un cruce o una aproximación en la que sea requerida la detención, se puede aprovechar la inercia que lleva el vehículo (dejar de acelerar y no frenar) con la marcha engranada, las rpm en un régimen bajo; provocándose un consumo de combustible nulo. El uso del freno puede ser lento y pausado (IDAE, 2005).

Cuando existe una aproximación a una pendiente negativa (bajada), la aceleración debe disminuirse suavemente, adelantar la marcha (poner una marcha mayor a la que se está circulando) y dejar rodar al vehículo por cuenta propia al máximo posible (sin pisar el acelerador) hasta obtener la velocidad deseada (IDAE, 2005).

En pendientes negativas, es recomendable el uso del freno motor; una técnica que consiste en la reducción de la marcha de circulación para, a través de la propia inercia del vehículo, sin pisar el pedal del acelerador; lograr que las ruedas motrices no reciban movimiento del motor sino que estas lo hagan girar. Por ende, la resistencia generada por el motor actuará como freno reduciendo la velocidad del vehículo (IDAE, 2005).

**-Seguridad:** Al tomar una curva es necesario considerar su radio, anchura del carril, superficie, peraltes y otras características del entorno. El conductor finalmente decidirá la velocidad a la que entrará en la misma, debiendo evitar aceleraciones o frenazos repentinos por falta de previsión y anticipación (IDAE, 2005).

En un adelantamiento se debe minimizar el tiempo invertido en la maniobra, obteniéndose del motor sus máximas prestaciones. Esto es posible a través del buen manejo de la caja de cambios, situándose al motor en la zona de revoluciones que provean la potencia máxima. Una acción de adelantamiento debe ser bien ejecutada, de un modo tal que al cambiar de carril, la velocidad sea mayor que la del vehículo adelantado (IDAE, 2005). Véase Figura 2.2.



*Figura 2.2.* Distancia óptima de seguridad.  
Grupo San Juan S.A (2017).

En adelantamientos o situaciones de peligro en las que el conductor considere vulnerabilidad, es importante prescindir de ciertas técnicas aquí expuestas, ya que la seguridad prevalece sobre la economía.

### **2.2.3 Después del viaje.**

Luego de un proceso de conducción es aconsejable dejar reposar el motor encendido por un período de 2 minutos, preservándose una reducción paulatina de la temperatura del motor y de las rpm del turbocargador; así como se garantiza la lubricación en el turbocargador ([Hyundai, s.f.](#)).

## **2.3 EVALUACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE CONDUCCIÓN EFICIENTE**

No existe un consenso sobre los procedimientos de medición, tampoco sobre las unidades de medida para determinar si una conducción es eficiente ([Newman y Watson, 2011](#)). Sin embargo, es común encontrar información en la que son determinados los siguientes parámetros del vehículo:

- a.- Consumo de combustible.
- b.- Apertura de la mariposa del acelerador.
- c.- RPM del motor y cambio de marchas
- d.- Aprovechamiento de la inercia.
- e.- Aceleraciones y frenadas bruscas.
- f.- Períodos de ralentí.

### 2.3.1 Rendimiento de combustible.

Su unidad de medida es la relación del volumen de combustible consumido por el vehículo entre un recorrido de 100 km [L/100 km]. Este parámetro es determinado a través del puerto OBD II mediante dispositivos registradores de datos de la red CAN (Ferreira & et al, 2015). Véase Figura 2.3.

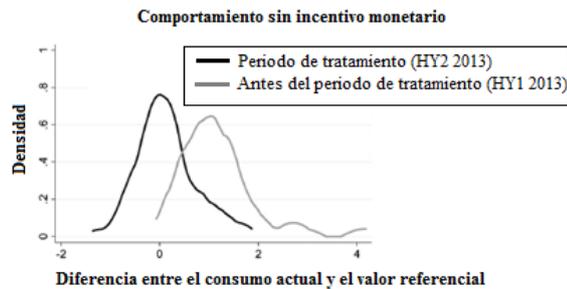


Figura 2.3. Curvas comparativas de consumo de combustible. Schall y Mohnen (2015).

### 2.3.2 Apertura de la mariposa del acelerador.

La zona de consumo específico mínimo de combustible está situada en regímenes ligeramente inferiores al de par máximo, con un recorrido del acelerador presionado aproximadamente 3/4 partes de su recorrido total (IDAE, 2005); teniendo el conductor una influencia directa en la cantidad de combustible proporcionada al motor (Rafael y Hernández, 2012). Por ello, es determinado el porcentaje de apertura de la mariposa del acelerador [%] durante un recorrido a través del puerto OBD II.

### 2.3.3 Rpm del motor y cambio de marchas

Las revoluciones por minuto [rpm], representan la velocidad de giro que se producen en el volante motor y permiten conocer si la selección de la marcha fue realizada a bajos niveles de rpm (zona verde del cuentarrevoluciones); área que corresponderá aproximadamente con el inicio del intervalo de revoluciones de par máximo. Es decir, permite establecer un rango de revoluciones para circular a una determinada velocidad. Este parámetro también es determinado a través de dispositivos registradores de datos de la red CAN (Ferreira & et al, 2015). Véase Figura 2.4.

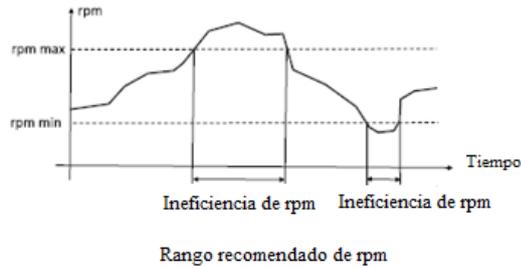


Figura 2.4. Curva de eficiencia de rpm.  
Pañeda & et al (2016).

### 2.3.4 Aprovechamiento de la inercia

Este parámetro es un indicador de la eficiencia de conducción, ya que al aplicarse esta técnica no se consume combustible. El patrón de conducción debe identificar situaciones en el engranaje, las rpm de referencia y la presión del pedal de aceleración (Pañeda & et al, 2016). Es medido el porcentaje [%] de tiempo en el cual no es pisado tanto el pedal del acelerador como el de freno y son usados dispositivos registradores de datos de la red CAN para la posición del acelerador y un dispositivo GPS para determinar la variación de velocidad: frenado (Ferreira & et al, 2015). (Figura 2.5).

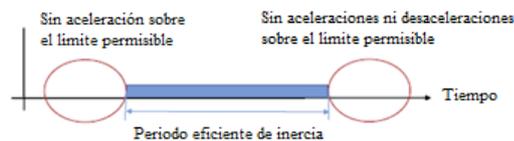


Figura 2.5. Intervalo de inercia.  
Pañeda & et al (2016).

### 2.3.5 Aceleraciones y frenadas bruscas.

En muchos de los casos, la acción de frenado es considerada ineficiente, ya que en una conducción anticipativa; el frenado sólo debería aplicarse en semáforos, paradas de carretera, cruces de cebra o paradas de autobús. En consecuencia, la falta de aceleración (aprovechamiento de la inercia) o el uso del freno del motor deben permitir la reducción de la velocidad. En tanto, las aceleraciones deben satisfacer los límites de velocidad y rpm. La aceleración gradual es detectada cuando la velocidad aumenta en un período dado (Pañeda & et al, 2016). Para ambos casos, la medida

referencial es el número de veces [#] que son aplicados estos comportamientos a lo largo de una ruta.

### 2.3.6 Períodos de ralentí.

Como lo mencionan Pañeda & et al (2016), los períodos de ralentí son ineficientes en la conducción porque el combustible se consume innecesariamente. De este modo, diferencian cuatro períodos de ralentí:

**-Comienzo del período de ralentí:** Cuando el vehículo se pone en marcha y ha transcurrido un período de tiempo hasta que el engranaje es acoplado y el movimiento comienza (2.6, a).

**-Período de ralentí final:** Cuando el vehículo está encendido y en un punto muerto, permanece un cierto tiempo en ralentí y entonces el vehículo es apagado (2.6, b).

**-Detención en período de ralentí:** Con el movimiento del vehículo iniciado, se produce un período de ralentí cuando el vehículo está parado. Considerado ineficiente, excepto en situaciones obligatorias como paradas, semáforos o cruces de cebra (2.6, c).

**-Período de ralentí en movimiento:** Este período es producido cuando el vehículo está en movimiento y el engranaje no está enganchado. Este período no es seguro y sólo es admisible un tiempo muy breve durante el proceso de cambio de marchas (2.6, d).

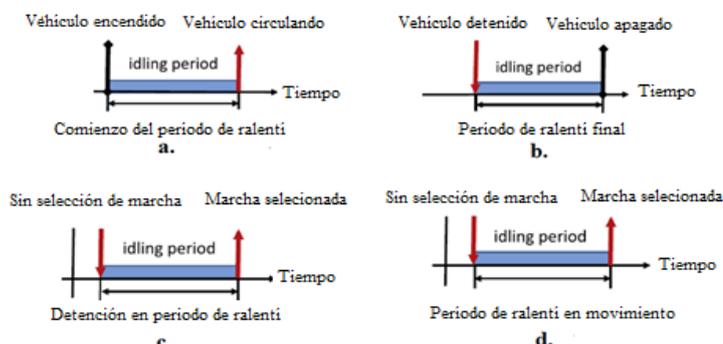


Figura 2.6. Períodos de ralentí.  
Pañeda & et al. (2016).

Como lo establecen Pañeda & et al (2016), para los cuatro casos de períodos de ralentí, es establecido el tiempo como unidad de medida y éste está en función del lapso desde que inicia la fase hasta su culminación. Del mismo modo, es posible la determinación de este parámetro a través del porcentaje [%] de tiempo en ralentí total con respecto al tiempo total de la ruta; usándose dispositivos registradores de datos de la red CAN para determinar la variación de rpm (Ferreira & et al, 2015).

## 2.4 VARIABLES

Las variables medidas usualmente abarcan las siguientes características: de circulación, del conductor y del entorno. Por ello, la Tabla 1.2 muestra las principales variables que aparecen en las evaluaciones de conducción eficiente.

**Tabla 1.2**  
*Variables obtenidas en la evaluación de la conducción eficiente*

| Factor                         | Variable                                | Unidad de medida    | Descripción  |
|--------------------------------|---|---------------------|--|
| Características de circulación | Velocidad                               | [km/h]              | Permiten conocer la velocidad y tiempo promedio del viaje, las variaciones instantáneas de velocidad, la cantidad total de kilómetros que recorre la flota en el trayecto analizado y las variaciones de altitud (pendientes) existentes en la ruta. |
|                                | Tiempo                                  | [seg], [min], [h]   |  |
|                                | Altitud                                 | [m]                 |  |
|                                | Distancia                               | [km]                |  |
| Características del conductor  | Edad                                    | [años]              | Es posible establecer un nivel de pericia o experiencia en la conducción, considerando el tiempo, la distancia y además ciertos aspectos de comportamiento (sicológicos) que pueden surgir.  |
|                                | Experiencia                             | [años]              |  |
|                                | Recorrido anual                         | [km]                |  |
| Características del entorno    | Temperatura ambiente                    | [° Celsius]         | Las condiciones ambientales de temperatura o precipitación pueden influenciar en el rendimiento del motor o en la dinámica del vehículo.   |
|                                | Nivel de precipitación                  | [l/m <sup>2</sup> ] |  |
|                                | Vías urbanas, perimetrales, carreteras. | -                   | También, presentan influencia dentro de una determinada ruta: el tráfico, la distancia y secuencia de cruces o limitadores de velocidad, los límites regulatorios de tránsito, entre otros.  |

## 2.5 CONCLUSIONES CAPÍTULO II

-Las técnicas de conducción eficiente no son únicamente aplicables durante el recorrido sino también antes y después de este, con una serie de acciones que comprenden desde una inspección visual, pasando por aspectos subjetivos como la anticipación y previsión, hasta llegar a la aplicación de parámetros más puntuales como circular a un determinado régimen de rpm, la presión en el pedal del acelerador y un cambio de marchas coherente a la velocidad de circulación.

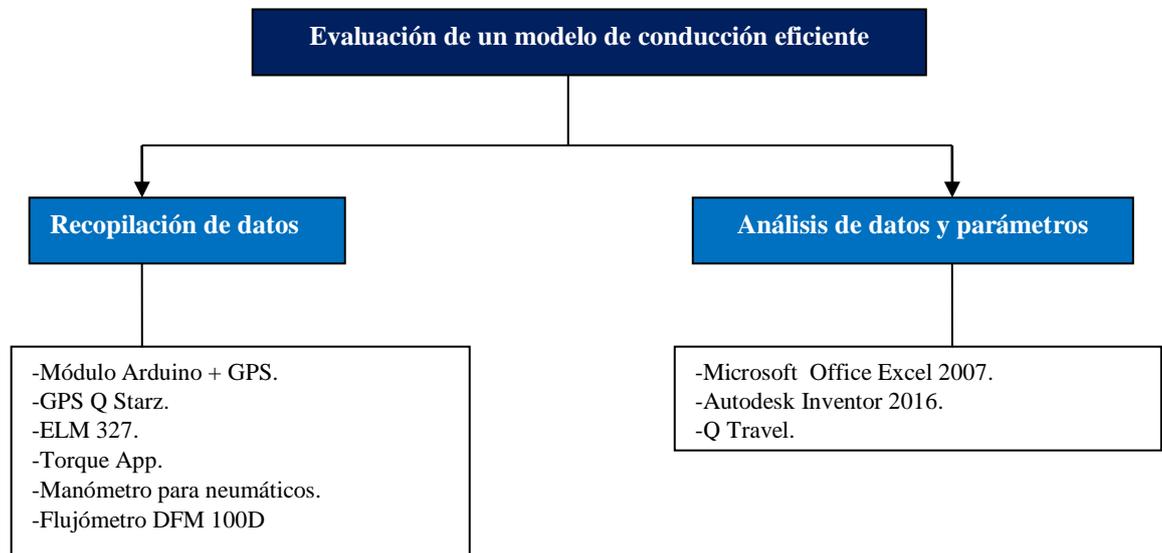
- Es posible cuantificar ciertas técnicas de conducción eficiente y la influencia que presentan en el consumo de combustible, debiéndose para ello determinar variables de circulación, del entorno y del conductor; pudiéndose evaluar: períodos de ralentí, aprovechamiento de la inercia, circulación a un régimen específico de revoluciones por minuto (rpm), aceleraciones y frenadas bruscas y velocidad crucero o uniforme.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIALES

Los materiales empleados para la realización del presente estudio abarcan dispositivos o recursos para la recopilación y análisis de datos y parámetros. El siguiente cuadro resume los principales componentes utilizados.



Flujograma 3.1. Herramientas para la evaluación de datos

##### 3.1.1 Recopilación de datos.

Este mecanismo está basado en la entrada de información instantánea de los diversos parámetros del vehículo y del entorno, previamente establecidos y que constituyen factores de influencia para el análisis de la conducción eficiente.

##### **-Módulo Arduino+ GPS.**

El módulo cuenta con dos microcontroladores y un GPS: a.) un microcontrolador Shield SD, b.) un microcontrolador Arduino Mega y c.) un módulo GPS.

El microcontrolador Shield SD, es un módulo Micro SD (TF), que tiene compatibilidad con la tarjeta TF SD (comúnmente utilizada en teléfonos móviles).

Entre las aplicaciones, destaca como registrador de datos, audio, video y gráficos. Este módulo permite ampliar en gran medida la capacidad de captación que un Arduino puede hacer con su memoria limitada; con una interfaz SPI y una fuente de alimentación de 5V, compatible con Arduino UNO y Mega (DFROBOT, 2018).

Arduino Mega es una placa microcontroladora basada en el ATmega1280 ( hoja de datos ). Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 14 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio (Arduino.cc, 2017) (Tabla 2.1).

**Tabla 2.1**  
*Arduino MEGA*

| Parámetro                        | Especificación          | Figura  |
|----------------------------------|-------------------------|---|
| Tensión de funcionamiento        | 5 Voltios.              |  |
| Tensión de entrada (recomendado) | 7-12 Voltios.           |   |
| Digital I/O Pines                | 54 (15 para salida PWM) |   |
| Pines de entrada analógicos      | 16                      |   |
| CC por pin de E/S                | 40 mA                   |   |
| Memoria Flash                    | 128 Kb                  |   |

*Nota.* Figura recuperada de. Arduino Uno [En línea] Arduino.cc

El GPS, modelo GY-GPS6MV2, con un módulo de serie U-Blox NEO 6M equipado en el PCB, una EEPROM con configuración de fábrica, una pila de botón para mantener los datos de configuración en la memoria EEPROM, un indicador LED y una antena cerámica. También posee los pines o conectores Vcc, Rx, Tx y Gnd (Figura 3.1) por el que se puede conectar a un microcontrolador mediante una interfaz serial. Para un correcto funcionamiento, las pruebas deben hacerse en un ambiente abierto o cercano a la ventana para una correcta recepción de la señal (Naylamp Mechatronics, 2017).

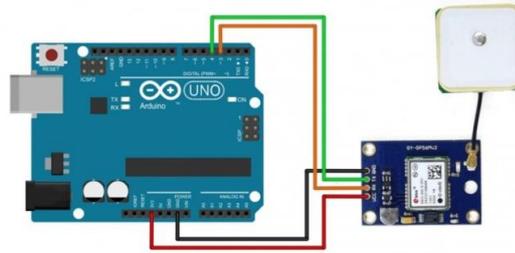


Figura 3.1. Esquema de conexión.

Tutorial Módulo GPS con Arduino [En línea] [http://www.naylampmechatronics.com/blog/18\\_Tutorial-M%C3%B3dulo-GPS-con-Arduino.html](http://www.naylampmechatronics.com/blog/18_Tutorial-M%C3%B3dulo-GPS-con-Arduino.html)

Así, se cuenta con un módulo conformado por dos microcontroladores (Arduino Mega+ Shield SD) y un GPS, estableciéndose una sincronización para la entrada de datos entre el GPS: fecha, longitud, latitud y velocidad, y la señal del flujómetro: caudal instantáneo de combustible. Tanto la elaboración de los circuitos como la aplicación para la sincronización de los datos han sido desarrolladas por (Baquero & Álvarez, 2018).

En consecuencia, los elementos están dispuestos en una carcasa sólida de plástico con orificios para las conexiones: alimentación y transferencia de datos, con una disposición del módulo GPS en la parte superior para una mejor recepción de señal. Las características del módulo Arduino + GPS son precisadas en la *Tabla 3.2*.

**Tabla 3.2**  
*Módulo ARDUINO + GPS*

| Parámetro       | Especificación | Figura |
|-----------------|----------------|--------|
| Alimentación    | 5 V.           |        |
| Memoria externa | 16 Gb.         |        |
| Frecuencia      | 2 Hz.          |        |
| Corriente       | CC             |        |
| Autonomía       | No             |        |

**-Q Starz.**

Es un dispositivo de navegación GPS para viajes, cuyo modelo es BT-Q1000XT, tratándose específicamente de una innovación de un Data Logger, con funciones más potentes y útiles para la grabación de viajes (QStarz.com, 2017). (Tabla 3.3).

**Tabla 3.3**  
GPS Q Starz

| Parámetro            | Especificación        | Figura  |
|----------------------|-----------------------|---|
| Modelo               | BT-1000 XT            |  |
| Voltaje de entrada   | 3 – 5 V.              |   |
| Adquisición de datos | 1 Hz                  |   |
| Velocidad tolerable  | 0-999 km/h            |   |
| Memoria              | 150 000-160 000 datos |   |
| Autonomía            | 42 horas              |   |

### -ELM 327

Es un lector de parámetros del vehículo a través de los protocolos del puerto OBD II (On Board Diagnostics). La mayoría de los vehículos modernos usan el protocolo CAN ISO 15765-4 (ELM Electronics, 2017). Véase Tabla 3.4.

**Tabla 3.4**  
Lector OBD II

| Parámetro         | Especificación   | Figura   |
|-------------------|--|--|
| Marca             | ELM  |  |
| Modelo            | 327  |  |
| Voltaje           | 2- 5.5 V   |  |
| Protocolos OBD II | SAE J1850 PWM<br>SAE J1850 VPW<br>ISO 9141-2<br>ISO14230-4<br>ISO15765-4 |  |

### -Manómetro

Es un dispositivo tipo de tipo indicador analógico utilizado para medir la presión de un gas o líquido, como agua, aceite o aire. A diferencia de los transductores de presión tradicionales, estos son dispositivos analógicos con un dial circular y un puntero accionado mecánicamente que han estado en uso durante décadas (Omega, 2017). Véase Tabla 3.5.

**Tabla 3.5**  
Manómetro

| Parámetro | Especificación           | Figura  |
|-----------|--------------------------|---|
| Marca     | Beiben                   |  |
| Rango     | 0-1.2 MPa o 0-174.04 psi |   |
| Tipo      | Análogo reloj            |   |

### -Torque App.

Torque es una aplicación disponible en el Play Store de Google, utiliza la tecnología Bluetooth para conectarse al ordenador de a bordo del vehículo y transmitir los parámetros del vehículo seleccionados. La tecnología OBD II está incluida en la mayoría de los vehículos nuevos (Androidsis, 2017). Véase Tabla 3.6.

**Tabla 3.6**  
*Torque APP*

| Parámetro          | Especificación   | Figura  |
|--------------------|--|---|
| Tipo               | Aplicación para Android                                      |  |
| Estándar soportado | OBD II   |   |
| Almacenamiento     | Memoria del dispositivo                                      |   |
| Función            | Acceso al sistema de gestión de los motores de los vehículos |   |

### -Flujómetro.

También conocido como caudalímetro, es un dispositivo que se utiliza para medir el caudal o la cantidad de un gas o líquido. Las aplicaciones de medición de caudal son muy diversas; algunos ejemplos: flujo de agua a través de un canal abierto, pérdida de válvula hidráulica y medición de combustible a través de un inyector de combustible (MAX, 2017) (Tabla 3.7).

**Tabla 3.7**  
*Flujómetro*

| Parámetro      | Especificación          | Figura   |
|----------------|-------------------------|--|
| Marca          | DFM                     |  |
| Modelo         | 100 D                   |  |
| Udal           | 10-100 L/h              |  |
| Presión máxima | 2.5 MPa                 |  |
| Frecuencia     | 1 Hz                    |  |
| Compatibilidad | Motores 100 kW o 134 Hp |  |
| Memoria        | No                      |  |

Fuente: DFM. Flow Meters. Operation Manual.(Documento digital)

### 3.1.2 Instalación del flujómetro DFM 100D

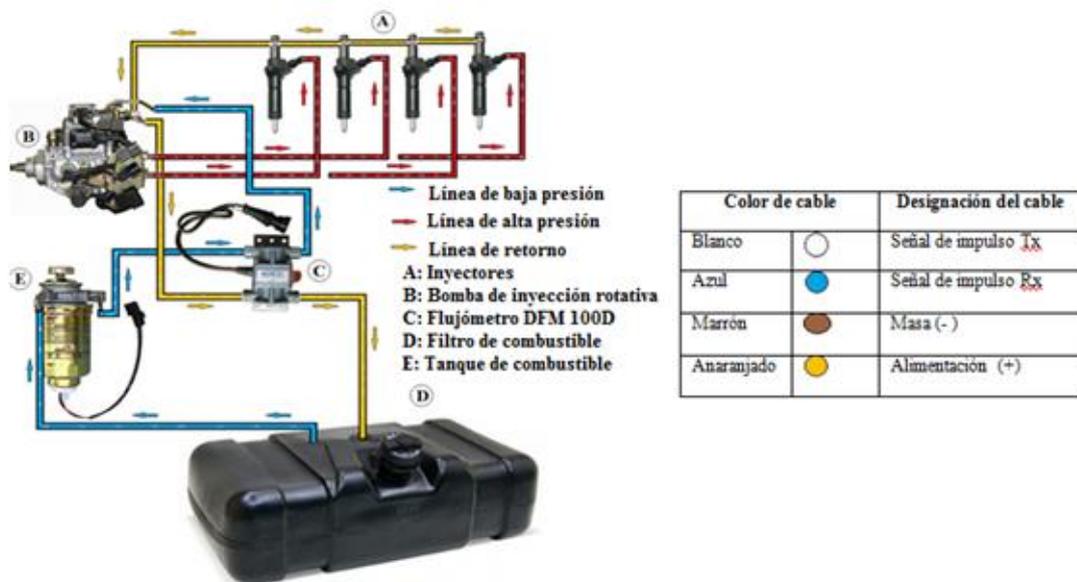
El equipo DFM 100D cuenta con cuatro tomas de caudal, dos de las tomas corresponden a la entrada de flujo (entrada y salida de flujo hacia la bomba de inyección) y las otras dos corresponden al retorno del flujo (entrada y salida del flujo hacia el tanque de combustible). De este modo, el equipo se coloca en la línea de abastecimiento de diésel, entre el filtro de combustible y la bomba rotativa de inyección (*Figura 3.2*); de la toma de salida del filtro de combustible se sitúa a la toma de entrada de flujo del equipo y la salida de la toma del equipo DFM 100D se conecta con la línea de abastecimiento de combustible de la bomba de inyección.

De la línea de retorno de combustible de la bomba de inyección se direcciona a la toma de entrada del retorno del equipo DFM 100D y de la toma de la salida del mismo, se instala a la línea de retorno de diésel hacia el tanque de combustible del vehículo.

#### La conexión eléctrica

El equipo DFM 100D requiere de alimentación eléctrica para su funcionamiento, a través de un cable de interfaz desde la red a bordo del vehículo.

La conexión eléctrica del DFM se realiza de acuerdo con la designación de los cables de interfaz (*Figura 3.2*). Para la conexión eléctrica de los cables de la alimentación del DFM 100D se recomienda utilizar bornes (+, -).



*Figura 3.2.* Diagrama de instalación del flujómetro

### 3.1.3 Análisis de datos y parámetros

Este proceso utiliza recursos informáticos para el análisis de los parámetros y datos obtenidos, para así obtener resultados rápidos y efectivos.

#### -Microsoft Office Excel 2007.

Excel es un programa informático desarrollado por Microsoft y forma parte de Office, una suite ofimática la cual incluye otros programas como Word y PowerPoint. Excel permite trabajar con datos numéricos mediante cálculos, tablas, gráficos o análisis de datos con herramientas avanzadas como tablas dinámicas ([Exceltotal.com](http://Exceltotal.com), 2017).

#### -Autodesk Inventor 2016.

Es un software CAD 3D para el desarrollo de productos, brinda herramientas de diseño mecánico 3D, documentación y simulación de productos de calidad profesional ([Autodesk.com](http://Autodesk.com), 2017).

#### -Software Q Starz (Q Travel)

Software de geotiquetado de fotografías que funciona con los dispositivos de hardware Q Starz Travel Recorder (BT 1000 XT). Con la estructura de la base de datos, permite administrar los datos de viaje fácilmente, grabando rutas de viaje y mostrándolas en Google Earth / Google Maps. Utiliza la tecnología de base de datos para gestionar los datos de viajes masivos ([Q Starz](http://Q Starz), 2017). Véase Figura 3.3.

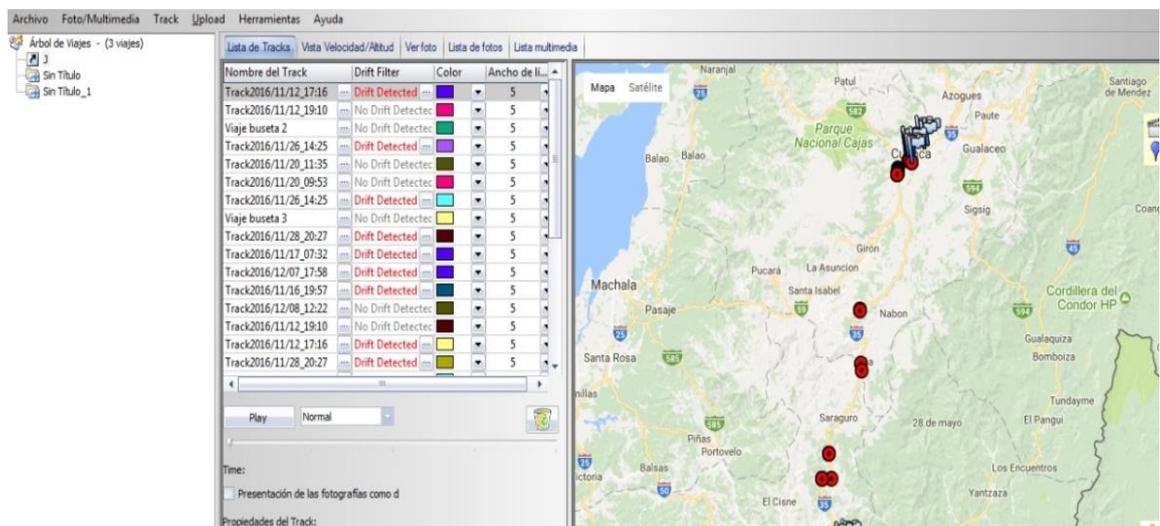


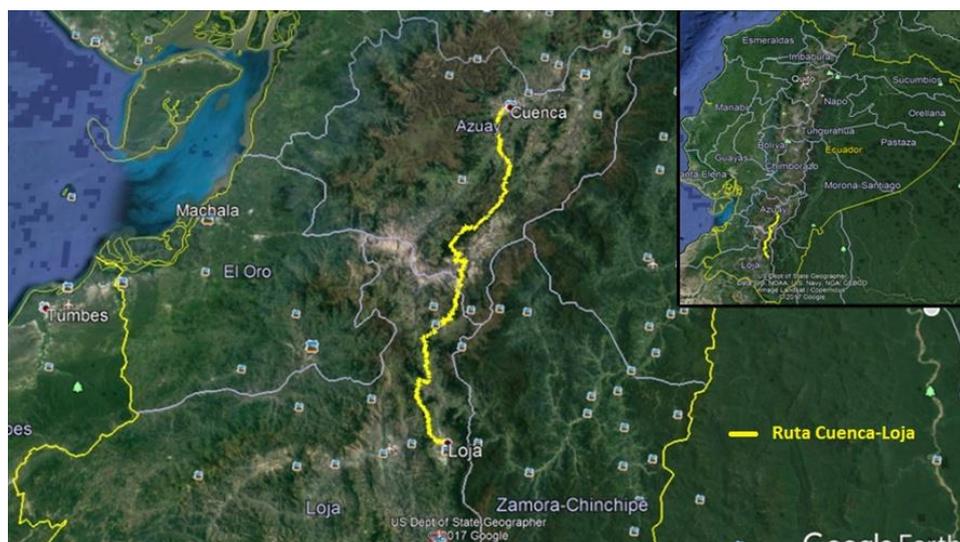
Figura 3.3. Interfaz Q Travel  
Q Travel software

### 3.2 DESCRIPCIÓN DE LA RUTA

La ruta Cuenca – Loja (*Figura 3.4*) está conformada por dos carriles, uno por sentido de circulación, permitiendo el paso vehicular entre las provincias de Azuay y Loja, localizadas en la región andina sur del Ecuador. El diseño de esta ruta es variado y presenta las siguientes características de circulación vehicular:

- Intersecciones.
- Redondeles.
- Semáforos.
- Vías de doble sentido.
- Curvas abiertas y cerradas.
- Rectas
- Pendientes positivas y negativas (subidas y bajadas).

De este modo, la ruta agrupa diversas condiciones de las que se puede proponer y evaluar un modelo de conducción eficiente que al momento no se ha desarrollado. También, dicha ruta es utilizada por flotas de transporte de pasajeros (busetas), un servicio que se encuentra en expansión durante los últimos años y que cuenta con unidades modernas de las que se puede obtener un registro instantáneo de información a través de conexiones sencillas; característica que no se encuentra disponible en su totalidad en unidades de otras flotas de transporte (buses).



*Figura 3.4.* Localización de la ruta.  
Tomado de Google Earth.

**Tabla 3.8**  
Características de la ruta Cuenca-Loja

| Parámetro                     | Especificación       |
|-------------------------------|----------------------|
| Distancia                     | 212 km               |
| Tiempo promedio del recorrido | 3,5 horas            |
| Altura máxima                 | 3460,6m              |
| Altura mínima                 | 1889m                |
| Pendiente positiva promedio   | 2,59°                |
| Pendiente negativa promedio   | 2,62°                |
| Material de la calzada        | Concreto             |
| Temperatura promedio          | 287,29°K o 14,17 °C. |

El inicio de la ruta es en la ciudad de Cuenca, en las instalaciones de la empresa Élite Tours Cía. Ltda., localizadas en el sector de la Feria Libre, Av. Remigio Crespo 14-08 y Santa Cruz. Véase Tabla 3.9. En tanto, la culminación de la ruta es en la ciudad de Loja, en las instalaciones de la empresa Élite Tours Cía. Ltda., localizadas en el sector Mercado Mayorista, Av. Orillas del Zamora y Bracamoros. Véase Tabla 3.10.

**Tabla 3.9**  
Instalaciones Élite Tours Cía. Ltda. Cuenca

| Parámetro | Especificación                                | Figura   |
|-----------|---|--|
| Latitud   | -2. 915585                                    |  |
| Longitud  | -79. 013693                                   |  |
| Dirección | Av. Remigio Crespo 14-08.<br>Cuenca, Ecuador. |  |

Nota. Figura recuperada de Google Maps

**Tabla 3.10**  
Instalaciones Élite Tours Cía. Ltda. Loja

| Parámetro | Especificación                            | Figura   |
|-----------|---|--|
| Latitud   | -3.986244                                 |  |
| Longitud  | -79. 202187                               |  |
| Dirección | Av. Orillas del Zamora.<br>Loja, Ecuador. |  |

Nota. Figura obtenida de Google Maps.

### **3.3 DESCRIPCIÓN DEL VEHÍCULO**

El estudio es realizado en un vehículo de la flota de transporte de pasajeros Élite Tours Cía. Ltda., cuyas características técnicas se especifican en la *Tabla 3.11*.

### **3.4 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

Élite Tours Cía. Ltda., es una empresa de transporte turístico que ofrece tours diarios entre las ciudades de Cuenca y Loja. Se especializa en transfer, city tours, paquetes turísticos y giras vacacionales dentro y fuera del país.

### **3.5 DESCRIPCIÓN DE LOS CONDUCTORES**

Los conductores que participan en el estudio cuentan con el permiso de conducir profesional y son dos, el señor Abraham Paredes y el señor Danilo Ayora. El señor Abraham Paredes realizó algunos viajes durante una etapa previa al estudio, para comprobar los equipos y generar la caracterización de la ruta. En tanto, el señor Danilo Ayora, realizó los viajes durante las fases que se describirán posteriormente y es el referente del estudio.

**Tabla 3.11**  
*Ficha técnica Hyundai H1*

| Parámetro                      | Especificación                              | Figura |
|--------------------------------|---|--------|
| Marca                          | Hyundai                                     |        |
| Año de fabricación             | 2010  |        |
| Motor                          | D4BH  |        |
| No. de cilindros               | 4 Cyl. en línea                             |        |
| Tipo                           | 2,5 Diésel - Turbo cargador con Intercooler |        |
| Bomba de inyección             | Rotativa con mando mecánico                 |        |
| No. Válvulas                   | SOHC 8 Válvulas                             |        |
| Cilindraje                     | 2500cc                                      |        |
| Potencia (HP/ RPM)             | 98/3800                                     |        |
| Torque (KGM/RPM)               | 23 / 2000                                   |        |
| Transmisión                    | Manual (5 + reversa)                        |        |
| Aros /llantas                  | Aluminio 225/70 R15C                        |        |
| Peso máximo                    | 3185 kg                                     |        |
| Número de pasajeros            | 8   |        |
| <b>Relación de transmisión</b> |   |        |
| 1 <sup>ra</sup> Velocidad      | 4,39  |        |
| 2 <sup>da</sup> Velocidad      | 2,3   |        |
| 3 <sup>ra</sup> Velocidad      | 1,35  |        |
| 4 <sup>ta</sup> Velocidad      | 1   |        |
| 5 <sup>ta</sup> Velocidad      | 0,76  |        |
| Reversa                        | 4,63  |        |
| Diferencial                    | 4,22  |        |



*Nota.* Datos referenciales de la ficha técnica Hyundai H1. Figura referencial Hyundai.com

### 3.6 MÉTODOS

Los elementos empleados para el presente proyecto permiten levantar información confiable, instantánea y específica sobre las principales variables de influencia, tratándose de:

-Tiempo [hh: mm:ss]

-Velocidad [km/h]

- Distancia [m]
- Latitud [°]
- Longitud [°]
- Altitud [m]
- Consumo de combustible [l/h]
- Revoluciones por minuto del motor [rpm]
- Presión de inflado de los neumáticos\* [kPa, psi]

*\*Durante el inicio y culminación de la ruta.*

Por ello, la instrumentación empleada permite determinar algunas variables trascendentales en la evaluación de una conducción eficiente y su influencia específicamente en el consumo de combustible, el objeto principal del presente estudio. De este modo, han sido establecidas cinco técnicas de conducción eficiente de las que es posible determinar certera y técnicamente una influencia en el consumo de combustible. Estas técnicas son:

- a.- Períodos de ralentí.
- b.- Aceleraciones y frenadas bruscas.
- c.- Velocidad crucero o uniforme.
- d.- Aprovechamiento de la inercia.
- e.- Circulación al régimen recomendado de rpm.

En consecuencia, la *Tabla 3.12* resume las variables que se pueden obtener de la instrumentación empleada y la obtención de nuevas variables mediante cálculos.

### **3.6.1 EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE CONDUCCIÓN EFICIENTE.**

#### **3.6.1.1 Períodos de ralentí.**

El análisis de esta técnica guarda relación con los intervalos de tiempo [minutos] en los cuales el vehículo permanece en ralentí antes, durante y después del viaje, estableciéndose un consumo de combustible [Litros] para el total de los períodos.

**Tabla 3.12**  
Variables que inciden en el estudio

| Equipo               | Archivo generado | Variables proporcionadas  | Variables calculadas   |
|----------------------|------------------|---|--|
| Módulo Arduino +GPS  | .CSV             | Tiempo<br>Velocidad<br>Latitud<br>Longitud<br>Altitud<br>*Caudal de combustible | Aceleración<br>Distancia<br>Pendiente<br>Torque en rueda<br>Potencia en rueda<br>Energía empleada                    |
| DFM 100D             | .CSV             | *Caudal de combustible  | Volumen de combustible.  |
| Q Starz              | .XLS             | Tiempo<br>Velocidad<br>Latitud<br>Longitud<br>Altitud<br>Distancia              | Dispositivo de apoyo en caso de pérdida de señal o presencia de datos atípicos obtenidos por el módulo Arduino + GPS |
| ELM 327 + Torque App | .CSV             | RPM<br>Hora<br>Latitud<br>Longitud<br>Velocidad                                 | -  |
| Manómetro            |                  | Presión de inflado de los neumáticos  | -  |

*Nota.* \*Caudal de combustible: La señal enviada por el flujómetro ingresa al módulo Arduino+GPS para sincronizar esa información con las variables de posicionamiento.

### 3.6.1.2 Aceleraciones y frenadas bruscas.

Este apartado considera como aceleraciones y frenadas bruscas, las aceleraciones y deceleraciones instantáneas fuera del rango  $(-1; 1)$   $[m/s^2]$ ; determinándose el número de eventos bruscos [#] y el consumo de combustible [Litros] generado por el total de estas variaciones de velocidad (Figura 3.5).

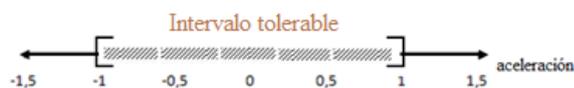


Figura 3.5. Intervalo tolerable para aceleraciones y frenadas bruscas

### 3.6.1.3 Velocidad crucero o uniforme.

Aunque la velocidad crucero está relacionada con el apartado anterior, ya que las aceleraciones y frenadas bruscas no permiten mantener una uniformidad; este ítem considera las aceleraciones y deceleraciones instantáneas fuera del rango  $(-0.7; 0.7)$   $[m/s^2]$ , un intervalo de tolerancia menor que busca incrementar la suavidad y confort en la conducción propuesto por los autores. Son determinados el tiempo [minutos] y la distancia recorrida [km] equivalentes a no haber mantenido una velocidad crucero durante el viaje; además es determinada esa equivalencia en un consumo de combustible [litros].



Figura 3.6. Intervalo tolerable para velocidad crucero

### 3.6.1.4 Aprovechamiento de la inercia

Esta técnica analiza el aprovechamiento de la inercia en tramos de pendientes negativas, los que han sido determinados por su longitud, tiempo de trayecto y grado de pendiente. Para cada tramo, es determinado un consumo de combustible [litros]; también es establecido un consumo total de los tramos [litros]. La posición del pedal del acelerador no puede ser determinada debido a la configuración de la ECU. Los tramos son cinco y están fundamentados en el perfil de elevación de la ruta expuesto en la *Figura 3.7*, donde los tramos inician con una altitud promedio cercana o mayor a los 3000 m.s.n.m y el descenso más importante se da hasta una altitud promedio de 1889 m.s.n.m. Los tramos han sido numerados como:

1: Entrada a Jima, 2: Susudel, 3: Urdaneta, 4: San Lucas y 5: Llegada a Loja.



Figura 3.7. Tramos designados para aprovechamiento de la inercia. Google Earth Pro.

La *Tabla 3.13* muestra las principales características de cada tramo

**Tabla 3.13**

*Características de los tramos en descenso*

| Tramo | Distancia<br>[km] | Altura<br>máx.<br>[m] | Altura<br>mín.<br>[m] | Pendiente<br>(-) prom.<br>[°] |
|-------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 1     | 10,5              | 3460                  | 3203                  | -1,78                         |
| 2     | 30,7              | 3323                  | 1889                  | -3,28                         |
| 3     | 17,4              | 3012                  | 2223                  | -4,51                         |
| 4     | 14,6              | 2926                  | 2383                  | -3,29                         |
| 5     | 21,8              | 2798                  | 2157                  | -3,12                         |

*Nota.* Los elementos de la tabla fueron determinados mediante el levantamiento de datos con el GPS Q Starz en viajes exclusivos para el fin, ejecutándose en primera instancia el procesamiento de dichos datos a través del software Q Travel y el análisis mediante Excel.

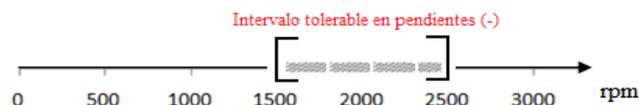
### 3.6.1.5 Circulación al régimen recomendado de rpm.

El régimen recomendado de rpm hace referencia al rango entre 1500 y 2000 [rpm] dentro del cual deben hacerse las marchas y en el que debe circular el vehículo, con un apriete del acelerador hasta  $\frac{3}{4}$  de su recorrido y en la marcha más alta posible.



*Figura 3.8.* Intervalo teórico de rpm

Para los casos de aprovechamiento de la inercia en pendientes negativas, el régimen tolera un exceso del límite superior (2500 rpm), puesto que por seguridad para el sistema de frenos, es recomendable la utilización del freno motor.



*Figura 3.9.* Intervalo teórico de rpm en pendientes

De esta manera, es determinado el tiempo [minutos] en el cual no se han mantenido las rpm dentro del rango recomendado; debiéndose considerar que en la práctica el régimen de rpm entre 1500 y 2000 [rpm] resulta limitado para las condiciones de

circulación, implicando pérdida de impulso motriz en las pendientes positivas, por lo que finalmente el régimen recomendado tolerará el intervalo (1500; 2600) [rpm].

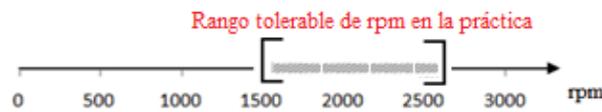


Figura 3.10. Intervalo de rpm real

### 3.6.1.6 Presión de inflado de los neumáticos.

Este parámetro determina la presión de inflado [kPa] y [psi] de cada uno de los neumáticos del vehículo, antes y después del viaje; magnitudes que deben guardar coherencia con los datos proporcionados por el fabricante del neumático.

## 3.6.2 COMPROBACIONES DE LOS EQUIPOS

Los equipos: flujómetro, módulo Arduino + GPS, ELM 327 y Torque App fueron previamente comprobados en otros vehículos para garantizar su correcto funcionamiento y compatibilidad en el vehículo Hyundai H1.

### 3.6.2.1 Instalación del flujómetro DFM 100D.

El equipo DFM 100D inicialmente fue instalado en el vehículo CHEVROLET SILVERADO 6,5L DIÉSEL V8 que cuenta con una bomba rotativa de inyección de similares características al vehículo objeto del estudio.

### 3.6.2.2 Instalación ELM 327

Fue comprobada la compatibilidad y la generación de parámetros seleccionables: rpm, temperatura, velocidad, posicionamiento entre otros. La *Tabla 3.14* indica los vehículos empleados.

**Tabla 3.14**

*Compatibilidad en varios vehículos*

| Vehículo              | Compatibilidad |
|-----------------------|----------------|
| Chevrolet Gran Vitara | No compatible  |
| Ford Fiesta           | Compatible     |
| Hyundai Terracán      | No compatible  |
| Hyundai H1            | Compatible     |

### 3.6.3 ETAPAS

El estudio comprende dos etapas (*véase figuras en Anexo 5*):

#### 3.6.3.1 Etapa de conducción normal o cotidiana.

Fase en la cual es determinado el consumo de combustible [litros] a través de los procedimientos de conducción normales o cotidianos empleados por el conductor, estableciéndose los resultados respectivos para cada una de las cinco técnicas antes precisadas. Esta fase comprende a su vez:

##### a.- Selección de la ruta y muestra

La ruta Cuenca-Loja fue seleccionada por las características descritas en apartados previos. Mientras tanto, el tipo de muestra a seleccionar se basa en un estudio de casos de tipo no probabilístico, de selección por conveniencia con un tamaño de muestra sugerido de 3 a 5 casos ([Hernández, 2014](#)). Esta determinación de muestra se basa en la limitación de unidades disponibles (una unidad), distancia de la ruta, tiempo de la ruta, condiciones topográficas y los costos de movilización (pasajes); todas estas características de la investigación. Por ello, tal como lo menciona [Hernández \(2014\)](#), el principal objetivo de la investigación es un estudio exploratorio que cuenta con dificultad para el acceso de la muestra (conductores y unidades), tratándose de comprobar la eficacia de un modelo inicial de conducción eficiente en un conductor de la flota para la ruta específica; para según los resultados, difundirlos al resto de los conductores.

##### b.- Recolección de datos

Se contará con equipos (*Figura 3.11*) y procedimientos para la medición y el control del consumo de combustible durante las pruebas de conducción:

- a) Flujómetro de combustible (DFM100D).
- b) Módulo Arduino + GPS.
- c) GPS Q Starz.
- d) Manómetro para el control de la presión de aire de los neumáticos.
- e) Fichas para el registro de información. *Véase Figura 3.12.*

*Nota: Cada viaje es realizado por al menos uno de los autores del presente proyecto por tratarse de un estudio de campo, que requiere: anotaciones (pasajeros, presión neumáticos, imprevistos), control y conexión de los equipos, su funcionamiento y por requerimientos de Élite Tours Cía. Ltda.*



|                       |
|-----------------------|
| Simbología:           |
| 1: Flujómetro         |
| 2:MóduloArduino+ GPS  |
| 3: GPS Q Starz        |
| 4:Dispositivo Android |
| 5:ELM 327             |
| 6: Manómetro          |

Figura 3.11. Ubicación de los equipos

| DATOS DE RUTA   |   |                |           |                                  |  |
|---|---|----------------|-----------|----------------------------------|--|
| <b>DATOS GENERALES</b>                                    |   |                |           |                                  |  |
| RUTA  | Cuenca-Loja                                 | VIAJE #        | FECHA     |                                  |  |
| DISTANCIA   | CONDUCTOR                                   |                |           |                                  |  |
| NOVEDADES DE LA RUTA                                      |   |                |           |                                  |  |
| CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS                                | AL SALIR                                    | EN EL TRAYECTO |           | AL LLEGAR                        |  |
|   |   |                |           |                                  |  |
| HORA DE SALIDA  | HORA DE LLEGADA                             |                |           |                                  |  |
| <b>DATOS DEL VEHICULO</b>                                 |   |                |           |                                  |  |
| PLACA   | PRESION DE NEUMÁTICOS                       |                |           |                                  |  |
| DISTRIBUCIÓN DE CARGA (EQUIPAJES, ETC)                    | NIVEL DEL COMBUSTIBLE EN INDICADOR AL SALIR |                |           |                                  |  |
| NIVEL DE COMBUSTIBLE EN INDICADOR AL CARGAR EN GASOLINERA | VOLUMEN CARGADO (gal)                       |                |           | MONTO EN EFECTIVO CARGADO (USD.) |  |
| <b>PASAJEROS</b>  |   |                |           |                                  |  |
| NUMERO DE PASAJEROS                                       | CANTIDAD                                    |                | CONDUCTOR |                                  |  |
| HOMBRES   |   |                |           |                                  |  |
| MUJERES   |   |                |           |                                  |  |
| NINOS   |   |                |           |                                  |  |
| TOTAL OCUPANTES   |   |                |           |                                  |  |

Figura 3.12. Formato para el registro de información

**c.- Análisis de datos**

Conforme la dinámica vehicular y las características técnicas, mecánicas y operacionales de la unidad evaluada; se ejecutará el análisis respectivo en Excel, Inventor y el software Q Travel para obtener:

- a) un modelo normal de manejo,
- b) los parámetros necesarios para generar un modelo de conducción eficiente.
- c) los factores deficientes de conducción que influyen en el consumo de combustible.

Los valores atípicos provenientes de los instrumentos de medición son corregidos mediante la técnica de suavización exponencial simple, una herramienta propicia cuando los datos no presentan tendencia ni estacionalidad y sólo son utilizados los valores previos para predecir resultados futuros (Ordoñez, 2016). De este modo, la expresión que define esta corrección es:

$$F_{t+1} = \alpha X_t + (1-\alpha)F_t$$

Dónde:

$F_{t+1}$ =Valor de previsión para el período t+1.

$\alpha$ =Constante de suavización ( $0 < \alpha < 1$ ) = 0,95

$X_t$ =Valor real (en el período “t”).

$F_t$ =Valor de precisión o valor suavizado en el período “t”.

Dentro de este apartado, es importante el análisis estadístico, para así conocer la dispersión existente entre los valores que adquieren las variables (Ordoñez, 2016). Por ello, la *Tabla 3.15* expone los parámetros que intervienen en el análisis estadístico.

**Tabla 3.15**  
*Parámetros que intervienen en el análisis estadístico*

| Parámetro               | Fórmula   | Simbología   | Descripción  |
|-------------------------|---|--|--|
| Media                   | $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$                                | $\bar{x}$ = Media aritmética<br>N= Número de datos<br>Xi=Conjunto de variantes x   | Es el valor promedio de las muestras y es independiente de las amplitudes de los intervalos (Ordoñez, 2016).   |
| Desviación estándar     | $\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{x})^2}{N}}$                         | $\sigma$ = Desviación estándar de la muestra<br>X=Valor de puntuación individual<br>$\bar{x}$ = Media aritmética<br>N=Número de datos    | Medida que indica el grado de dispersión de las puntuaciones individuales. Si un valor es pequeño indica cercanía a la media y un valor alto indica una gran dispersión a la misma (Morales Vallejo, 2009).                              |
| Coficiente de variación | $C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$                                | Cv= Coeficiente de variación<br>$\sigma$ = Desviación estándar de la muestra<br>$\bar{x}$ = Media aritmética                             | Permite comparar en porcentajes las dispersiones de dos distribuciones distintas.  |
| Intervalo de confianza  | $\left[ \bar{x} \pm t_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right]$ | $\bar{x}$ = Media aritmética<br>$\sigma$ = Desviación estándar de la muestra<br>$t_{\alpha/2}$ = valor T de Student<br>n=número de datos | Corresponde a un rango de valores, cuya distribución es normal y en el cual se encuentra, con alta probabilidad, el valor real de una determinada variable. Esta alta probabilidad se ha establecido por consenso en 95% (Candia, 2005). |

*Nota.* Las variables a ser calculadas mediante estos parámetros son las que pretenden evaluarse para cada viaje dentro de las técnicas descritas anteriormente.

Las fuerzas opositoras al movimiento, cuyas magnitudes permiten conocer el comportamiento de la aerodinámica, la inercia, la pendiente y la rodadura a lo largo de todo el trayecto, dependen de ciertos coeficientes; ante ello, en el *Anexo 1* (CD-ROM adjunto) se indican las expresiones matemáticas para cada fuerza y los métodos de obtención de los coeficientes necesarios. Del mismo modo, el tratamiento de datos en Excel requiere de una serie de filtros y condiciones lógicas para la determinación de las variables que influyen en las técnicas de conducción eficiente a evaluarse. Ante ello, en el *Anexo 2* (CD-ROM adjunto) se precisan los criterios y fórmulas considerados.

Consecuentemente, en las hojas de cálculo de Excel han sido utilizadas las expresiones matemáticas mostradas a continuación para los cálculos de consumo y dinámica vehicular. Véase *Tabla 3.16*.

**Tabla 3.16***Variables calculadas*

| Variable               | Unidad              | Fórmula                                | Simbología   |
|------------------------|---------------------|--|--|
| Consumo de combustible | [litros]            | $V=Q/t$                                | V=Volumen total de combustible consumido<br>Q=Caudal total del viaje [l/h]<br>t= Tiempo del viaje [h]                      |
| Distancia              | [m]                 | $d=V*t$                                | d=Distancia instantánea<br>V=Velocidad instantánea [km/h]<br>t=Tiempo [s]  |
| Aceleración            | [m/s <sup>2</sup> ] | $a=\Delta V/\Delta t$                  | a=Aceleración instantánea<br>$\Delta V$ =Variación instantánea de velocidad [Km/h]<br>$\Delta t$ = Variación de tiempo [s] |
| Pendiente              | [rad]               | $\theta = \arcseno \frac{\Delta h}{d}$ | $\theta$ =Pendiente instantánea<br>$\Delta h$ =Diferencia instantánea de alturas [m]<br>d=Distancia recorrida [m]          |

#### **d.- Obtención de resultados**

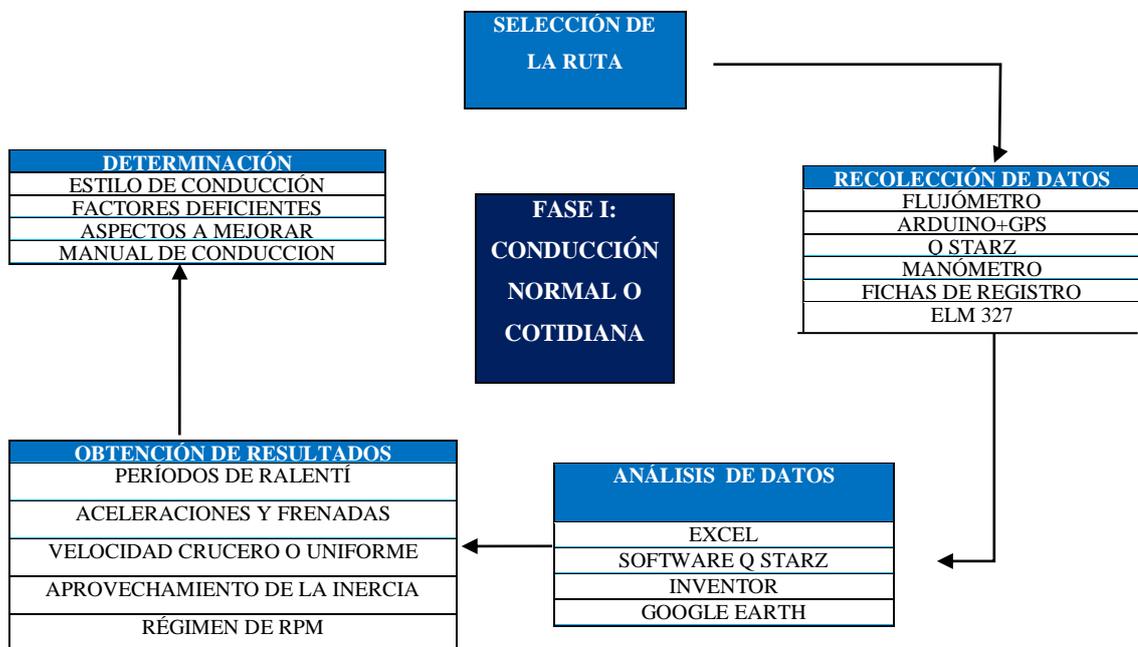
Los respectivos para cada una de las cinco técnicas antes detalladas.

### e.- Determinación del estilo de conducción

Los factores deficientes y los aspectos a mejorar. Dentro de los aspectos a mejorar, se incluye un manual de conducción eficiente con las principales técnicas y características del vehículo y de la ruta, para realizar una instrucción al conductor objeto del estudio y básicamente optimizar el consumo de combustible.

Asimismo, es incluido el diagrama de velocidades específico para el vehículo Hyundai H1, un método que permite conocer la relación velocidad-marcha de circulación dentro del rango de eficiencia tanto de rpm como de consumo de combustible.

El siguiente flujograma resume las actividades a desarrollar durante la Fase I.



Flujograma 3.2. Actividades Fase I

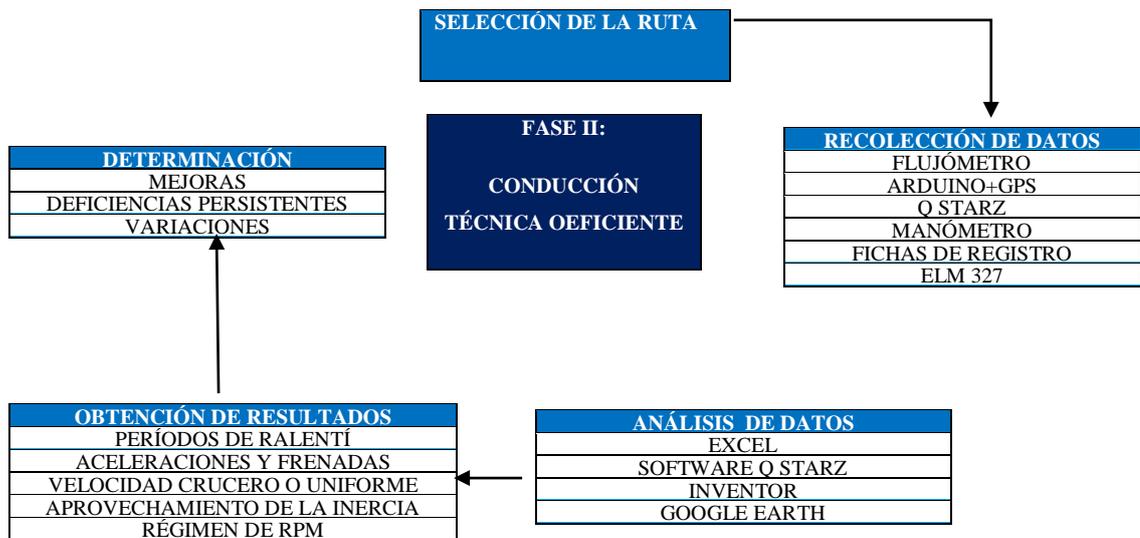
#### 3.6.3.2 Etapa de conducción eficiente

Fase en la cual es determinado el consumo de combustible [Litros] a través de la aplicación de las técnicas de conducción eficiente previamente establecidas que guardan concordancia con la ruta y con el vehículo seleccionados.

Para ello, los procedimientos serán similares a los de la Fase I:

- Selección de la ruta y muestra.
- Recolección de datos.
- Análisis de datos: Mejoras y deficiencias persistentes.
- Obtención de resultados.

El siguiente flujograma indica las acciones a seguir durante la Fase II.



Flujograma 3.3. Actividades Fase II

### 3.6.4 EVALUACIÓN FINAL DE LOS RESULTADOS

Serán evaluados los resultados obtenidos de FASES I y II para determinar la conveniencia de las técnicas planteadas entorno al consumo de combustible del vehículo.



Flujograma 3.4. Comparación de resultados

### 3.7 CONCLUSIONES CAPÍTULO III

-El uso de las herramientas de medición: flujómetro y módulo ARDUINO + GPS, permiten sincronizar los datos de consumo de combustible en la línea de inyección con los datos de posicionamiento (dispositivo de apoyo GPS Q Starz); pudiéndose así cuantificar con precisión durante cada instante de la ruta la influencia que tiene un determinado estilo de conducción sobre el consumo de combustible, determinándose también el régimen de rpm instantáneo a través del lector de parámetros del motor OBD II.

-La ruta Cuenca –Loja que realiza la empresa Élite Tours Cía. Ltda. presenta numerosas características geométricas, topográficas, ambientales y de tráfico a lo largo de su trazado; permitiendo ejercer con amplitud la evaluación de técnicas específicas de conducción eficiente conforme los parámetros técnicos de las unidades para así, establecer un modelo de conducción eficiente específico para ese trayecto y conforme los resultados, impartirlo a todos los conductores de la flota.

-El uso de los dispositivos descritos en este capítulo, conforme la tecnología de la ECU de las unidades vehiculares, permiten evaluar el consumo de combustible a través de las siguientes técnicas de conducción eficiente: períodos de ralentí, aceleraciones y frenadas bruscas, velocidad uniforme o crucero, aprovechamiento de la inercia (en pendientes negativas) y régimen de rpm. En consecuencia, es posible establecer la aplicación de dichas técnicas antes y después de una capacitación al conductor objeto del estudio, con el propósito de comprobar la influencia de técnicas de conducción en el consumo de combustible.

-El procesamiento de datos está fundamentado en principios de la dinámica vehicular y la física, abarcando una gestión estadística de los parámetros inherentes al estudio; teniéndose como herramientas de análisis software como Microsoft Excel 2016, Q Travel, Google Earth Pro, Autodesk Inventor 2013 y Torque App. De este modo, es posible procesar la información, georreferenciar cada punto de la ruta y obtener ciertos parámetros o coeficientes del vehículo para el cálculo; todo esto de una manera confiable y rápida.

## CAPÍTULO IV

### FASE I: CONDUCCIÓN NORMAL O COTIDIANA

Esta fase comprende la evaluación de la conducción en la ruta Cuenca-Loja sin una instrucción ni información previa, analiza una muestra de 10 viajes en los que el conductor aplica técnicas cotidianas de conducción y que guardan relación con las cinco técnicas de conducción eficiente a evaluar. En consecuencia, las variables medidas y calculadas permiten obtener resultados generales de la ruta y resultados específicos para cada una de las cinco técnicas precisadas.

#### 4.1 RESULTADOS GENERALES.

Este apartado hace mención a las variables principales obtenidas en torno a la dinámica del vehículo, posicionamiento, consumo y costo de combustible.

##### 4.1.1 Tiempo.

El tiempo de viaje es de  $3,5 \pm 0,06$  horas, considerando que existen zonas de tráfico vehicular que exigen detenciones o en las que se presenta una circulación a bajas velocidades; además de la presencia de intersecciones semaforizadas, redondeles y obras públicas. Los principales puntos de saturación vehicular son: zona urbana de Cuenca y zona urbana de Loja.

Es importante considerar que imprevistos como accidentes, derrumbes u operativos de tránsito pueden influir en el tiempo de viaje.

##### 4.1.2 Velocidad.

La velocidad promedio es de  $58,66 \pm 0,06$  km/h, con intervalos de velocidad en ascensos desde los 30 Km/h hasta los 50 km/h. En rectas y descensos los intervalos de velocidad abarcan desde los 50 Km/h hasta los 100 km/h.

La velocidad máxima es de  $101,48 \pm 0,05$  km/h.

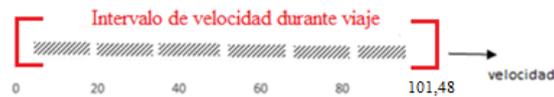


Figura 4.1. Intervalo de velocidad

### 4.1.3 Pasajeros.

El número promedio de pasajeros es de 8 personas. En general, los usuarios promedio son adultos y en ocasiones menores de edad viajan acompañados por adultos. La mayoría de pasajeros corresponden a usuarios de sexo masculino, seguidos por usuarios de sexo femenino y finalmente menores de edad.

### 4.1.4 Altitud y pendiente.

La altitud en el viaje es de  $2694 \pm 0,02$  m, con una altitud máxima de  $3460 \pm 0,00$  m localizada en el sector “entrada a Jima” (~km 38) y una altitud mínima de  $1884,23 \pm 0,01$  m localizada en el sector “río León” (~km 89).

La pendiente promedio positiva (+) es de  $2,59 \pm 0,06$  ° y la pendiente promedio negativa (-) es de  $-2,62 \pm 0,07$  °, notándose una leve inclinación mayor en descensos o bajadas.

### 4.1.5 Consumo de combustible.

El consumo de combustible promedio en los 212 km de recorrido, es de  $23 \pm 0,06$  litros equivalentes a  $6,07 \pm 0,06$  galones o un rendimiento de 11,11 L/100 km; teniéndose como referencia que la salida es realizada con un nivel del depósito de combustible aproximadamente a la mitad según el indicador de nivel de combustible.

Existen un ascenso exigente en el sector “subida de Cumbe” (~km 27) en el que la temperatura llega hasta promedios inferiores a los 10 °C y la densidad de aire más baja de la ruta (Vera y Vélez, 2016), constituyendo el ascenso hasta el punto más alto de la ruta (3460 m.s.n.m.) y en el que se genera el pico más alto de consumo de combustible a los 2000 segundos según la Figura 4.3. Posteriormente, el repostaje de combustible es realizado en la estación de servicio de La Paz (1) (~km 67) o en la estación de servicio de Oña (2) (~km 100). Véase Figura 4.2. El volumen de repostaje aborda desde los 11 hasta los 14 galones y satisface: la culminación del

viaje Cuenca-Loja, un viaje de retorno Loja-Cuenca y la porción de otro viaje Cuenca-Loja (hasta nuevo repostaje).

Otros ascensos de exigencia (Figura 4.3) se encuentran en el sector El Tablón (~km 103, 6800seg.) y en el sector “salida de Saraguro” (~km 135, 8500seg.); conociéndose como condiciones exigentes a: el grado de pendiente y las variaciones ambientales, básicamente en la temperatura; con ascensos hasta los 3000 m.s.n.m aproximadamente a temperaturas promedio de 13° C. De este modo, se presenta una variación de la densidad del aire, con los rangos entre los (0,83-0,9 kg/m<sup>3</sup>) que como puede notarse, generan picos en el consumo de combustible y entre otras cosas una mayor resistencia aerodinámica, en especial a altas velocidades, una disminución de la presión en los neumáticos, aumentando la resistencia a la fricción con el piso; el desempeño de la batería disminuye durante el clima frío, haciendo más difícil para el alternador el mantener la batería cargada (U.S Department of Energy, 2017) Véase Figura 4.3, Figura 4.4, Tabla 4.1.

Otros picos en el consumo de combustible no guardan relación con los ascensos, sino más bien con los tramos de bajada (5100 s.), (9700 s.) y (10200 s.); que según la Figura 4.4 indican aumentos de la velocidad sobre los 80 Km/h de forma inmediata, acciones que suponen un escaso aprovechamiento de la inercia y una alta presión en el pedal del acelerador.

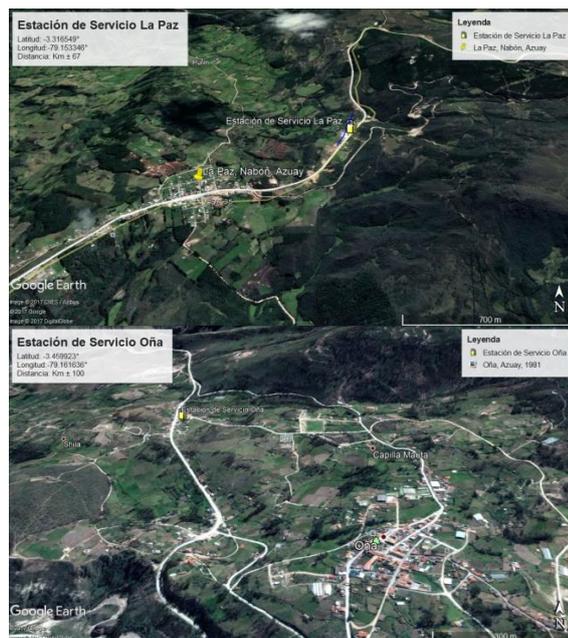


Figura 4.2. Lugares de repostaje.  
Google Maps.

**Tabla 4.1.**  
*Características de los tramos de ascenso*

| <b>Tramos</b>  |   |  |
|--|---|--|
|  |   |  |
| Nomenclatura   | Sector y características  | Figura   |
| 1  | <p>Subida de Cumbe<br/>~km 27</p> <p>Distancia: 14,6 km<br/>Pendiente promedio (+): 3,20 °<br/>Altitud mínima: 2690 m.<br/>Altitud máxima: 3460 m.</p>    |    |
| 2  | <p>El Tablón<br/>~km 103</p> <p>Distancia: 14,4 km<br/>Pendiente promedio (+): 3,21 °<br/>Altitud mínima: 2255 m.<br/>Altitud máxima: 3058 m.</p>         |  |
| 3  | <p>Salida de Saraguro<br/>~km 135</p> <p>Distancia: 10,7 km<br/>Pendiente promedio (+): 3,84 °<br/>Altitud mínima: 2261 m.<br/>Altitud máxima: 2987 m</p> |  |

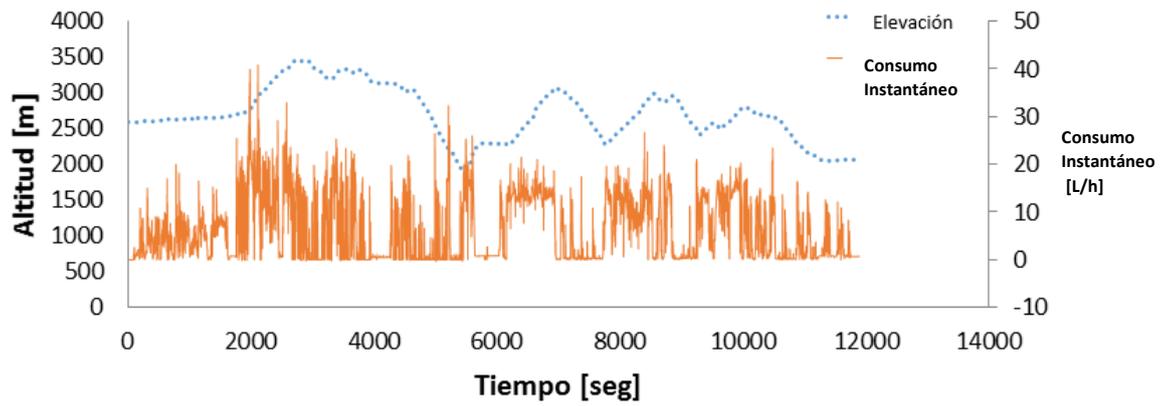


Figura 4.3. Diagrama Altitud- Caudal- Tiempo

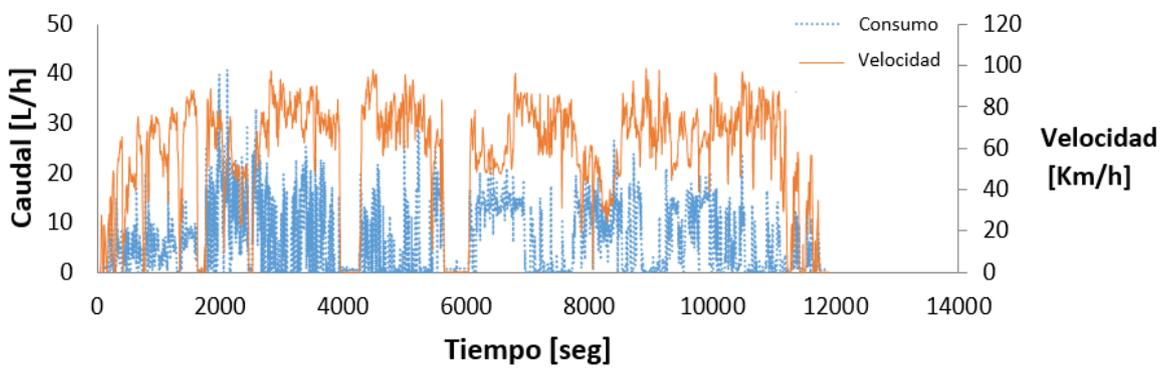


Figura 4.4. Diagrama caudal-velocidad-tiempo

#### 4.1.6 Costo.

El costo promedio por viaje es de  $6,30 \pm 0,06$  dólares americanos, teniendo como referencia un costo por galón de diésel de 1,037 dólares americanos. La *Tabla 4.2* indica los resultados generales obtenidos durante la Fase I.

**Tabla 4.2**  
*Resultados generales Fase I*

| Variable                  | Valor                     |
|---------------------------|---------------------------|
| Tiempo                    | $3,5 \pm 0,02$ horas.     |
| Distancia ruta            | 212 km                    |
| Distancia total recorrida | 2120 km                   |
| Velocidad promedio        | $58,66 \pm 0,06$ km/h.    |
| Velocidad máxima          | $101,48 \pm 0,05$ km/h.   |
| Velocidad mínima          | $0 \pm 0,00$ km/h.        |
| Pasajeros                 | 8 personas.               |
| Altitud promedio          | $2694 \pm 0,02$ m.        |
| Altitud máxima            | $3460 \pm 0,00$ m.        |
| Altitud mínima            | $1884,23 \pm 0,01$ m.     |
| Pendiente promedio (+)    | $2,59 \pm 0,06$ °.        |
| Pendiente promedio (-)    | $-2,62 \pm 0,07$ °.       |
| Presión de los neumáticos | $40,6 \pm 0,0$ psi        |
| Consumo de combustible    | $23 \pm 0,06$ l.          |
|                           | $6,07 \pm 0,06$ gal.      |
| Costo                     | $6,30 \pm 0,06$ USD.      |
| Rendimiento               | $11,11 \pm 0,05$ L/100 km |

## 4.2 PERÍODOS DE RALENTÍ

Los períodos de ralentí son tres:

**a.- Antes del viaje:** Tiempo en el que permanece encendido el motor del vehículo en la zona de embarque de pasajeros, previo el embarque de carga y personas. El tiempo promedio que permanece en ralentí el vehículo en esta etapa es de  $11,97 \pm 0,20$  minutos. Véase Figura 4.5.

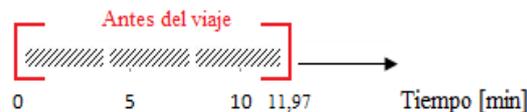


Figura 4.5. Intervalo antes del viaje

**b.-Durante el viaje:** Etapa que inicia con el embarque de los pasajeros y culmina con el desembarque de los mismos en el lugar de llegada. También intervienen los puntos de detención en la ruta como semáforos, redondeles, cruces, intersecciones, repostaje de combustible o por imprevistos.

El tiempo promedio en ralentí durante el viaje es de  $17,85 \pm 0,41$  minutos o 0,29 horas, con un número de intervalos de  $21,67 \pm 0,32$ ; tratándose el intervalo más largo de  $361,17 \pm 0,19$  segundos o 6,01 minutos aproximadamente. Este período de ralentí comprende las detenciones para el repostaje en las estaciones de servicio de La Paz o de Oña. En tanto, el intervalo de ralentí más corto es de  $2 \pm 0,0$  segundos y generalmente se debe a detenciones por el tráfico en las ciudades parte de la ruta.

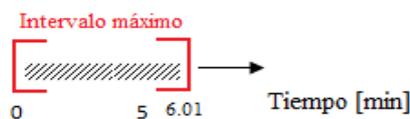


Figura 4.6. Intervalo durante el viaje

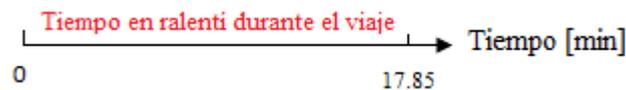


Figura 4.7. Tiempo total ralentí durante el viaje

Para este caso, los períodos en ralentí significan un  $8,22 \pm 0,36$  % del tiempo total del viaje estimado en 3,56 horas. Véase Figura 4.8.

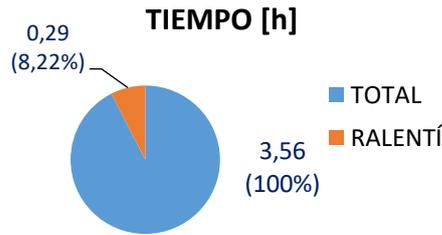


Figura 4.8. Tiempo períodos de ralentí

Para los períodos de ralentí durante el viaje, aparecen puntos con detenciones casi necesarias, especialmente en el área urbana de la ciudad de Cuenca, el inicio de la ruta, en las intersecciones marcadas con los números 1, 2,3 y 4 de la Figura 4.9. El número 1 corresponde a la intersección Av. de las Américas y Remigio Crespo, la que evidencia un déficit de operación según el [Plan de Movilidad de la ciudad de Cuenca \(2015\)](#), con niveles de servicio de tipo E y F, es decir, con condiciones de flujo vehicular cerca del límite o forzadas y ondas de parada y arranque.

Los puntos 2 y 3 corresponden a intersecciones semaforizadas con distancia menor a un kilómetro de distancia, que según el mismo [Plan de Movilidad \(2015\)](#), pueden presentar inconvenientes en cuanto a congestión y demoras.

El punto 4 recae en una zona que contempla un nivel de servicio C, con una selección de velocidad influenciada por la presencia de otros vehículos y con una libertad de maniobra restringida. En tanto, el punto 5 hacer referencia a otra intersección con niveles de servicio E y F: Av. de las Américas y Primero de Mayo ([Plan de Movilidad de Cuenca, 2015](#)). Véase *Figura 4.9*.

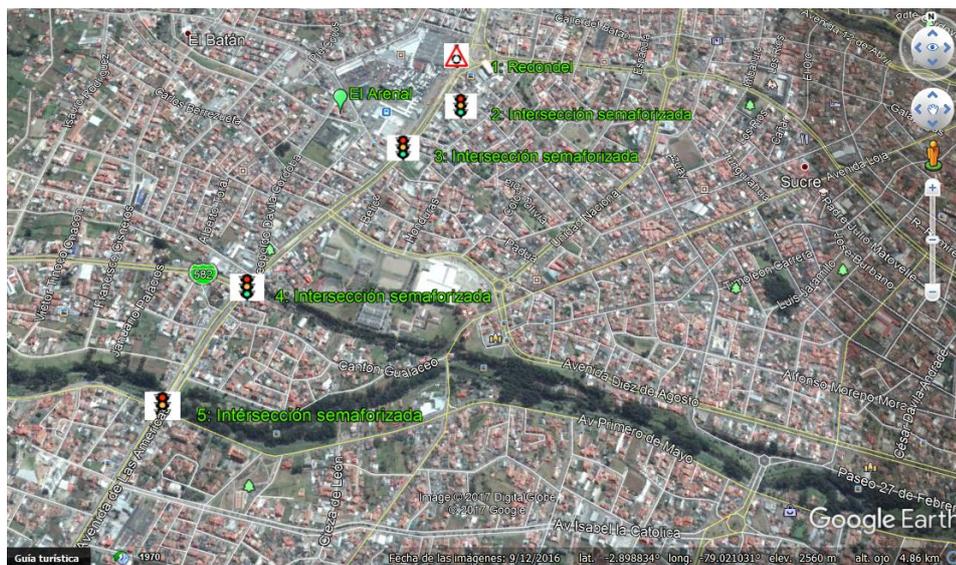


Figura 4.9. Puntos de congestión al inicio de la ruta. Google Earth.

En el trayecto, las intersecciones semaforizadas de Urdaneta (1) (km 127), Saraguro (2) (km 135) y (3) y Santiago (4) (km 169); significan detenciones necesarias, atravesando zonas urbanas que para el caso de Saraguro presentan una mayor densidad de tráfico aunque a pequeña escala. Véase Figura 4.10.

Para la llegada a Loja, existe un punto conflictivo en un redondel, específicamente en la Av. 8 de Diciembre y Av. Pablo Palacio, destacando sus dimensiones no funcionales y su tamaño (Zúñiga, 2013). Al final de la ruta, destacan cuatro puntos de detenciones necesarias a través de intersecciones semaforizadas. Véase Figura 4.11.

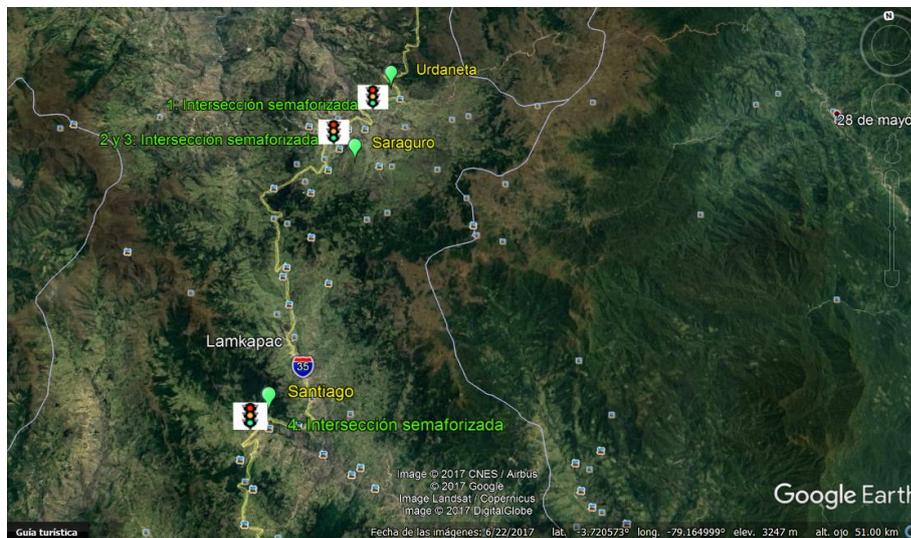


Figura 4.10. Puntos de detención en la ruta. Google Earth.



Figura 4.11. Punto de alto tráfico en Loja. Google Earth

**c.- Después del viaje:** Esta etapa inicia con el desembarque de los pasajeros y carga en su destino final y culmina con el apagado del motor del vehículo en su zona de estacionamiento. El tiempo promedio que permanece en ralentí el vehículo en esta etapa es de  $13 \pm 0,27$  minutos.



Figura 4.12. Intervalo después del viaje

Los principales criterios que los conductores consideran para mantener un promedio alto de los períodos de ralentí antes y después del viaje son: a.) Antes del viaje: Conseguir el calentamiento y lubricación uniforme del turbo cargador y el calentamiento uniforme del motor, b) Después del viaje: Precaución con el turbo cargador, evitar fallas por lubricación en el mismo.

Consecuentemente, el consumo de combustible por períodos de ralentí constituye un promedio de  $0,46 \pm 0,45$  litros o un 2% del consumo total de combustible estimado en  $23 \pm 0,06$  litros. Véase Figura 4.13.

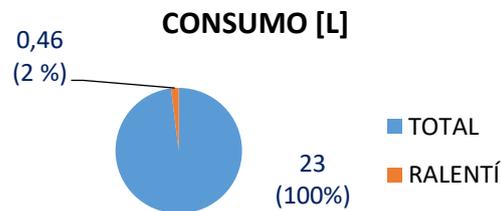


Figura 4.13. Consumo por períodos de ralentí

**Tabla 4.3**  
*Resultados Períodos de Ralentí*

| Fase                                       | Variable         | Valor                      |
|--|------------------|----------------------------|
| Antes del viaje                            | Tiempo           | $11,97 \pm 0,20$ minutos   |
|  | Tiempo total     | $17,85 \pm 0,41$ minutos   |
| Durante el viaje                           | Intervalos       | $21,67 \pm 0,32$           |
|  | Intervalo máximo | $361,17 \pm 0,19$ segundos |
|  | Intervalo mínimo | $2 \pm 0,0$ segundos       |
| Después del viaje                          | Tiempo           | $13 \pm 0,27$ minutos      |
| Consumo de combustible períodos de ralentí |                  | $0,46 \pm 0,45$ litros     |

### 4.3 ACELERACIONES Y FRENADAS BRUSCAS

Las aceleraciones y frenadas bruscas a lo largo de la ruta presentan básicamente cinco causas:

- Tráfico.
- Características geométricas.
- Maniobras de conducción.
- Imprevistos.
- Perfil psicológico del conductor.

El tráfico genera circulaciones a bajas velocidades o reducciones de velocidad, con la presencia de colas de vehículos que provocan ondas de aceleración y frenado. Estas condiciones en la ruta se presentan en las zonas urbanas de Cuenca y Loja y a la salida de la ciudad de Cuenca desde el tramo Control Sur hasta el redondel de Tarqui (km 19), debiéndose mantener un adecuado campo visual, anticipación y previsión, que sumados a la actitud del conductor, pueden generar aumento del estrés y agresividad.

Como se indica en la *Figura 4.14*, el tráfico en la ruta Cuenca-Loja es de mediana y baja intensidad, con la presencia de vehículos de transporte pesado que ameritan acciones de adelantamiento y que por las características geométricas de la ruta, en ciertos tramos se ven extremadas. Ante ello, si una acción de adelantamiento no es realizada con la adecuada distancia y previsión; puede generar un espacio corto ó la pérdida de potencia para la acción, derivando en el desistimiento a través de una frenada brusca para evitar el posible impacto o la aproximación a una curva. Las limitaciones que se presentan en la ruta analizada son el grado de pendiente, las variaciones de temperatura y la sinuosidad en ciertos tramos, de los que destacan: subida a Cumbe (~km 27), salida de Saraguro (~km 135), tramo Santiago-Loja (~km 170).

Otras maniobras de conducción con incidencia en aceleraciones y frenadas bruscas son la aproximación a curvas con una inadecuada previsión, manteniéndose una velocidad alta hasta la entrada de la curva, una posterior frenada y una aceleración brusca o no progresiva a la salida de esta.

Los imprevistos pueden generar básicamente frenadas bruscas, destacando el cruce de animales en zonas como Saraguro (~km 137), San Lucas (~km 160) o Santiago (~km 170). También pueden deberse a la caída de material en la vía en zonas como Santiago o al cruce de personas en zonas no pobladas. La incorporación inesperada a la circulación de vehículos estacionados al costado de la vía también repercute en frenadas bruscas en zonas como Cumbe, Oña, Saraguro y San Lucas. Véase *Figura 4.15*.

Los vehículos pesados en la vía se acentúan desde el límite de las provincias de Azuay y Loja, con la presencia de tanqueros, plataformas, cargadoras de cemento y camiones; que exigen una adecuada distancia de seguimiento, previsión y selección de marcha. La densidad de estos vehículos aumenta en zonas como salida de Saraguro, San Lucas, Santiago y llegada a Loja, significando una circulación de esos vehículos a bajas velocidades, con una disminución de velocidad del vehículo antecesor y una exigencia de potencia para acciones de adelantamiento.

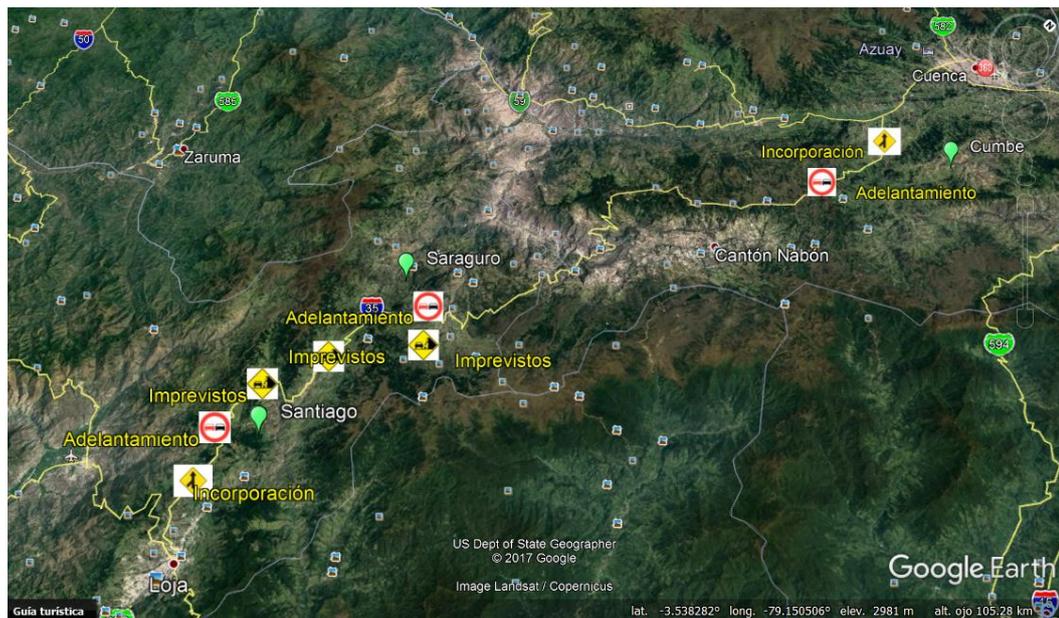


*Figura 4.14.* Intensidad de tráfico en rutas de la sierra ecuatoriana. MTOP (2012). Documento digital.

El perfil psicológico del conductor, aunque no es motivo de estudio, tal como lo señala [Egea \(s.f\)](#); puede estar influenciado por una percepción sensorial, básicamente de la visión, conforme la velocidad de desplazamiento, la dirección de

desplazamiento y el tiempo que resta para contactar con algún objeto, surgiendo el fenómeno conocido como adaptación a la velocidad, basado en el hecho de que la exposición a una estimulación continua (sin variaciones) hace que se reduzca la capacidad de respuesta de los mecanismos nerviosos sensibles a la proyección del flujo óptico en la retina. En el caso de la conducción, la disminución de la capacidad de respuesta neuronal produce una tendencia a reducir la sensación de velocidad y llevar a una circulación más deprisa, como compensación a la reducción de respuesta de los detectores de movimiento.

En consecuencia, un número de  $70,67 \pm 0,30$  eventos de aceleraciones bruscas fueron generados en promedio, con una equivalencia de  $2,03 \pm 0,39$  kilómetros recorridos o el 1,09% del total del trayecto, a su vez un tiempo de  $2,60 \pm 0,30$  minutos o el 1,20% del tiempo total del viaje. Estos eventos significan un consumo de combustible promedio de  $0,44 \pm 0,66$  litros o el 1,91% del consumo total. Véase *Figura 4.16*.



*Figura 4.15.* Puntos conflictivos en la ruta. Google Earth.

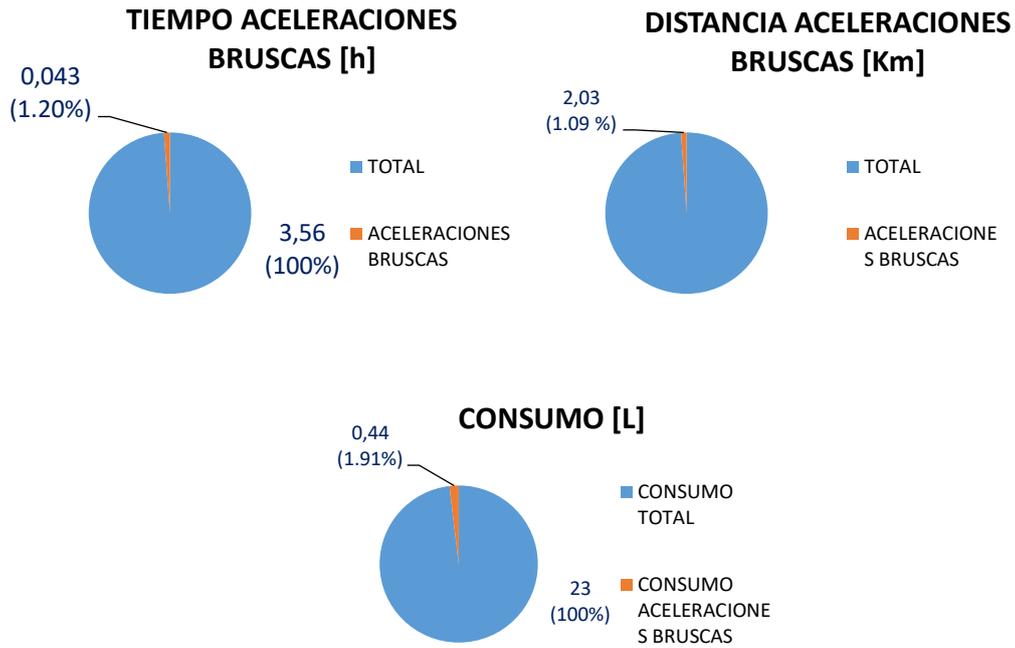


Figura 4.16. Resultados aceleraciones bruscas

Mientras tanto, un número de  $122,67 \pm 0,19$  eventos de frenadas bruscas fueron generados en promedio, con una equivalencia de  $3,32 \pm 0,22$  kilómetros recorridos o el 1,78% del total del trayecto, o a su vez un tiempo de  $4,49 \pm 0,18$  minutos o el 1,96% del tiempo total del viaje. Estos eventos significan un consumo de combustible promedio de  $0,13 \pm 1,00$  litros o el 0,56% del consumo total. Véase Figura 4.17.

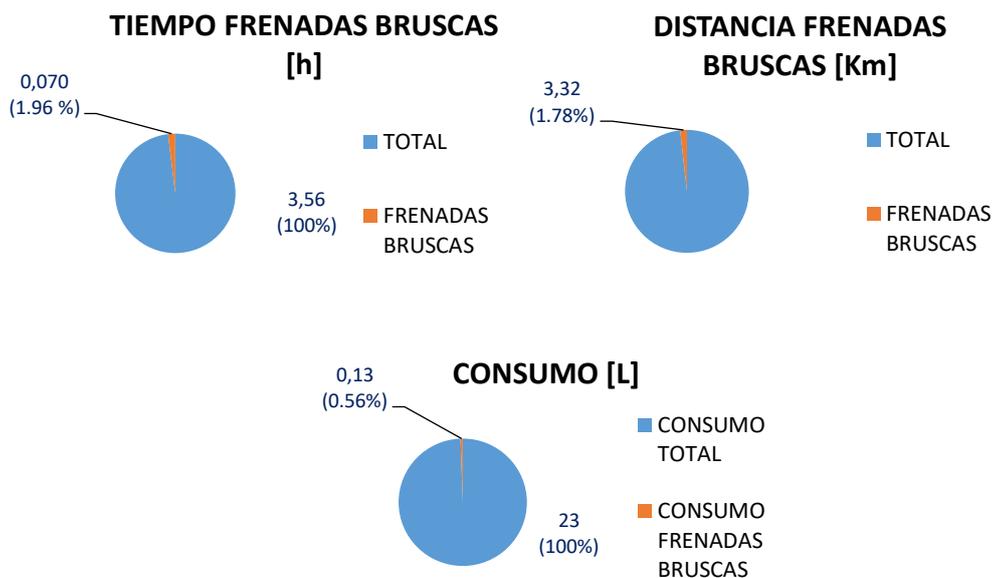


Figura 4.17. Resultados frenadas bruscas

Finalmente, haciendo una sumatoria de eventos bruscos, estos acumulan un promedio de  $193,33 \pm 0,20$ , con un equivalente al 3,31 % del tiempo o 2,87 % de la distancia total, con un consumo de combustible de  $0,57 \pm 0,40$  litros. Véase Figura 4.18.

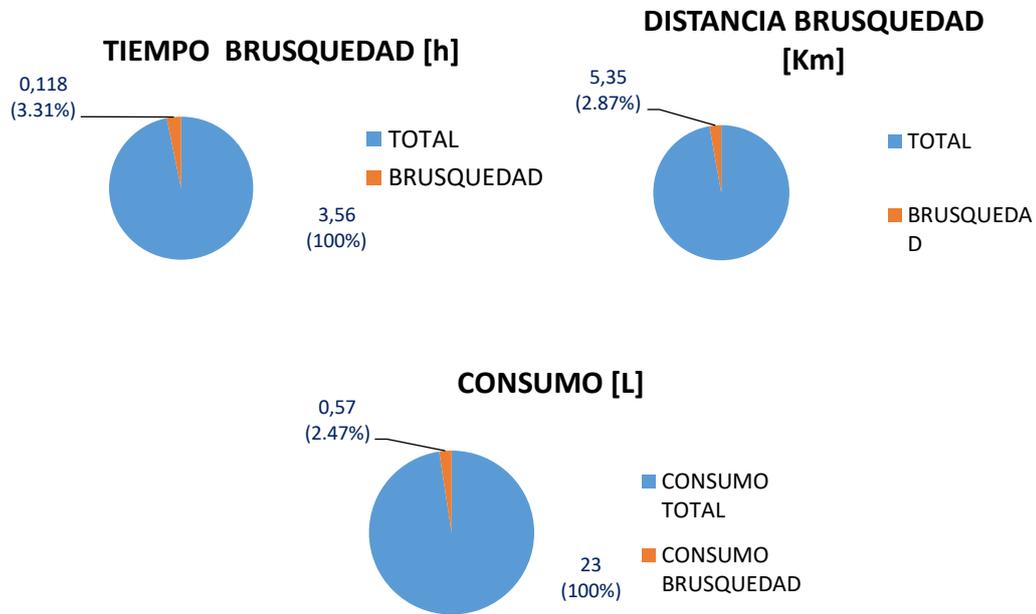


Figura 4.18. Resultados por eventos bruscos

**Tabla 4.4**  
Resultados aceleraciones y frenadas bruscas

| Fase                  | Variable               | Valor                   |
|-----------------------|------------------------|-------------------------|
|                       | Número de eventos      | $70,67 \pm 0,30$        |
| Aceleraciones bruscas | Tiempo equivalente     | $2,60 \pm 0,30$ min.    |
|                       | Distancia equivalente  | $2,03 \pm 0,39$ km.     |
|                       | Consumo de combustible | $0,44 \pm 0,66$ litros. |
| Frenadas bruscas      | Número de eventos      | $122,67 \pm 0,19$       |
|                       | Tiempo equivalente     | $4,49 \pm 0,18$ min.    |
|                       | Distancia equivalente  | $3,32 \pm 0,22$ km.     |
|                       | Consumo de combustible | $0,13 \pm 1,00$ litros. |
| Total eventos bruscos | Número de eventos      | $193,33 \pm 0,20$       |
|                       | Consumo de combustible | $0,57 \pm 0,40$ litros  |

#### 4.4 VELOCIDAD CRUCERO O UNIFORME

Como se ha mencionado antes, esta técnica guarda relación con la brusquedad, a diferencia que el análisis tolera un intervalo más pequeño de la variación de aceleraciones y deceleraciones o frenadas; con el objeto de incidir sobre la suavidad y confort en la conducción.

De este modo, los factores de incidencia están relacionados con los citados en el anterior apartado, a diferencia que es exigida una mayor pericia del conductor en cuanto al campo de visión, anticipación, previsión, presión del pedal del acelerador, aprovechamiento de la inercia, control de velocidad, técnica en curvas y régimen de rpm.

Así, ha sido recorrida una distancia equivalente promedio sin velocidad crucero de  $13,63 \pm 0,22$  kilómetros (7,32 %) o lo que equivale a un tiempo promedio sin velocidad crucero de  $15,97 \pm 0,21$  minutos (7,30%). Por ello, el consumo de combustible promedio es de  $1,37 \pm 0,40$  litros (5,95 %). Véase *Figura 4.19*.

En resumen, la *Tabla 4.5* presenta los principales parámetros.

**Tabla 4.5**  
*Resultados velocidad crucero o uniforme*

| Fase                     | Variable               | Valor                 |
|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| Sin velocidad<br>crucero | Tiempo equivalente     | $15,97 \pm 0,21$ min. |
|                          | Distancia equivalente  | $13,63 \pm 0,22$ km.  |
|                          | Consumo de combustible | $1,37 \pm 0,40$ l.    |

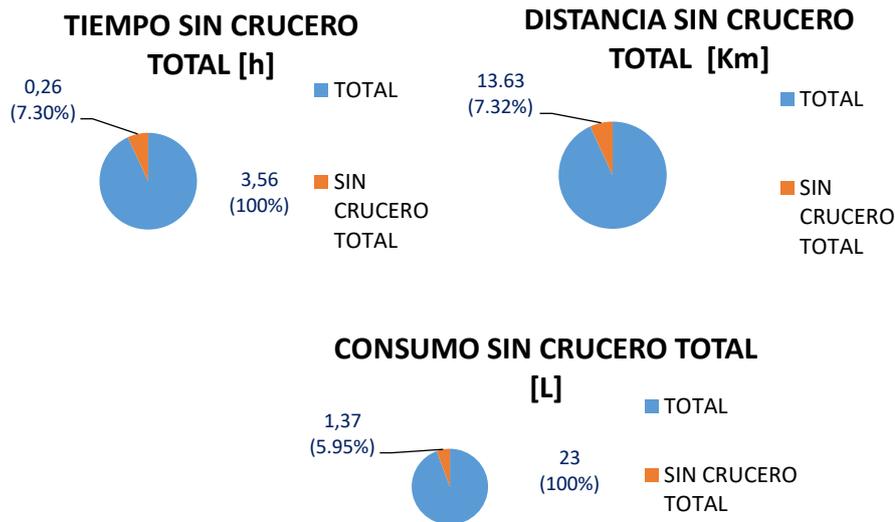


Figura 4.19. Resultados sin velocidad crucero

#### 4.5 APROVECHAMIENTO DE LA INERCIA.

El análisis contempla los cinco tramos previamente definidos por sus características de longitud, pendiente y transitabilidad. Es así que, estos tramos de pendientes negativas implican una distancia promedio de  $92,62 \pm 0,04$  kilómetros, culminados en un tiempo promedio de  $82,38 \pm 0,05$  minutos. La velocidad promedio en los tramos es de  $70,75 \pm 0,04$  km/h, con velocidades máximas promedio de  $101,57 \pm 0,05$  km/h y mínimas de  $2,18 \pm 2,45$  km/h.

En esta fase, es aplicada la técnica de freno motor aunque, al inicio de la pendiente, se producen aceleraciones para lograr un impulso que se combina con el aprovechamiento de la inercia. Así, al llegar a las curvas, es aplicado en pequeños intervalos el freno normal. En rectas se producen pequeñas aceleraciones para lograr la velocidad de circulación deseada, las que sumadas al aumento de velocidad por inercia, generan altos promedios de velocidad. El cambio o “juego” de marchas para lograr la ganancia de inercia al inicio y para conseguir el freno motor en la mitad o final de los tramos, es medianamente aplicado.

Así, el consumo de combustible promedio en los tramos proyectados para el aprovechamiento de la inercia es de  $4,99 \pm 0,22$  litros (21,69%), con un tiempo

promedio de 1,37 horas (38,48%). Los resultados son resumidos en la *Tabla 4.6*. Véase *Figura 4.20*.

**Tabla 4.6**  
*Resultados tramos aprovechamiento de inercia*

| Fase                          | Variable           | Valor              |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|
| Aprovechamiento de la inercia | Altura máxima      | 3460,10 ± 0,00 m.  |
|                               | Altura mínima      | 1886,50 ± 0,00 m.  |
|                               | Velocidad promedio | 70,75 ± 0,04 km/h  |
|                               | Velocidad máxima   | 101,57 ± 0,05 km/h |
|                               | Velocidad mínima   | 2,18 ± 2,45 km/h   |
|                               | Tiempo             | 82,38 ± 0,05 min.  |
|                               | Consumo            | 4,99 ± 0, 22 l.    |



*Figura 4.20.* Resultados aprovechamiento de inercia

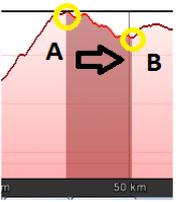
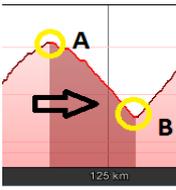
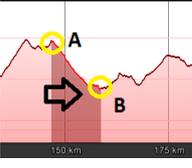
La *Tabla 4.7* da a conocer los principales factores de incidencia de cada tramo previamente definidos.

#### 4.6 RÉGIMEN DE RPM.

El régimen promedio es de  $1919,21 \pm 0,04$  rpm, con un máximo de  $3377 \pm 0,07$  rpm y un mínimo de  $694,17 \pm 0,04$  rpm.

El diagrama rpm-tiempo (*Figura 4.21*) permite identificar las zonas de bajas rpm, donde se evidencia que en los extremos se presenta la mayoría de valles de rpm, es decir, en las zonas de tráfico en las ciudades de Cuenca y Loja. Cerca de la mitad de la ruta, también se evidencian valles, relacionados con zonas de disminución de velocidad y con la detención para el repostaje.

**Tabla 4.7**  
*Características de los tramos*

| Tramo                                       | Características   | Referencia  |
|---|---|---|
| 1: Entrada a Jima<br>(~km 39<br>-km~ 49)    | Cambios de las condiciones ambientales: bajas temperaturas con menor densidad del aire (Vera & Vélez, 2016). Es el punto más alto de la ruta.<br><br>Tramo corto con una pendiente promedio (-) de -4%.   |    |
| 2: Susudel<br>(km~ 62<br>-km ~ 89)          | Es el tramo más largo y cuenta con el mayor descenso.<br><br>Presenta condiciones favorables para el aprovechamiento de la inercia.<br><br>Posee una recta en la que se producen aceleraciones por presión en el pedal.<br><br>El descenso requiere precaución por el grado de pendiente (-): -5,6 %. |    |
| 3: Urdaneta<br>(km~115<br>-km ~ 130)        | Atraviesa por una zona poblada y semaforizada.<br><br>Presenta curvas cerradas en su trazado.<br><br>Existe una zona de rebasamiento y alta velocidad.<br><br>La pendiente promedio (-) es de -5,2 %  |   |
| 4: San Lucas<br>(km~147<br>-km ~ 159)       | Atraviesa zonas pobladas<br><br>Cruce de ganado y personas en la vía<br><br>Zonas de precaución por fallas geológicas<br><br>Cuenta con zonas de alta velocidad<br><br>La pendiente promedio (-) es de -5,3 %   |  |
| 5: Llegada a Loja<br>(km~ 175<br>-km ~ 192) | Aumenta la densidad de tráfico.<br><br>Zona con curvas sinuosas.<br><br>Presencia de fallas geológicas.<br><br>La pendiente promedio (-) es de -4 %   |  |

*Nota.* Figuras de Google Earth.

En términos generales, el tiempo fuera del límite superior puede deberse a acciones de adelantamiento en las que es necesario un aumento de potencia (diagrama torque-potencia); también puede tener relación con la brusquedad ante aumentos instantáneos de velocidad a través del cambio de marchas y un pisado más a fondo del pedal del acelerador. Otro de los parámetros que intervienen es la ganancia de torque en los ascensos, con un régimen de rpm en función de la masa del vehículo + la masa transportada, el rendimiento del vehículo y la configuración del mismo: mantenimiento del motor, señal de sensores, sincronización de la bomba de inyección. Además, también puede surgir la aplicación del freno motor, que obviamente produce el aumento de revoluciones en descensos al momento de reducir una marcha para provocar una inversión en la transmisión del movimiento: desde las ruedas hacia el motor. En descensos, se presenta un promedio de  $2071,21 \pm 0,02$  rpm

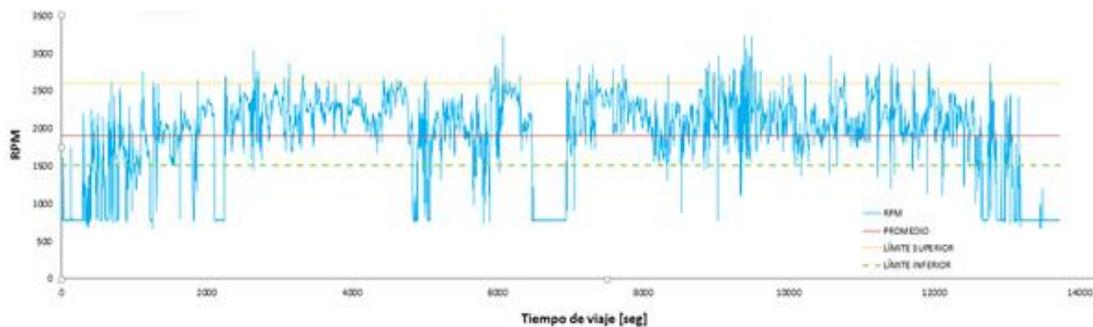


Figura 41. Diagrama rpm- tiempo

El tiempo fuera del límite inferior puede estar relacionado con el cambio de marchas (embragado), los períodos de ralentí, frenadas o deceleraciones y una circulación a marchas altas sin una presión excesiva en el pedal del acelerador.

De este modo, el tiempo sobre el régimen recomendado de rpm es de  $5 \pm 0,34$  minutos y el tiempo bajo el régimen recomendado de rpm es de  $13,67 \pm 0,34$  minutos. En conclusión, un 91,21% del tiempo se mantiene el régimen recomendado de rpm, un 2,33% del tiempo se mantiene fuera del límite superior de rpm y un 6,46% bajo el límite inferior de rpm. Véase Figura 4.22.

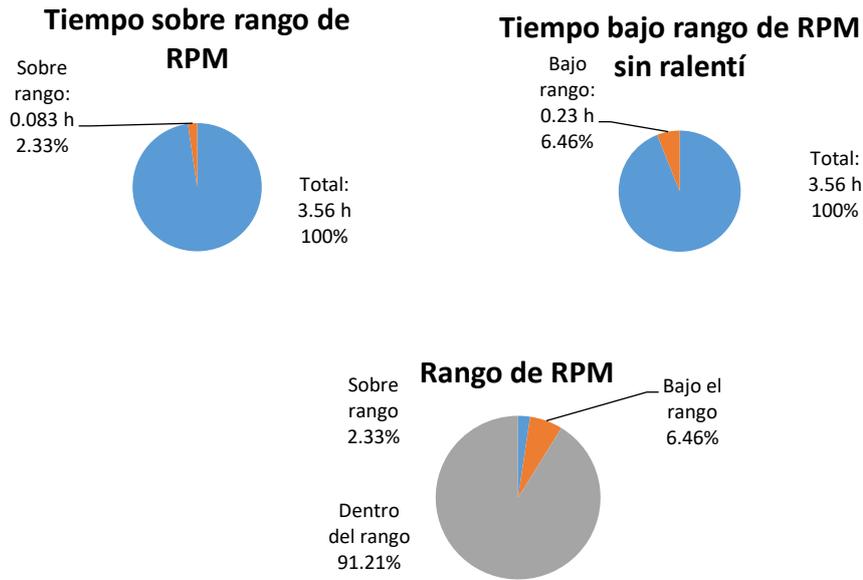


Figura 4.22. Resultados régimen de rpm

**Tabla 4.8**

Resultados régimen de rpm

| Fase           | Variable                     | Valor             |
|----------------|------------------------------|-------------------|
| Régimen de RPM | RPM promedio                 | 1919,21 ± 0,04    |
|                | RPM máximas                  | 3377 ± 0,07       |
|                | RPM mínimas                  | 694,17 ± 0,04     |
|                | RPM promedio en descensos    | 2071,21 ± 0,02    |
|                | Tiempo sobre límite superior | 5 ± 0,34 min      |
|                | Tiempo bajo límite inferior  | 13,67 ± 0,34 min. |

#### 4.7 INSTRUCCIÓN AL CONDUCTOR.

Este proceso tiene como meta dar a conocer al conductor sus principales fortalezas y los puntos que inciden con el consumo de combustible por su modo de conducción. Mediante una instrucción, el conductor es informado sobre esos factores con el respaldo de un manual de conducción eficiente (*Anexo 3*), que conforme los parámetros del vehículo y de la ruta, contiene: fundamentos básicos del vehículo, técnicas y beneficios de la conducción eficiente, resumen y ejemplos a nivel mundial.

#### 4.8 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR.

Dentro de la instrucción consta información sobre las curvas características del motor, estableciéndose que, si se opera en un rango de 1500 a 1750 rpm se obtiene economía óptima en el combustible, y si se opera desde las 1750 rpm en adelante, se obtiene un desempeño óptimo en potencia, pero con mayor consumo de combustible (Correa & et al., 2010).

Así, interesa la zona de economía óptima de combustible, que generalmente inicia cerca del torque máximo (2000 rpm) y se extiende hacia la izquierda del diagrama. A pesar de ello, es importante conocer la zona de potencia máxima, que puede emplearse para maniobras de adelantamiento o emergencia. La Figura 4.23 muestra las curvas torque - potencia del vehículo objeto de estudio.

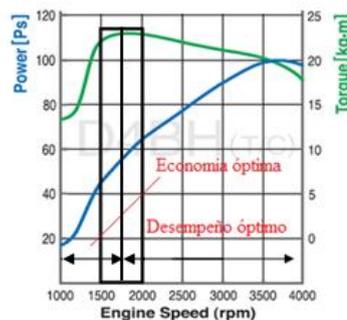
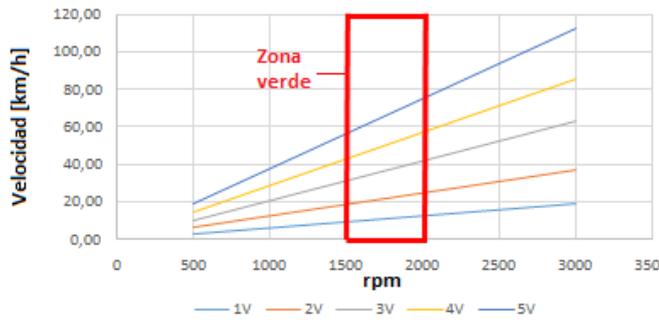


Figura 4.23. Curva Torque-Potencia motor D4BH.Hyundai.  
The family of Hyundai Engine (Documento digital)

Del mismo modo, es dado a conocer el diagrama de velocidades del vehículo (Figura 4.24) y las velocidades límite [km/h] (Figura 4.25) para cada marcha (1V,2V,3V,4V y 5V) dentro del intervalo recomendado de rpm (N) [1500;2000].



$$V = \frac{60 * N * C}{1000 * Rc * Rd * Re}$$

N= rpm del motor  
 C= Circunferencia o diámetro del neumático (m)=0,38 m  
 \*Rc= Relación de la caja de velocidades:  
 1V:4,39; 2V:2,3; 3V: 1,35; 4V: 1; 5V: 0,76;  
 R: 4,63  
 \*Rd= Relación del diferencial=0,8  
 \*Re=Relación de los ejes (1 si no existe)=1  
 \*Fuente: Ficha técnica Hyundai H1.

Figura 4.24. Diagrama de velocidades Hyundai H1

| N    | 1V    | 2V    | 3V    | 4V    | 5V     |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 500  | 3,26  | 6,23  | 10,61 | 14,33 | 18,85  |
| 600  | 3,92  | 7,47  | 12,73 | 17,19 | 22,62  |
| 700  | 4,57  | 8,72  | 14,86 | 20,06 | 26,39  |
| 800  | 5,22  | 9,97  | 16,98 | 22,92 | 30,16  |
| 900  | 5,87  | 11,21 | 19,10 | 25,79 | 33,93  |
| 1000 | 6,53  | 12,46 | 21,22 | 28,65 | 37,70  |
| 1100 | 7,18  | 13,70 | 23,34 | 31,52 | 41,47  |
| 1200 | 7,83  | 14,95 | 25,47 | 34,38 | 45,24  |
| 1300 | 8,48  | 16,19 | 27,59 | 37,25 | 49,01  |
| 1400 | 9,14  | 17,44 | 29,71 | 40,11 | 52,78  |
| 1500 | 9,79  | 18,68 | 31,83 | 42,98 | 56,55  |
| 1600 | 10,44 | 19,93 | 33,96 | 45,84 | 60,32  |
| 1700 | 11,09 | 21,18 | 36,08 | 48,71 | 64,09  |
| 1800 | 11,75 | 22,42 | 38,20 | 51,57 | 67,86  |
| 1900 | 12,40 | 23,67 | 40,32 | 54,44 | 71,63  |
| 2000 | 13,05 | 24,91 | 42,44 | 57,30 | 75,39  |
| 2100 | 13,71 | 26,16 | 44,57 | 60,17 | 79,16  |
| 2200 | 14,36 | 27,40 | 46,69 | 63,03 | 82,93  |
| 2300 | 15,01 | 28,65 | 48,81 | 65,90 | 86,70  |
| 2400 | 15,66 | 29,90 | 50,93 | 68,76 | 90,47  |
| 2500 | 16,32 | 31,14 | 53,06 | 71,63 | 94,24  |
| 2600 | 16,97 | 32,39 | 55,18 | 74,49 | 98,01  |
| 2700 | 17,62 | 33,63 | 57,30 | 77,36 | 101,78 |
| 2800 | 18,27 | 34,88 | 59,42 | 80,22 | 105,55 |
| 2900 | 18,93 | 36,12 | 61,54 | 83,09 | 109,32 |
| 3000 | 19,58 | 37,37 | 63,67 | 85,95 | 113,09 |

Figura 4.25. Límites de velocidad por cada marcha

#### 4.9 CONCLUSIONES CAPÍTULO IV

-El conductor evaluado, aunque sin un fundamento técnico certero, presenta noción sobre dos de las técnicas de conducción eficiente, específicamente sobre el aprovechamiento de la inercia y circulación a un régimen determinado de rpm; en tanto, las técnicas que corresponden a circular a una velocidad uniforme o crucero, evitar la brusquedad y evitar períodos de ralentí innecesarios son las más ignoradas, aunque dichas acciones no implican excesos a los límites de velocidad y las velocidades promedio se mantienen dentro de límites moderados.

- Los períodos de ralentí exceden notablemente las recomendaciones técnicas y del fabricante antes y después del viaje; en tanto, durante el viaje el mayor período de ralentí es llevado a cabo al momento del repostaje, una acción que contrasta con las normas de seguridad. El tráfico en las zonas urbanas de la ruta ejerce influencia en dichos períodos, especialmente en la ciudad de Cuenca donde se concentran los mayores puntos conflictivos.

-Las aceleraciones y frenadas bruscas, aunque dependen de factores no cuantificables como la anticipación y la previsión, en muchas ocasiones se presentan en tramos de longitud pequeña y tienen relación con un elevado régimen de rpm para las aceleraciones, siendo notorias estas acciones en las zonas urbanas del recorrido y en las aproximaciones a centros poblados, donde usualmente, no se realizan correcciones en el frenado ni se aprovecha el desplazamiento por inercia hasta un punto de detención o disminución de velocidad. También se encuentran estos eventos durante los adelantamientos, cuando las acciones son poco programadas o se realizan fuera de la zona de desempeño óptimo del diagrama torque-potencia, derivando en varias ocasiones en el desistimiento de la acción a través de frenadas o de la reducción de marchas, aunque a un excesivo régimen de rpm.

- La circulación a una velocidad uniforme o crucero, relacionada con los eventos bruscos, guarda relación con una distancia óptima de seguimiento, presentándose básicamente en zonas urbanas, incorporaciones y en zonas de tránsito lento (presencia de tanqueros, cargadoras, etc.).

-Respecto a los eventos bruscos y la velocidad uniforme, existen casos en los que, por factores externos al conductor, resulta imposible aplicar dichas técnicas. Priman los imprevistos como cruce de ganado y personas, así como la imprudencia de otros conductores durante las incorporaciones y cruces. En tanto, para los adelantamientos, existen zonas que por la sinuosidad de la vía o factores ambientales, se requiere elevar el régimen de rpm a la zona más lejana, para así obtener una velocidad adecuada instantánea de adelantamiento.

-El aprovechamiento de la inercia es realizado medianamente, puesto que en ocasiones se presenta presión en el pedal del acelerador para alcanzar rápidamente la velocidad deseada y se desprecia la ganancia de inercia a través de la selección de una marcha óptima. Posteriormente, dicha aceleración provoca la aplicación del

freno a la aproximación a curvas, proceso que básicamente se repite en tramos largos de las pendientes negativas. Por ende, se puede decir que medianamente se realiza la selección de marcha óptima, tanto para la ganancia de inercia como para el freno motor.

-El régimen de rpm promedio se mantiene dentro del recomendado para una economía óptima según el diagrama torque-potencia, aunque existen picos instantáneos que pueden inducir a un exceso de revoluciones para el cambio de marchas o la circulación a una marcha más baja de lo recomendado con una presión en el pedal del acelerador.

-Según los parámetros técnicos del vehículo, específicamente las relaciones de velocidad para cada marcha y del diferencial, las características del neumático y el régimen de rpm recomendado, ha sido obtenido el diagrama de velocidades del vehículo Hyundai H1, permitiendo establecer el intervalo de velocidad para la marcha seleccionada. Este procedimiento, sumado a la presentación del diagrama torque-potencia y ciertos parámetros técnicos de la ruta; han servido como referencia para la charla de conducción eficiente impartida al conductor, utilizando como herramienta un manual en el que se detallan las técnicas, ejemplos y los parámetros técnicos del vehículo y de la ruta. De este modo, es posible entrar a una nueva fase en la que se evalúa el consumo de combustible luego de una capacitación.

## CAPÍTULO V

### FASE II: CONDUCCIÓN EFICIENTE

Esta fase comprende la evaluación de la conducción en la ruta Cuenca-Loja con una instrucción previa sobre las técnicas de conducción eficiente, a través del manual descrito en capítulos previos (*Anexo 3*). Asimismo, considerando una muestra de seis viajes; los resultados son:

#### 5.1 RESULTADOS GENERALES.

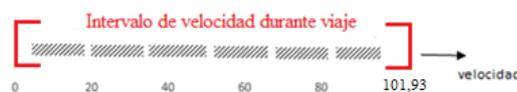
##### 5.1.1 Tiempo.

El tiempo promedio de viaje es de  $3,45 \pm 0,05$  horas, considerando la disminución de los períodos de ralentí durante el embarque y desembarque de pasajeros. Los puntos conflictivos citados en el análisis de la Fase I intervienen también en las condiciones de conducción de esta fase.

##### 5.1.2 Velocidad.

La velocidad promedio es de  $57,38 \pm 0,08$  km/h, con intervalos de velocidad en ascensos desde los 30 km/h hasta los 50 km/h. En rectas y descensos los intervalos de velocidad abarcan desde los 50 km/h hasta los 100 km/h.

La velocidad máxima promedio es de  $101,93 \pm 0,02$  km/h. (*Figura 5.1*).



*Figura 5.1.* Intervalo de velocidad

##### 5.1.3 Pasajeros.

El número promedio de pasajeros se mantiene en 8 personas. Del mismo modo, la mayoría de pasajeros corresponden a usuarios de sexo masculino, seguidos por usuarios de sexo femenino y finalmente menores de edad.

#### 5.1.4 Altitud y pendiente.

La altitud promedio en el viaje es de  $2611,58 \pm 0,04$  m, con una altitud máxima de  $3458,70 \pm 0,00$  m localizada en el sector “entrada a Jima” (~km 38) y una altitud mínima de  $1889,05 \pm 0,00$  m localizada en el sector “río León” (~km 89).

La pendiente promedio positiva (+) es de  $2,65 \pm 0,09^\circ$  y la pendiente promedio negativa (-) es de  $-2,60 \pm 0,14^\circ$ .

#### 5.1.5 Consumo de combustible.

El consumo de combustible promedio es de  $21,09 \pm 0,11$  litros equivalentes a  $5,57 \pm 0,11$  galones o un rendimiento de 10,18 l/100 Km; considerando que la salida es realizada con un nivel del depósito de combustible aproximadamente a la mitad según el indicador de nivel de combustible.

Las condiciones de exigencia obviamente se mantienen, a pesar que el diagrama de la *Figura 5.2* indica una disminución de los picos de caudal en zonas como a los 2000 segundos o en la zona de la “subida de Cumbe” (~km 27). En la misma *Figura 5.2* se observan picos de consumo al inicio de las pendientes positivas, con grados de pendiente y características ambientales que influyen básicamente en las fuerzas opositoras por pendiente y aerodinámica, destacando los ascensos de El Tablón (~km 103, 6800seg.) y “salida de Saraguro” (~km 135, 8500seg.). La magnitud de los picos se reduce hasta un máximo de 32 L/h y el valor máximo se genera al comienzo del quinto tramo de descenso a los 10200 segundos o cerca de los 2800 m.s.n.m. El volumen de repostaje aborda volúmenes similares a los realizados en la anterior fase.

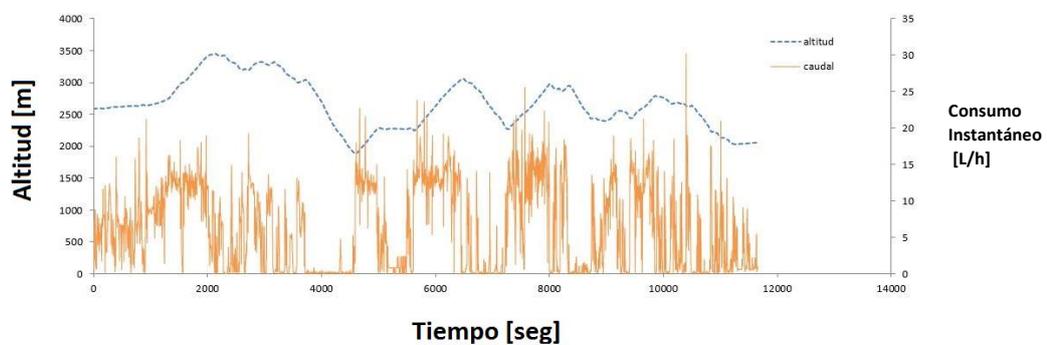


Figura 5.2. Diagrama Altitud- Caudal- Tiempo

En tanto, los picos más altos de consumo de combustible respecto a la velocidad de circulación aparecen entre los 50 y 80 km/h y se dan al inicio de los ascensos (5800, 7400 segundos) de la *Figura 5.3*. El pico más alto aparece a los 10500 segundos de la misma figura a una velocidad de 95 km/h en una zona de descenso; notándose además que los picos de consumo disminuyen en variaciones de velocidad a altas velocidades, aunque persisten en zonas como a los 900 o 9800 segundos.

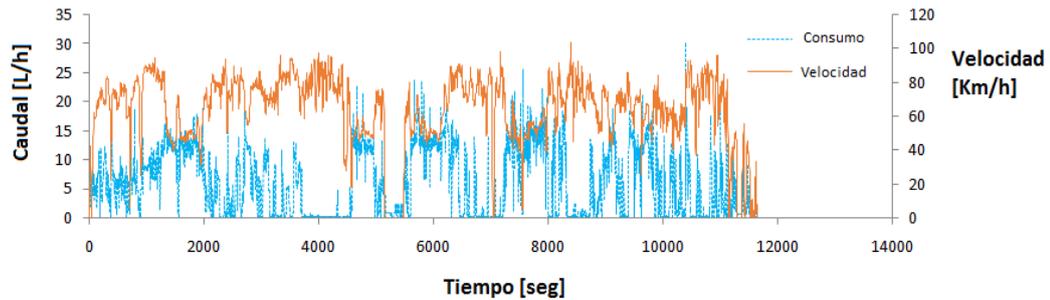


Figura 5.3. *Diagrama Caudal-Velocidad-Tiempo*

### 5.1.6 Costo.

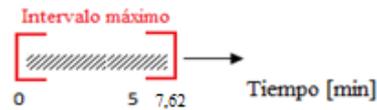
El costo promedio por viaje es de  $5,78 \pm 0,11$  dólares americanos, teniendo como referencia un costo por galón de diésel de 1,037 dólares americanos. La tabla mostrada a continuación indica los resultados generales obtenidos durante la Fase II.

**Tabla 5.1**  
*Resultados generales Fase II*

| Variable                  | Valor                      |
|---------------------------|----------------------------|
| Tiempo                    | $3,45 \pm 0,05$ horas      |
| Distancia de ruta         | 212 km                     |
| Distancia total recorrida | 1272 km                    |
| Velocidad promedio        | $57,38 \pm 0,08$ km/h      |
| Velocidad máxima          | $101,93 \pm 0,02$ km/h     |
| Velocidad mínima          | $0,00 \pm 0,00$ km/h       |
| Pasajeros                 | 8                          |
| Altitud promedio          | $2611,58 \pm 0,04$ m       |
| Altitud máxima            | $3458,70 \pm 0,00$         |
| Altitud mínima            | $1889,05 \pm 0,00$         |
| Pendiente promedio (+)    | $2,65 \pm 0,09$ °          |
| Pendiente promedio (-)    | $-2,60 \pm 0,14$ °         |
| Presión de los neumáticos | $43,5 \pm 0,0$ psi         |
| Consumo de combustible    | $21,09 \pm 0,11$ litros    |
|                           | $5,57 \pm 0,11$ galones    |
| Costo                     | $5,78 \pm 0,11$ USD        |
| Rendimiento               | $10,18 \pm 0,11$ L/ 100 km |

## 5.2 PERÍODOS DE RALENTÍ

**a.- Antes del viaje:** El tiempo promedio que permanece en ralentí el vehículo en esta etapa es de  $5 \pm 0,00$  minutos (*Figura 5.4*).

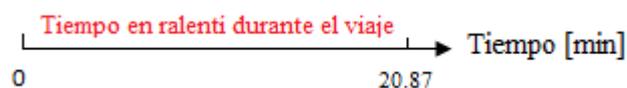


*Figura 5.4.* Intervalo de ralentí antes del viaje

**b.-Durante el viaje:** El tiempo promedio en ralentí durante el viaje es de  $20,87 \pm 0,56$  minutos o  $0,34$  horas, con un número de intervalos de  $18,17 \pm 0,21$ ; tratándose el intervalo más largo de  $457,33 \pm 0,78$  segundos o  $7,62$  minutos aproximadamente. Este período de ralentí incluye las detenciones para el repostaje en las estaciones de servicio de La Paz o de Oña. En tanto, el intervalo de ralentí más corto es de  $2 \pm 0,0$  segundos y generalmente se debe a detenciones por el tráfico en las ciudades parte de la ruta.



*Figura 5.5.* Intervalo máximo durante el viaje



*Figura 5.6* Tiempo total en ralentí durante el viaje

Para este caso, los períodos en ralentí significan un  $9,33 \pm 0,53$  % del tiempo total del viaje estimado en  $3,45$  horas. Véase *Figura 5.7*.



Figura 5.7. Resultados períodos de ralentí

Las zonas de detención y críticas son iguales a las que se mencionan en la Fase I, a diferencia que el período máximo de ralentí se extiende en  $\pm 1,61$  minutos. Este período corresponde a las detenciones para el repostaje de combustible en las estaciones de servicio de La Paz u Oña.

**c.- Después del viaje:** El tiempo promedio que permanece en ralentí el vehículo en esta etapa es de  $2,12 \pm 0,07$  minutos.

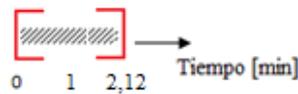


Figura 5.8. Intervalo de ralentí después del viaje

En esta etapa, considerando las recomendaciones del fabricante y resultados de estudios técnicos, los tiempos recomendados para mantener el vehículo encendido antes y después del viaje son.

**-Antes del viaje:** Hasta cinco minutos en climas fríos. Generalmente en climas normales, algunos segundos a poca potencia para asegurar la lubricación. (Hyundai, s.f).

**-Después del viaje:** Hasta dos minutos como máximo. (Hyundai, s.f).

Así, el consumo de combustible por períodos de ralentí constituye un promedio de  $0,29 \pm 0,18$  litros o un 1,38% del consumo total de combustible estimado en  $21,09 \pm 0,11$  litros. Véase Figura 5.9.

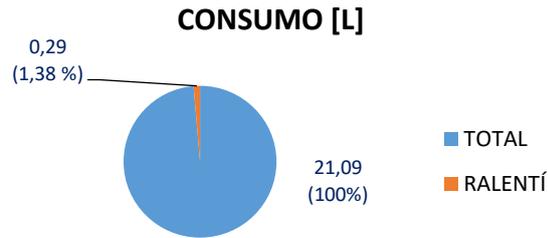


Figura 5.9. Consumo por períodos de ralentí

**Tabla 5.2**  
*Resultados períodos de ralentí*

| Fase   | Variable         | Valor                      |
|--|------------------|----------------------------|
| Antes del viaje                                | Tiempo           | $5 \pm 0,00$ minutos.      |
|  | Tiempo total     | $20,87 \pm 0,56$ minutos   |
| Durante el viaje                               | Intervalos       | $18,17 \pm 0,21$           |
|  | Intervalo máximo | $457,33 \pm 0,78$ segundos |
|  | Intervalo mínimo | $2 \pm 0,0$ segundos       |
| Después del viaje                              | Tiempo           | $2,12 \pm 0,07$ minutos.   |
| Consumo de combustible por períodos de ralentí |                  | $0,29 \pm 0,18$ litros     |

### 5.3 ACELERACIONES Y FRENADAS BRUSCAS

De las causas indicadas en el análisis de la Fase I, las principales variaciones engloban las maniobras de conducción.

Como ya se dijo, el tráfico genera circulaciones a bajas velocidades o reducciones de velocidad especialmente en las zonas urbanas de Cuenca y Loja, generando ondas de aceleración y frenado que deben tratar de limitarse en lo máximo posible, siendo el uso del freno innecesario. Así, al ser el tráfico en la ruta de mediana y baja intensidad, el conductor puede ejercer con mayor libertad las acciones de conducción y maniobra, aplicando una relación entre: anticipación, previsión, control de la marcha de circulación y presión en el pedal del acelerador. No obstante, existen zonas con la presencia de vehículos de transporte pesado que ameritan acciones de previsión, una adecuada distancia de seguimiento y correcciones en el frenado.

En esta etapa, el conductor es informado sobre las zonas críticas y, como lo menciona Newman (2010); las acciones incorrectas de conducción tienden a repetirse en zonas específicas. Por ello, las zonas ineficientes son identificadas y la circulación es realizada con mayor precaución y uniformidad. Del mismo modo, al

conocer la zona de potencia máxima según el diagrama torque – potencia, el conductor cuenta con una referencia sobre las rpm que debe obtener para realizar acciones de adelantamientos eficaces y seguras, con un campo visual amplio y una óptima selección de marcha, situándose en la zona de rendimiento óptimo del motor.

Para la circulación dentro la curva, el conductor libera presión en el pedal del acelerador al hacer una aproximación, aprovecha la inercia del vehículo y trata de tomar la curva sin cambio de marcha siempre que la velocidad lo permita, realizando acciones instantáneas de frenado por seguridad y para mantener la uniformidad en la circulación. Al salir de la curva la aceleración es progresiva y se analiza el tramo posterior según el campo visual.

Consecuentemente, teniendo como referencia el diagrama de velocidades de su vehículo, el conductor puede seleccionar la marcha adecuada para la circulación, con una presión en el pedal del acelerador que le provee un punto elevado de torque (Diagrama Torque- % posición del acelerador), que traducido al diagrama Torque-Potencia, le permite ubicarse en la zona de economía óptima. Véase Figura 5.10.

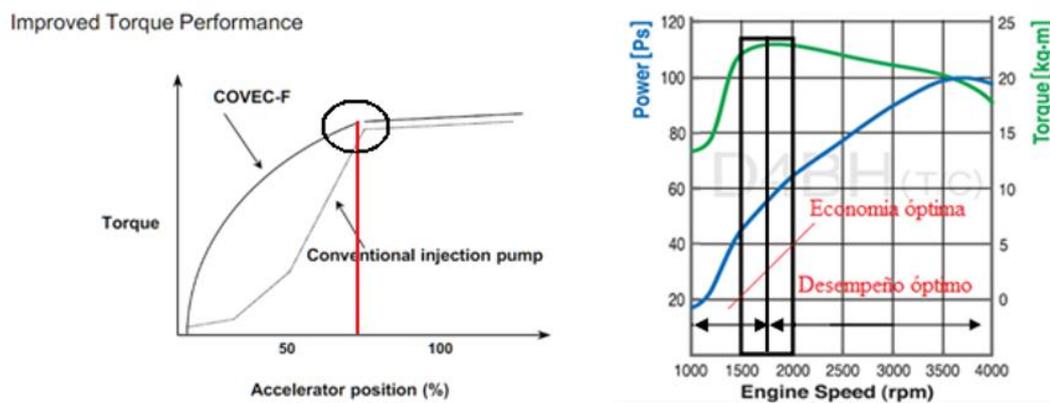


Figura 5.10. Diagrama % acelerador-torque y diagrama Torque- Potencia. Hyundai. D4BH. The Family of Hyundai Engine (Documento digital)

En resumen, en promedio, fueron generados  $58,50 \pm 0,24$  eventos de aceleraciones bruscas, con una equivalencia de  $1,81 \pm 0,25$  kilómetros recorridos ó el 0,97% del total del trayecto, a su vez un tiempo de  $2,13 \pm 0,21$  minutos o el 1,04% del tiempo total del viaje. Estos eventos significan un consumo de combustible promedio de  $0,18 \pm 0,27$  litros o el 0,85% del consumo total. Véase Figura 5.11.

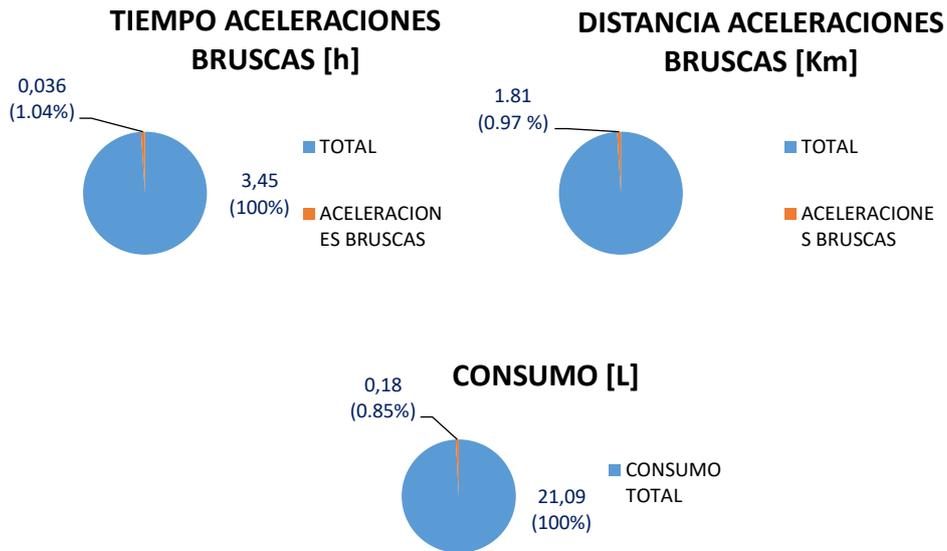


Figura 5.11. Resultados aceleraciones bruscas

Asimismo, un número de  $110,50 \pm 0,10$  eventos de frenadas bruscas fueron generados en promedio, con una equivalencia de  $3,02 \pm 0,06$  kilómetros recorridos o el 1,62% del total del trayecto, o a su vez un tiempo de  $3,85 \pm 0,09$  minutos o el 1,85% del tiempo total del viaje. Estos eventos significan un consumo de combustible promedio de  $0,10 \pm 0,26$  litros o el 0,47% del consumo total. Véase Figura 5.12.

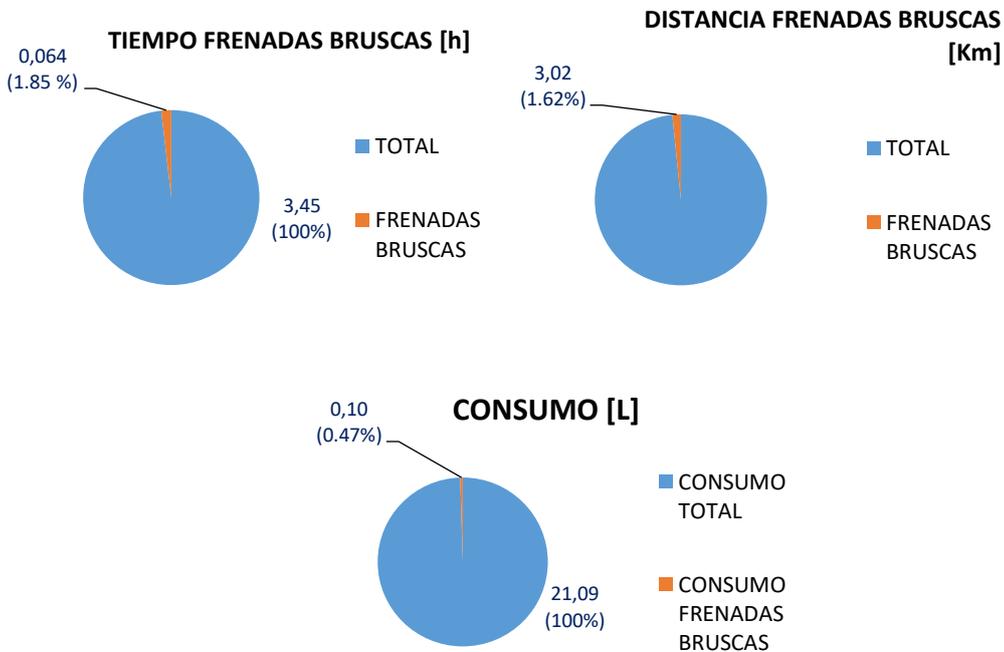


Figura 5.12. Resultados frenadas bruscas

En fin, haciendo una sumatoria de eventos bruscos, estos son un número promedio de  $169 \pm 0,14$ ; con un equivalente al 2,89 % del tiempo o 2,59 % de la distancia total, con un consumo de combustible de  $0,37 \pm 0,36$  litros. Véase Figura 5.13.

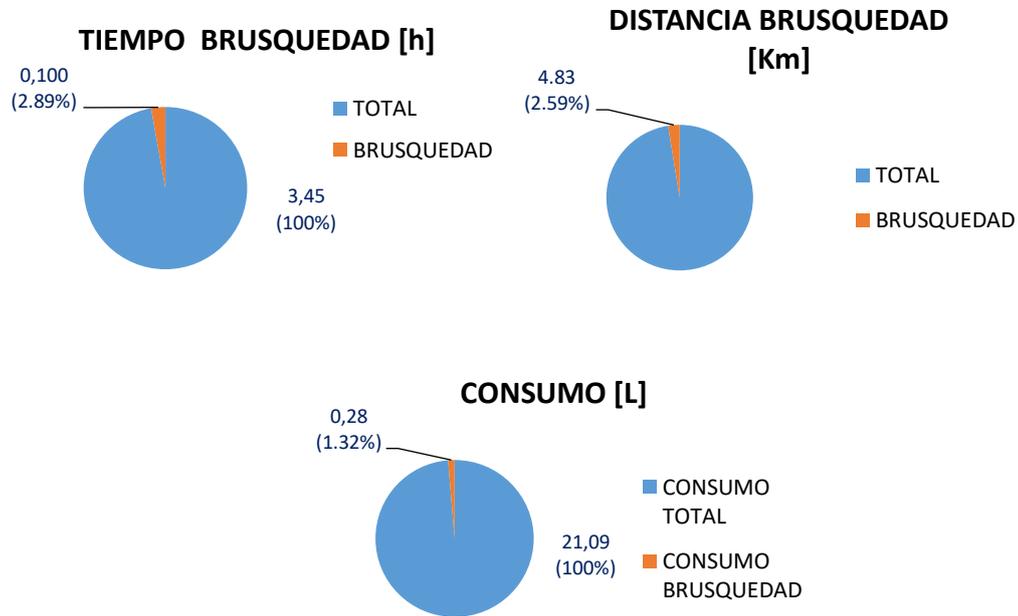


Figura 5.13. Resultados por eventos bruscos

**Tabla 5.3**  
*Resultados por brusquedad*

| Fase                  | Variable               | Valor                      |
|-----------------------|------------------------|----------------------------|
| Aceleraciones bruscas | Número de eventos      | $58,50 \pm 0,24$           |
|                       | Tiempo equivalente     | $2,13 \pm 0,21$ minutos    |
|                       | Distancia equivalente  | $1,81 \pm 0,25$ kilómetros |
|                       | Consumo de combustible | $0,18 \pm 0,27$ litros     |
| Frenadas bruscas      | Número de eventos      | $110,50 \pm 0,10$          |
|                       | Tiempo equivalente     | $3,85 \pm 0,09$ minutos    |
|                       | Distancia equivalente  | $3,02 \pm 0,06$ kilómetros |
|                       | Consumo de combustible | $0,10 \pm 0,26$ litros     |
| Total eventos bruscos | Número de eventos      | $169 \pm 0,14$             |
|                       | Consumo de combustible | $0,37 \pm 0,36$ litros.    |

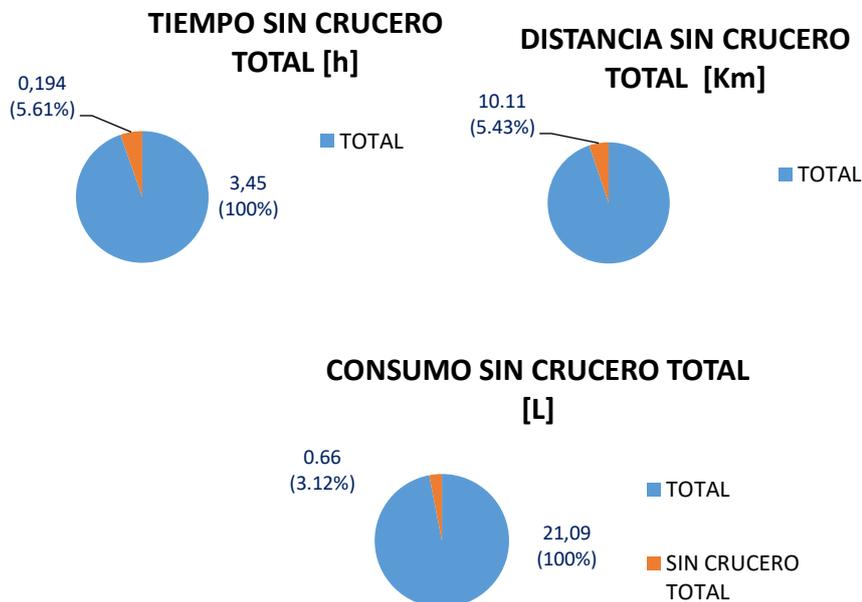
### 5.4 VELOCIDAD CRUCERO O UNIFORME

La disminución de eventos bruscos trae consigo una velocidad más uniforme, con una incidencia en el confort y la suavidad en la conducción.

En consecuencia, ha sido recorrida una distancia equivalente promedio sin velocidad crucero de  $10,11 \pm 0,09$  kilómetros (5,43 %) o lo que equivale a un tiempo promedio sin velocidad crucero de  $11,63 \pm 0,10$  minutos (5,61%). Por ello, el consumo de combustible promedio es de  $0,66 \pm 0,17$  litros (3,12 %). Véase *Figura 5.14*. Por consiguiente, la *Tabla 5.4* presenta los principales parámetros obtenidos.

**Tabla 5.4**  
*Resultados velocidad crucero*

| Fase                  | Variable               | Valor                       |
|-----------------------|------------------------|-----------------------------|
|                       | Tiempo equivalente     | $11,63 \pm 0,10$ minutos    |
| Sin velocidad crucero | Distancia equivalente  | $10,11 \pm 0,09$ kilómetros |
|                       | Consumo de combustible | $0,66 \pm 0,17$ litros      |



*Figura 5.14.* Resultados por velocidad crucero

## 5.5 APROVECHAMIENTO DE LA INERCIA.

El análisis contempla los cinco tramos antes descritos. En esta etapa, los tramos de pendientes negativas implican una distancia promedio de  $91,65 \pm 0,04$  kilómetros, culminados en un tiempo promedio de  $72,96 \pm 0,03$  minutos. La velocidad promedio en los tramos es de  $72,27 \pm 0,04$  km/h, con velocidades máximas promedio de  $101,19 \pm 0,03$  km/h y mínimas de  $11,34 \pm 1,23$  km/h.

Ahora, se evitan aceleraciones al inicio de la pendiente para lograr un impulso y se prioriza la selección de una marcha alta hasta conseguir la velocidad de circulación deseada, para posteriormente rebajar una marcha y rodar con el freno motor, aplicándose el freno normal a través de pequeñas correcciones. De este modo, las curvas son tomadas con mayor precisión.

A pesar de ello, se mantienen altos promedios de velocidad por las aceleraciones en ciertas rectas, aunque la óptima selección de marchas y la presión en el pedal del acelerador permiten controlar y prever el descenso, con un mayor control en las deceleraciones: aumento de la velocidad mínima y disminución del tiempo total.

Finalmente, el consumo de combustible promedio en los tramos proyectados para el aprovechamiento de la inercia es de  $4,42 \pm 0,38$  litros (20,95%), con un tiempo promedio de 1,28 horas (37,10%). Los resultados son resumidos en la *Tabla 5.6*. Véase *Figura 5.15*.

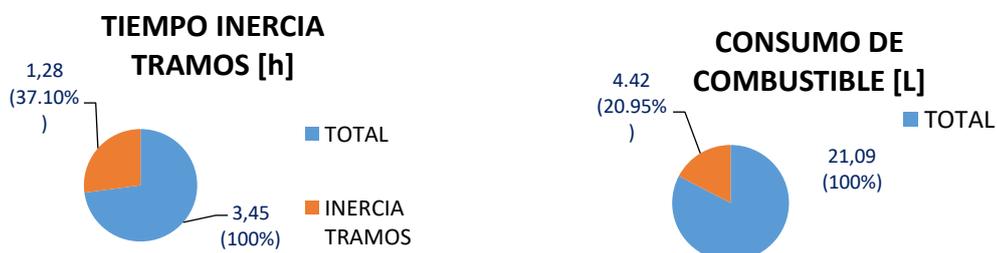


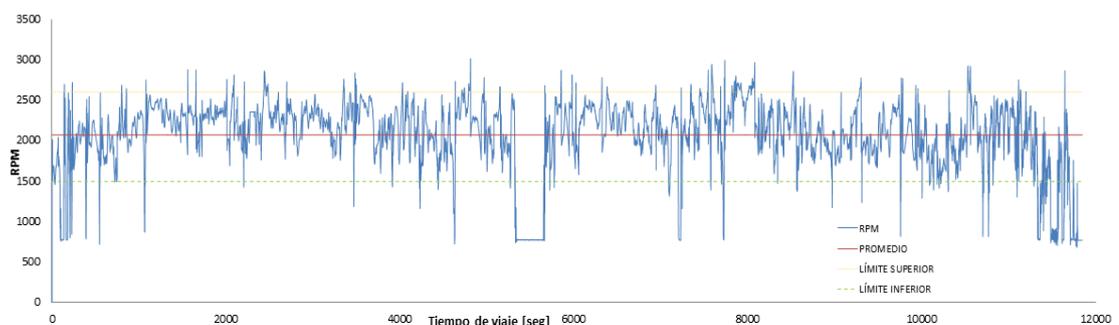
Figura 5.15. Resultados aprovechamiento inercia

**Tabla 5.6**  
Resultados aprovechamiento de la inercia

| Fase                          | Variable           | Valor              |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|
| Aprovechamiento de la inercia | Altura máxima      | 3458,52 ± 0,00 m.  |
|                               | Altura mínima      | 1885,40 ± 0,00 m.  |
|                               | Velocidad promedio | 72,27 ± 0,04 km/h  |
|                               | Velocidad máxima   | 101,19 ± 0,03 km/h |
|                               | Velocidad mínima   | 11,34 ± 1,23 km/h  |
|                               | Tiempo             | 76,96 ± 0,03 min.  |
|                               | Consumo            | 4,42 ± 0,38 l.     |

## 5.6 RÉGIMEN DE RPM.

El régimen promedio es de  $1981,12 \pm 0,03$  rpm, con un máximo de  $3187,13 \pm 0,05$  rpm y un mínimo de  $600 \pm 1,11$  rpm. En el diagrama rpm-tiempo (*Figura 5.16*) se puede notar la disminución de los picos de rpm. En tanto, las zonas de bajas rpm siguen correspondiendo a las zonas de tráfico en las ciudades de Cuenca y Loja aunque la frecuencia de los valles disminuye. Asimismo, cerca de la mitad de la ruta se nota la disminución de los valles y se mantiene la amplitud en la zona de detención para el repostaje. Considerando las causas de altas rpm citadas en la Fase I, por ejemplo acciones de adelantamiento, ganancia de torque en ascensos y aunque en menor cantidad: eventos bruscos; el promedio de rpm aumenta en el total de la ruta y específicamente en descensos, debido a una mayor aplicación del freno motor ( $2142,50 \pm 0,03$  rpm) y una menor presión del acelerador, acción que puede corroborarse con el aumento del tiempo sobre el límite superior y la disminución en el consumo de combustible.



*Figura 5.16.* Diagrama rpm- tiempo

El tiempo bajo el límite inferior, puede estar relacionado con la mayor actividad en el cambio de marchas a menores rpm, los períodos de ralentí (aumento del período máximo de ralentí), frenadas o deceleraciones y una mayor circulación a marchas altas sin una presión excesiva en el pedal del acelerador.

Por ende, el tiempo sobre el régimen recomendado de rpm es de  $5,99 \pm 0,18$  minutos y el tiempo bajo el régimen recomendado de rpm es de  $15,02 \pm 0,33$  minutos. De este modo, un 89,87% del tiempo se mantiene el régimen recomendado de rpm, un 2,89% del tiempo se mantiene fuera del límite superior de rpm y un 7,24% bajo el límite inferior de rpm. Véase Figura 5.17.

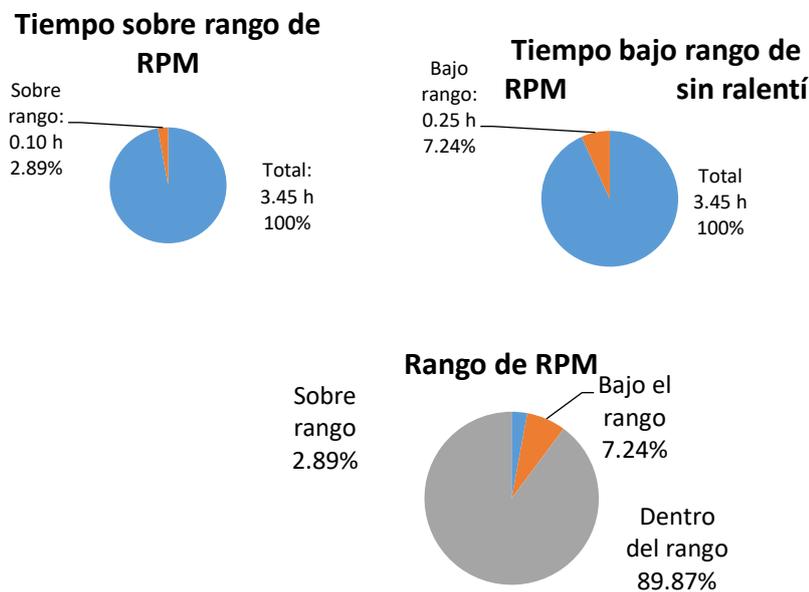


Figura 5.17. Resultados régimen de rpm

**Tabla 5.7**  
*Resultados régimen de rpm*

| Fase           | Variable                     | Valor                 |
|----------------|------------------------------|-----------------------|
| Régimen de RPM | RPM promedio                 | $1981,12 \pm 0,03$    |
|                | RPM máximas                  | $3187,13 \pm 0,05$    |
|                | RPM mínimas                  | $297,38 \pm 1,11$     |
|                | RPM promedio en descensos    | $2142,50 \pm 0,03$    |
|                | Tiempo sobre límite superior | $5,99 \pm 0,18$ min   |
|                | Tiempo bajo límite inferior  | $15,02 \pm 0,33$ min. |

## 5.7 CONCLUSIONES CAPÍTULO V

-El consumo de combustible total se ha reducido en un 8%, considerando que se mantiene el mismo conductor, vehículo, neumáticos, promedio de pasajeros y masa promedio transportada. Existe una reducción de la velocidad promedio y la velocidad en general no excede los límites correspondientes. El tiempo promedio de viaje se mantiene aunque el tiempo promedio de recolección de datos, que abarca los períodos de ralentí antes y después del viaje se reduce notablemente.

-Cada una de las técnicas evaluadas presenta una reducción, por ejemplo los períodos de ralentí se han reducido antes y después del viaje, según las recomendaciones técnicas y del fabricante. El período de ralentí más extenso durante el viaje se ha incrementado, considerando que este se da durante el repostaje, acción que permanece latente y que se ve influenciada por la salida de pasajeros de la unidad para acciones de descanso. Las zonas críticas que generan períodos de ralentí se mantienen y una forma de contrarrestar esta influencia es a través de la propuesta de nuevas rutas al salir del sector urbano especialmente de Cuenca, aunque esta modificación implica posibles restricciones de las autoridades o un análisis certero, puesto que las otras posibles alternativas se encuentran con niveles de tráfico lento según el Plan de Movilidad de Cuenca.

-Los eventos bruscos, aunque permanecen, han sido reducidos y consecuentemente el consumo de combustible. A pesar que puedan depender de factores externos, el conductor ha aplicado principios como la anticipación y desplazamiento del vehículo con aprovechamiento de la inercia en rectas y con pequeñas correcciones del freno, teniendo también especial cuidado en las curvas eliminando al máximo el frenado intenso al entrar a una curva y la aceleración desde la mitad de su trazado hasta su salida. Al conocer la zona óptima de potencia y economía del diagrama torque-potencia, el conductor puede adaptar el régimen de rpm necesario a la maniobra a través de acciones programadas.

-La circulación a una velocidad crucero o uniforme, es la técnica de mayor incidencia puesto que se mantiene durante todo el trayecto y la que mayor reducción de consumo de combustible presenta, obteniéndose así de una correcta distancia de

seguimiento, régimen de rpm y presión en el pedal del acelerador, sumándose los criterios que también tienen repercusión en los eventos bruscos.

-El aprovechamiento de la inercia presenta un gran potencial, puesto que según el perfil de elevación de la ruta y la distancia de los tramos propuestos, suman casi la mitad del trayecto. En esta fase, la coordinación selección de marcha muestra mejores resultados, con marchas altas al inicio del tramo, correcciones al frenado y aplicación oportuna del freno motor, notándose también el aumento del régimen de rpm promedio en descensos. En consecuencia, el pedal del acelerador es pisado en tramos puntuales y de manera instantánea.

-El régimen de rpm promedio se mantiene dentro del recomendado para una economía óptima aunque aumenta levemente, esto básicamente por el aumento del freno motor en descensos, que como ya se dijo, suponen casi la mitad de la ruta. Las rpm máximas se reducen, lo que indica un mayor cuidado en el cambio de marchas y en la selección de marcha.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de técnicas de conducción eficiente para el presente estudio, genera reducción en el consumo de combustible. Los resultados a continuación son detallados.

### RESULTADOS GENERALES.

El tiempo de viaje en la Fase I es de  $3,56 \pm 0,06$  horas, que para la Fase II corresponde a  $3,45 \pm 0,05$  horas. La reducción es de un 3,08% del tiempo y se debe básicamente a la reducción del tiempo de funcionamiento del motor en ralentí. El tiempo se considera desde la estación en la ciudad de Cuenca hasta la detención en la estación de la ciudad de Loja.

La velocidad promedio en la Fase I es de 58,6 km/h y en la Fase II corresponde a 57,38 km/h, básicamente por la reducción de picos y valles en las aceleraciones, con variaciones de velocidades progresivas y controladas. En términos porcentuales, la velocidad promedio reduce en un 2,08 %.

La velocidad máxima se mantiene, con un pico de 101,48 km/h para la Fase I y con un pico de 101,93 km/h para la Fase II. Estos niveles de velocidad se consiguen básicamente en tramos de pendientes negativas y en tramos rectos.

La presión de neumáticos en la Fase I es de 40,6 psi, mientras que en la Fase II es de 43,5 psi; teniendo presente que para la Fase I la presión es variable para cada uno de los neumáticos, mientras que para la Fase II, la presión de los neumáticos es constante. De acuerdo a la capacidad de carga del vehículo, el neumático es sometido a un 38,95% de la carga total recomendada por el fabricante del neumático: AEOLUS TRANSACE 225/ 70R15 C 112/110 R.

El consumo de combustible para la Fase I es de  $23 \pm 0,6$  litros, mientras que para la Fase II es de  $21,09 \pm 0,11$  litros. Esto equivale una reducción de  $6,07 \pm 0,6$  galones a  $5,57 \pm 0,11$  galones. En términos porcentuales la reducción es de 8,3 %. La reducción se debe a la aplicación de las técnicas de conducción eficiente analizadas dentro del estudio y las implicaciones que éstas conllevan.

El costo se reduce desde los  $6,30 \pm 0,06$  dólares americanos en la Fase I, hasta los  $5,78 \pm 0,11$  dólares americanos en la Fase II. La reducción equivale a un 8,25 %.

Finalmente, el rendimiento en el consumo de combustible para la Fase I es de 11,11 L/100 km, mientras que en la Fase II corresponde a 10,18 L /100 km, es decir, el rendimiento aumenta un 8,37 %. Véase Figura 6.1.

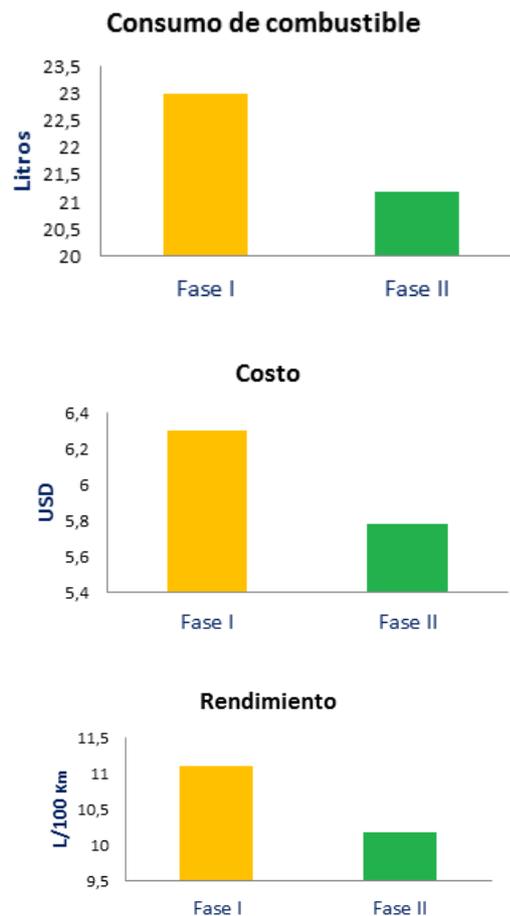


Figura 6.1. Comparación consumo, costo y rendimiento

## PERÍODOS DE RALENTÍ

El tiempo de los períodos en ralentí antes del viaje se reduce; tratándose para la Fase I de  $11,97 \pm 0,20$  minutos, mientras para la Fase II de  $5 \pm 0,00$  minutos. La reducción en términos porcentuales corresponde a un 58,23%. La reducción de tiempo en esta etapa se debe a la aplicación de la técnica, basada en las recomendaciones del fabricante y en otros estudios, en los que se recomienda un tiempo entre 2 y 5 minutos, considerando el último valor para climas fríos.

Es importante considerar que el tiempo en la Fase I se debe al criterio del conductor, que suponía que el motor debe permanecer entre 10 y 20 minutos en ralentí para el calentamiento del motor y para el calentamiento y lubricación del turbo cargador.

Durante el viaje, el tiempo de los períodos en ralentí corresponde a  $17,85 \pm 0,41$  minutos, con un número de intervalos de  $21,67 \pm 0,32$  para la Fase I. Mientras tanto, para la Fase II el tiempo aumenta a  $20,87 \pm 0,56$  minutos, con un número de intervalos de  $18,17 \pm 0,21$ . Esta variación de tiempo supone un aumento porcentual del 16,92%, aunque la disminución de intervalos abarca el 16,15 %.

El tiempo de intervalo máximo en ralentí durante el viaje para la Fase I es de  $361,17 \pm 0,19$  segundos, en cuanto que para la Fase II es de  $457,33 \pm 0,78$  segundos. Esto implica un aumento del 26,62 %. Entre tanto, el tiempo mínimo se mantiene en 2 segundos para las dos fases.

El aumento del tiempo en ralentí durante el viaje y específicamente del intervalo máximo, se debe a las detenciones realizadas para el repostaje de combustible, las que se hacen con el motor encendido y en las que los pasajeros aprovechan para un receso (actividades de estiramiento, compras de refrigerios, uso del servicio higiénico, etc.). Esta acción muchas veces está fuera del control del conductor y depende de la disposición de los pasajeros. Es importante considerar que el repostaje debería hacerse con el motor apagado por seguridad, aunque el tiempo del viaje se vería afectado en 4 minutos aproximadamente, debido a los tiempos de espera para el enfriamiento y encendido del motor.

Finalmente, el tiempo para los períodos después del viaje se reduce de  $13 \pm 0,27$  minutos en la Fase I a  $2,12 \pm 0,07$  minutos en la Fase II, o el equivalente a un 83,7 %; basado también en las recomendaciones del fabricante y de las técnicas de conducción.

Así, el consumo de combustible total por períodos de ralentí se reduce de  $0,46 \pm 0,45$  litros a  $0,29 \pm 0,18$  litros. Esto significa un 36% de reducción volumétrica. Véase *Figura 6.2*. Durante la ruta, las zonas de detención que generan períodos de ralentí son necesarias y se ven influenciadas por factores como el tráfico y señales de tránsito. Dentro de las zonas urbanas de la ruta, resulta poco certero aplicar variaciones del recorrido, puesto por ejemplo, en la ciudad de Cuenca, otra de las

zonas de salida constituiría la Av. Loja, con puntos de tráfico con niveles de saturación en su intersección con la Av. Primero de Mayo y Av. Don Bosco.

Asimismo, en el área urbana de la ciudad de Loja, la ruta se ve definida por disposiciones de las autoridades locales y las variaciones dependen de sus regulaciones.

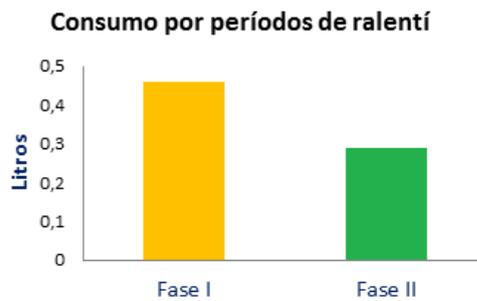


Figura 6.2. Comparación consumo períodos de ralenti

## ACELERACIONES Y FRENADAS BRUSCAS

En esta técnica, es notoria la aplicación de conceptos como la anticipación, previsión, adecuada distancia de seguimiento, relación marcha-velocidad- pedal del acelerador, aplicación del freno motor y aprovechamiento de la inercia. Así, las aceleraciones bruscas se reducen de  $70,67 \pm 0,3$  eventos para la Fase I a  $58,50 \pm 0,24$  eventos para la Fase II; esto se traduce a una reducción del 17,22% por eventos por aceleraciones bruscas. Del mismo modo, las frenadas bruscas disminuyen de  $122,67 \pm 0,19$  eventos a  $110,50 \pm 0,10$  eventos, o lo que equivale a una reducción del 9,92 % de eventos por frenadas bruscas.

Por ende, el número total de eventos disminuye de  $193,33 \pm 0,20$  eventos en la Fase I a  $169 \pm 0,14$  eventos para la Fase II, es decir, un 12,58 %.

En consecuencia, el consumo para la Fase I es de  $0,57 \pm 0,4$  litros, mientras que para la Fase II es de  $0,37 \pm 0,36$  litros, dando una reducción de 35,1 % en escala volumétrica. Véase Figura 6.3.

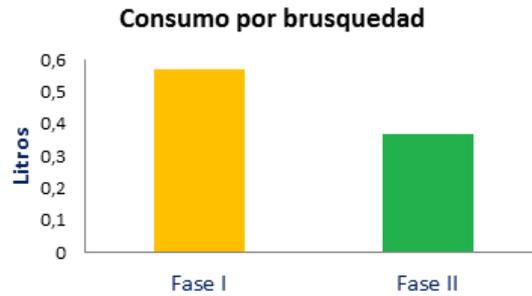


Figura 6.3. Comparación consumo eventos bruscos

Resulta imposible tener una nulidad de eventos bruscos, puesto que factores externos al vehículo inciden de manera imprevista en la circulación, por ejemplo el cruce de ganado, vehículos mal estacionados, maniobras incorrectas de otros conductores (no ceder el paso, invasión de carril, incorporaciones violentas), factores ambientales (lluvia, niebla), estado de la calzada.

En fin, otros motivos como adelantamientos, una falta de previsión y la presencia de tráfico pesado en zonas sinuosas pueden generar maniobras violentas, con aceleraciones bruscas para poder satisfacer la acción; sumándose también aspectos logísticos en el tiempo de viaje de la empresa que pueden ocasionar presión en el conductor.

## VELOCIDAD CRUCERO O UNIFORME

Como ya se dijo, ésta técnica guarda relación con la anterior aunque busca confort y suavidad en la circulación, con aceleraciones y deceleraciones progresivas, con la mantención óptima de la relación marcha- velocidad, considerando el diagrama de velocidades del vehículo y sus condiciones de carga.

Así, la Fase I significa un equivalente a  $15,97 \pm 0,21$  minutos o  $13,63 \pm 0,22$  km de recorrido sin velocidad uniforme, con un consumo de combustible de  $1,37 \pm 0,4$  litros. Para la Fase II el tiempo equivalente corresponde a  $11,63 \pm 0,10$  minutos o  $10,11 \pm 0,9$  km, con un consumo de  $0,66 \pm 0,17$  litros. Véase Figura 6.4.

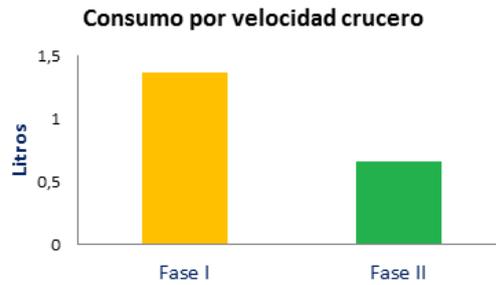


Figura 6.4. Comparación consumo por velocidad crucero

De este modo, el tiempo equivalente sin velocidad crucero se reduce de 27,15 %, o lo que equivale a una reducción de distancia de 25,82 %. Evidentemente, el consumo de combustible es reducido un 51,82%.

### **APROVECHAMIENTO DE LA INERCIA**

El uso correcto de la marcha para ganar velocidad al inicio del tramo del descenso, con los cambios oportunos de marcha que impliquen uso del freno motor y un mínimo uso del pedal del acelerador, manteniendo un régimen seguro de rpm y leves correcciones con el pedal de freno; generan mayores distancias con velocidad uniforme, que permiten el desplazamiento con mayor anticipación, generando por ejemplo que el promedio de velocidad aumente, desde los  $70,75 \pm 0,04$  km/h para la Fase I a  $72,27 \pm 0,04$  km/h para la Fase II, o el 2,15% de aumento.

Las velocidades máximas se mantienen en el límite establecido para la vía y no significan mayor variación entre las fases. Las velocidades mínimas incrementan en la Fase II ante el mayor control del vehículo, disminuyéndose las detenciones bruscas y corrigiéndose por circulaciones a bajas velocidades. Ese control tiene incidencia en el tiempo, que en la Fase I es de  $82,38 \pm 0,05$  minutos y en la Fase II se ve reducido a  $76,96 \pm 0,03$  minutos o en un 6,58%.

En fin, el consumo de combustible para los tramos definidos para el aprovechamiento de la inercia en la Fase I es de  $4,99 \pm 0,22$  litros, con una reducción para la Fase II de  $4,42 \pm 0,38$  litros, dando un porcentaje favorable de 11,42%. Véase Figura 6.5.

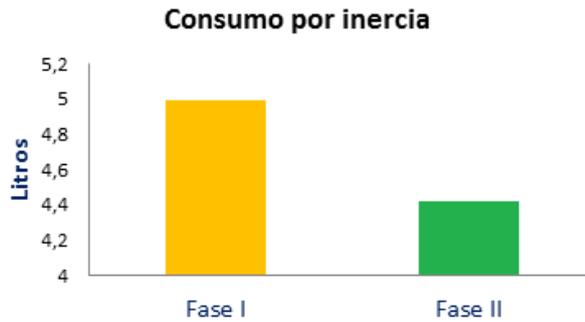


Figura 6.8. Comparación consumo aprovechamiento inercia

## RÉGIMEN DE RPM

El régimen de rpm promedio se mantiene dentro del recomendado para los dos casos, específicamente para la Fase I es de  $1919,21 \pm 0,04$  rpm y para la Fase II es de  $1981,12 \pm 0,03$ . Esto significa un aumento del 3,22 %.

Así, en la Fase I, las rpm máximas llegan a un valor de  $3377 \pm 0,07$  rpm y las rpm mínimas llegan a las  $694,17 \pm 0,04$  rpm, con un tiempo sobre el límite superior de  $5 \pm 0,34$  minutos y un tiempo bajo el límite inferior de  $13,67 \pm 0,34$  minutos. En tanto, para la Fase II las rpm disminuyen a  $3187,13 \pm 0,05$  rpm y las rpm mínimas son de  $600 \pm 1,11$  rpm, con un tiempo sobre el límite superior de  $5,99 \pm 0,18$  minutos y un tiempo bajo el límite inferior de  $15,02 \pm 0,33$  minutos.

Para los descensos, dentro de los tramos definidos para aprovechamiento de la inercia, en la Fase I las rpm promedio son de  $2071,21 \pm 0,02$  rpm, en cuanto para la Fase II son de  $2142,50 \pm 0,03$  rpm.

Evidentemente, el aumento de rpm promedio durante el viaje se mantiene dentro del intervalo recomendado y se debe a acciones como la aplicación del freno motor en mayores períodos, evitándose sobre revoluciones y manteniéndose la seguridad. Por ello, en descensos el promedio aumenta un 3,44%; aunque permite certificar las acciones realizadas para el aprovechamiento de la inercia en los tramos definidos, puesto que el consumo de combustible se ve reducido.

En concordancia, el tiempo sobre el régimen recomendado de rpm se verá afectado, con un incremento del 19,8 %. Haciendo referencia al tiempo bajo el régimen recomendado, este se incrementa un 9,87% debido al período de ralentí originado por

el repostaje, que como se ha mencionado anteriormente, es realizado con el motor encendido y comprende el desembarque de pasajeros por algunos minutos.

Para concluir, el pico de rpm se ve reducido para la Fase II, pudiéndose deducir un mayor control del conductor sobre las marchas y el pedal del acelerador conforme las condiciones de carga.

La *Tabla 6.1* evidencia las variaciones en cuanto al consumo de combustible en escala volumétrica y porcentual para las Fases I y II, así como incluye valores de costos y régimen de rpm. Los valores porcentuales significan la variación del valor obtenido en la Fase II respecto al valor obtenido en la Fase I, todo esto dentro de la técnica evaluada.

**Tabla 6.1**  
*Contraste de resultados entre las fases*

| <b>Factor evaluado</b>                                   | <b>Fase I</b>         | <b>Fase II</b>        | <b>Diferencia porcentual</b> |
|--|-----------------------|-----------------------|------------------------------|
| Consumo de combustible total                             | 23 ± 0,6 litros       | 21,19 ± 0,11 litros   | -8,3 %                       |
| Consumo de combustible por períodos de ralentí           | 0,46 ± 0,45 litros    | 0,29 ± 0,18 litros    | -36%                         |
| Consumo de combustible por eventos bruscos               | 0,57 ± 0,4 litros     | 0,37 ± 0,36 litros    | -35,1 %                      |
| Consumo de combustible por velocidad crucero o uniforme  | 1,37 ± 0,4 litros     | 0,66 ± 0,17 litros    | -51,82 %                     |
| Consumo de combustible por aprovechamiento de la inercia | 4,99 ± 0,22 litros    | 4,42 ± 0,38 litros    | -11,42%                      |
| Régimen promedio de rpm durante el viaje                 | 1919,21 ± 0,04 rpm    | 1981,12 ± 0,03 rpm    | +3,22 %                      |
| Rendimiento  | 11,11 ± 0,05 L/100 km | 10,18 ± 0,11 L/100 km | + 8,37 %                     |
| Costo  | 6,30 ± 0,06 USD       | 5,78 ± 0,11 USD       | -8,25 %                      |

Como se puede notar, la técnica de mayor influencia en la reducción del volumen de combustible es la mantención de una velocidad crucero o uniforme, la que obviamente tendrá influencia durante toda la ruta. A su vez, esta técnica tiene relación con los eventos de brusquedad, que a pesar de su persistencia presentan una reducción considerable, permitiendo entre otras cosas una circulación más segura, anticipada y confortable.

La disminución del volumen de combustible consumido por períodos de ralentí innecesarios también presenta un alto porcentaje, con un cambio del procedimiento

antes y después del viaje y con un pendiente: el repostaje con el motor encendido. A pesar que el aprovechamiento de la inercia en pendientes negativas o descensos durante la Fase I es aplicado, desprecia ciertas acciones puntuales que, tal como se indica, influyen en el consumo de combustible. Por ello, básicamente la relación selección de marcha-pedal del acelerador, tiene influencia directa en esta técnica.

Así, manteniendo un régimen de rpm adecuado para las condiciones de circulación: tráfico, pendiente, ambiente, carga; siguiendo las recomendaciones propuestas según el diagrama de velocidades, diagrama torque - potencia y diagrama apertura del acelerador – torque, y ante todo aplicando las técnicas evaluadas, el consumo total de combustible se ve reducido en un 8,3 %, con una repercusión económica del -8,25 %.

De este modo, es posible decir que la aplicación de técnicas específicas y bien definidas de conducción eficiente, genera una reducción en el consumo de combustible sin afectar mayormente en la velocidad promedio y los tiempos de viaje, para tal como lo menciona [FIAT \(2009\)](#) (*Figura 1.3*), las innovaciones tecnológicas pueden significar costos adicionales significativos para los conductores, mientras el eco driving o conducción eficiente es un método gratuito que se encuentra al mismo nivel de las innovaciones tecnológicas.

Uno de los aspectos a considerar es el estado de los vehículos, puesto que una falta de mantenimiento o un mantenimiento poco riguroso pueden influir en ciertos componentes mecánicos que a su vez intervienen en el consumo de combustible, partiendo desde detalles simples como la inspección de la presión de los neumáticos. Para el caso específico del estudio, presentaron síntomas de falla la bomba de inyección a través de una potencial desincronización. También la señal de ciertos sensores presentó anomalías, específicamente los sensores del cigüeñal, temperatura, flujo de aire y pedal del acelerador. Otras consideraciones son las modificaciones, por ejemplo, el uso de neumáticos con otras características geométricas o dinámicas. Es importante señalar que el conductor evaluado, al conocer de las acciones que se llevan, puede presentar mejorías en sus técnicas de conducción durante el proceso de estudio y por una temporada posterior luego de la instrucción, pero existe la tendencia a regresar a sus hábitos ([Newman, 2010](#)), por ello es importante el uso de estrategias por parte de la empresa, por ejemplo, ([Lai, 2015](#)) menciona métodos de

compensación en los que, los conductores mantienen buenas prácticas de conducción durante el paso del tiempo.

Del mismo modo, aplicaciones tecnológicas de control de ruta, consumo de combustible y parámetros de conducción pueden complementar la optimización del consumo de combustible, cuya base debe ser la instrucción de las técnicas de conducción, con información precisa y técnica de las características de la ruta.

Finalmente, si se nota que el ahorro promedio por viaje es de USD 0,52; considerando un promedio de dos viajes diarios sólo para la ruta Cuenca-Loja, durante seis días de la semana durante un año, el ahorro para la unidad evaluada sería de USD 299,52. De este modo, si el modelo de conducción eficiente se aplica a las aproximadamente 20 unidades de la empresa, el ahorro anual en combustible sería de USD 5990,4. En tanto, si hipotéticamente al retorno (Loja-Cuenca), el ahorro por viaje es similar, si se toma en cuenta que en ida y vuelta son cuatro viajes diarios; el ahorro para la flota sería de USD 11980,8, un beneficio que no requiere de inversión alguna en equipos de control ni la modificación de componentes o sistemas vehiculares, sino únicamente cinco técnicas de conducción eficiente.

## CONCLUSIONES

-Dado que el sector del transporte terrestre requiere de una atención prioritaria desde el punto de vista de la optimización de los recursos energéticos, más aún cuando el diésel abarca un elevado porcentaje de la demanda; la presente propuesta es una alternativa directa, sencilla y que no requiere de una inversión económica para la modificación de los sistemas vehiculares, sino únicamente la capacitación al conductor, cuyo comportamiento en la conducción influye de manera directa en el consumo de combustible y sus procedimientos de manejo están a la par o en ocasiones superan a las innovaciones tecnológicas del sector automotriz para la optimización del carburante.

-La conducción eficiente abarca procedimientos antes, durante y después del viaje, y aunque no existe un consenso sobre las técnicas que un modelo de conducción eficiente debe incluir, tampoco sobre los mecanismos para cuantificar ni evaluar una determinada técnica; se han establecido técnicas específicas cuantificables y medibles acordes a la instrumentación empleada.

-Los equipos empleados: módulo Arduino + GPS, lector de parámetros OBD II, manómetro y GPS Q Starz; permiten conocer las variables de circulación, del entorno y del conductor; cuya determinación posibilita evaluar la manera actual de conducción y relacionarla con el consumo de combustible conforme la tecnología de la ECU del vehículo Hyundai H1. Así, es posible evaluar las técnicas: períodos de ralentí, aceleraciones y frenadas bruscas, velocidad uniforme o crucero, aprovechamiento de la inercia y régimen de rpm. A pesar de ello, otros parámetros de importancia como apertura de la mariposa del acelerador, selección de marcha y períodos de ralentí durante el cambio de marchas no pudieron ser cuantificados dada la limitación de programación de la ECU del vehículo empleado.

-La ruta Cuenca-Loja que realiza la empresa Élite Tours Cía. Ltda. presenta numerosas características geométricas, topográficas, ambientales y de tráfico a lo largo de su trazado; permitiendo aplicar ciertas técnicas de conducción eficiente, algunas más sencillas como períodos de ralentí y aprovechamiento de la inercia, que se basan en acciones puntuales: controlar el tiempo de encendido del motor o no pisar el pedal del acelerador; llegando hasta técnicas que requieren una mayor destreza y concentración del conductor como circular a velocidad uniforme, evitar

eventos bruscos o mantener el adecuado régimen de rpm, todas estas basadas muchas veces en factores subjetivos y externos, por ejemplo; anticipación, previsión, imprevistos, tráfico, condiciones climatológicas, calibración y mantenimiento de componentes.

-La división del estudio en dos fases permite identificar las condiciones normales o cotidianas de manejo de un conductor específico, determinar sus falencias y aciertos; y mediante el correspondiente análisis, impartir una capacitación que permita variar ciertos comportamientos en la conducción para implementar una segunda fase: conducción eficiente, estableciéndose así una comparación del antes y después respecto al consumo de combustible.

- Dentro del contraste entre las dos fases: normal y eficiente, la aplicación de técnicas de conducción eficiente provoca la reducción en el consumo de combustible total durante el viaje del 8,3 %, con una reducción del costo total del 8,25%, con un aumento del rendimiento en L/100 km del 8,37%; con variaciones mínimas en el tiempo de viaje (-3,08%) y la velocidad promedio (-2,08%).

-El consumo de combustible se ve reducido para cada técnica de conducción eficiente entre la Fase I y la Fase II. Los períodos de ralentí implican una reducción del 36% básicamente por la disminución de tiempos con el motor encendido antes y después del viaje. Los eventos bruscos reducen un 35,1% el consumo de carburante a pesar que se mantienen entre las fases. Mantener una mayor uniformidad en la velocidad de recorrido significa una disminución del 51,82%, convirtiéndose en la de mayor reducción porcentual. El aprovechamiento de la inercia, con un potencial notable puesto que casi la mitad de la ruta implica pendientes negativas, se reduce en un 11,45% y es la técnica más aplicada antes de la capacitación. El régimen de rpm que sólo considera la velocidad de giro del motor y no la relaciona con un consumo de combustible; incrementa un 3,22% y se mantiene dentro del régimen recomendado para economía óptima del diagrama torque- potencia del motor D4BH, reduciéndose también los picos o rpm máximas en un 5,62%.

## RECOMENDACIONES

-Para cada viaje, las consideraciones deben abarcar un control de la presión de los cuatro neumáticos, mantener sus características geométricas y dinámicas (resistencia a la rodadura), mantener la carga según las recomendaciones del fabricante y limitar accesorios adicionales que modifiquen el área de contacto con el aire (mayor resistencia aerodinámica).

-Resulta factible poner en consideración de todos los conductores de la flota las técnicas de conducción eficiente evaluadas y otras precisadas en el manual correspondiente; para así generar beneficios comprobados en el consumo de combustible y otras repercusiones intrínsecas como mayor seguridad vial, mayor vida útil de ciertos componentes y mejora del confort durante el desplazamiento.

-Para solventar las teorías sobre el impacto de la conducción eficiente en las emisiones contaminantes y la vida útil de ciertos componentes, el presente estudio puede ser complementado con un análisis sobre la variación de emisiones contaminantes dentro de la ruta establecida, un análisis sobre el desgaste de neumáticos, frenos, entre otros; así como puede desarrollarse el modelo de conducción eficiente para el retorno (Loja- Cuenca).

-La optimización de recursos y la gestión de flotas deben convertirse en políticas de primer orden en las empresas de transporte sin importar su función. Es así que la empresa objeto del estudio a más de implementar estrategias que no requieren de inversión económica como las técnicas de conducción eficiente, puede obtener un mayor ahorro a través de la implementación del eco routing para los recorridos urbanos parte de la ruta, instalar dispositivos de mando y control como el start stop, implementar sistemas de transmisión y propulsión diseñados para la ruta, capacitar constantemente a sus conductores con temáticas inherentes a la conducción o la movilidad, y finalmente, mantener un registro y control del mantenimiento de cada unidad.

-Para futuros estudios, pueden sumarse equipos con mayor compatibilidad al vehículo objeto de estudio; siendo necesario contar con un registro instrumentado de la apertura de la mariposa del acelerador, la selección de marchas o los períodos de ralentí durante el cambio de marchas. También resulta importante establecer el

procedimiento de medición para parámetros que guardan mayor relación a la percepción del conductor, tales como la anticipación, previsión, distancia de seguimiento, entre otros.

- Los organismos competentes en movilidad, tránsito y transporte o eficiencia energética, deben contemplar estrategias que incluyan la difusión de técnicas de conducción eficiente en programas de conducción o capacitación, así como informar a los usuarios viales los beneficios que genera este “nuevo” modelo de conducción; tal como se hace en otros lugares del planeta varios años atrás.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Androidsis. (2017). *Torque OBD II*. Recuperado de: <https://www.androidsis.com/torque-obd2-autentico-ordenador-de-a-bordo-a-tiempo-real/> (agosto del 2017).
- Arboleda. M. (2010). *Manual de conducción eficiente para el ahorro de combustible*. Tesis de pregrado. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador.
- Arduino. (2017). *Arduino Mega y Arduino Uno*. Recuperado de: Arduino. cc (agosto del 2017).
- Autodesk. (2017). *Inventor*. Recuperado de: <https://www.autodesk.com/education/free-software/inventor-professional> (septiembre del 2017).
- Baquero. A, Álvarez. G. (2018). *Low cost data acquisition system to register fuel consumption in diesel engines vehicles*. ERGON. Centro de investigación de Ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador.
- Berry. I. (2010). *The Effects of Driving Style and Vehicle Performance on the Real-World Fuel Consumption of U.S. Light-Duty Vehicles*. Tesis de maestría. Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts, Estados Unidos.
- Beusen. B, Broekx. S, Denys. T, Degraewe. B, Gijssbers. M, Scheepers. K,...Int. L. (2009). *Using on-board logging devices to study the long-term impact of an eco-driving course*. Transportation Research Part D Transport and Environment. Bélgica.
- Candia. R. (2005) *Intervalos de Confianza*. Revista médica de Chile. Scielo. Recuperado de: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-98872005000900017](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872005000900017) (agosto del 2017).
- Clean Air Institute. (2017). *Conduce – Programa de Capacitación de Conductores Eficientes para América Latina y El Caribe*. Recuperado de: <http://www.cleanairinstitute.org/conduccionecoeficiente/que-es-conduccion-eco-eficiente/> (julio del 2017)
- CONAUTO. (2017). *Aelous Transace AL01*. Recuperado de: <http://www.conauto.com.ec/index.php/aeolus-tyres-trans-ace-al01/> (mayo del 2017).
- Corcoba. V. (sin fecha). *Eco-Driving: Ahorro de energía basado en el comportamiento del conductor*. Tesis doctoral. Universidad Carlos III. Madrid, España.
- Corcoba. V, M. Muñoz. M. (2014). *Algoritmo para el cálculo de la velocidad media óptima en una ruta (ASGA)*. Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, España.

- Correa. A, Cogollo.J, Salazar. J. (2010). *Evaluación del efecto de la conducción eficiente en el consumo de combustible en vehículos de transporte de carga pesada usando diseño de experimentos*. Medellín, Colombia.
- DFROBOT. (2018). *Microcontrolador Shield SD*. Recuperado de: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/MicroSD\\_card\\_module\\_for\\_Arduino\\_\(SKU:DFR0229\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/MicroSD_card_module_for_Arduino_(SKU:DFR0229)). (marzo del 2018).
- Dirección General de Tráfico (2014). *Conducción eficiente*. España. (Documento digital).
- Egea. A. (sin fecha). *El comportamiento humano en conducción: factores perceptivos, cognitivos y de respuesta*. Universidad de Murcia. España. (Documento digital).
- Excel total. (2017) *¿Qué es Excel?*. Recuperado de: <https://exceltotal.com/que-es-excel/> (septiembre del 2017).
- Ferreira. J, De Almeida. J, Rodrigues da Silva. A. (2015). *The Impact of Driving Styles on Fuel Consumption: A Data-Warehouse-and-Data-Mining-Based Discovery Process*. IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems. Portugal.
- Fiat. (sin fecha). *Los secretos del eco driving*. (Documento digital).
- García. N y Villalba. J. (2016). *Estudio del efecto de la conducción eficiente sobre el consumo y las emisiones*. Tesis de pregrado. Universidad Internacional del Ecuador. Quito. (Documento digital).
- Gillespie, T., Sayers, M., Segel, L. (1980). "Calibration of response type road roughness measuring systems." No. 228 NCHRP Rep. Transportation Research Board. Washington D.C, Estados Unidos.
- Google Earth (2017). *Ruta Cuenca- Loja*.
- Google Maps. (2017). *Ruta Cuenca- Loja*. Recuperado de: <https://www.google.com.ec/maps/dir//loja/@-3.4526113,-79.7115486,9z/data=!4m8!4m7!1m0!1m5!1m1!1s0x91cb480661b91d2d:0x8e12137cdc1eee09!2m2!1d-79.2112769!2d-4.0078909> (septiembre del 2017).
- Grupo San Juan S.A (2017). *Control y mantenimiento de sus neumáticos*. Recuperado de: <http://www.dunloprosario.com/#!/-control-de-neumaticos/> (julio del 2017).
- Hernández. R. (2014) *Metodología de la investigación*. Libro. 6 ed. Mc Graw Hill Education. México D.F, México.
- Hibberd. D, Jamson. H, Jamson. S. (2015). *The design of an in-vehicle assistance system to support eco-driving*. Transportation research. Part C. Science Direct. Reino Unido.

- Hiraoka. T, Terakado. Y, Matsumoto. S, Yamabe. S. (2009). *QUANTITATIVE EVALUATION OF ECO-DRIVING ON FUEL CONSUMPTION BASED ON DRIVING SIMULATOR EXPERIMENTS*. Japón.
- Hubental. A (2010). *Evaluación del sector transporte en Ecuador con miras a plantear medidas de mitigación al Cambio Climático*. UNDO (Documento digital).
- Hyundai (sin fecha) The family of Hyundai Engine. (Documento digital).
- Hyundai (2017). *H1*. Recuperado de: <https://www.hyundai.com.ec/wp-content/uploads/2016/12/h1.pdf>. (mayo del 2017).
- IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2002). *Manual de Conducción Eficiente para Conductores del Parque Móvil del Estado*. España. (Documento digital).
- IDAE: Instituto para La Diversificación y Ahorro de la Energía. (2005). *Manual de conducción eficiente para conductores de vehículos industriales*. Madrid, España. (Documento digital).
- IDAE. Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (2005). *La conducción eficiente*. España. (Documento digital)
- Ilustre Municipalidad de Cuenca. (2015) *Plan de Movilidad y Espacios Públicos*. Cap. 6-9. Cuenca, Ecuador.
- Inca. D, Lema. H, Rodríguez. R, Rocha. J. (2014). *ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR MALA CONDUCCIÓN EN AUTOMÓVILES LIVIANOS CON MOTOR A GASOLINA EN BUSCA DE UNA CONDUCCIÓN ECONÓMICA-ECOLÓGICA EFICIENTE*. ESPE. Latacunga, Ecuador. (Documento digital).
- INEC. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2015). *Anuario de estadísticas de transportes 2014*. Ecuador (Documento digital)
- INER. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (2012). *Estudio de optimización de cadenas logísticas de transporte de carga pesada*. Ecuador.
- Jeffreys. I, Graves. G, Roth. M. (2016). *Evaluation of eco-driving training for vehicle fuel use and emission reduction: A case study in Australia*. Transportation Research Part D. Science Direct. Australia.
- KIA. *D4BH (2.5 TCI) Diesel Engine (COVEC -F)*. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/138073236/D4BHEngine-1>. (julio del 2017).
- Lai. W. (2015). *The effects of eco-driving motivation, knowledge and reward intervention on fuel efficiency*. Transportation Research. Part C. Science Direct. Taiwán.

- Liimaitainen. H (2011). *Utilization of Fuel Consumption Data in an Eco driving Incentive System for Heavy-Duty Vehicle Drivers*. IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems. Vol. 12, NO. 4. 2011. Finlandia.
- Loaiza. J, Rodríguez. L. (2013). *Estudio de la eficiencia del sistema de transmisión y frenado de los vehículos de transporte pesado, para la escuela de formación y capacitación de conductores profesionales del cantón Calvas de la provincia de Loja*. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador.
- MAX. (2017). *Medidor de flujo de bajo caudal, alta presión y alta resolución*. Recuperado de: <http://www.maxmachinery.mx/que-es-un-caudalímetro> (agosto del 2017).
- Mezquita. F. (2007). *Tratado sobre automóviles*. 1 ed. Tomo IV. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Michelin (sin fecha). *The tire. Rolling resistance and fuel savings*. Recuperado de: [http://www.dimnp.unipi.it/guiggianim/Michelin\\_Tire\\_Rolling\\_Resistance.pdf](http://www.dimnp.unipi.it/guiggianim/Michelin_Tire_Rolling_Resistance.pdf) (marzo del 2017).
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. MTOP. (2012). “*MANTENIMIENTO POR NIVEL DE SERVICIO*”. Programa de Inversión. Subsecretaría de Obras Públicas. Ecuador.
- Ministerio de Salud Pública -MSP, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos- INEC. (2012) *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012*. Tomo I. Ecuador.
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (2015). *Balance energético nacional 2015*. Ecuador. (Documento digital).
- Morales. P. (2009). *Tamaño necesario de la muestra: ¿Cuántos sujetos necesitamos?*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. Recuperado de: <http://www2.df.gob.mx/virtual/evaluadf/docs/gral/taller2015/S0202EAC.pdf> (agosto del 2017).
- Naylamp Mechatronics. (2017). *Tutorial Módulo GPS con Arduino*. Recuperado de: [http://www.naylampmechatronics.com/blog/18\\_Tutorial-M%C3%B3dulo-GPS-con-Arduino.html](http://www.naylampmechatronics.com/blog/18_Tutorial-M%C3%B3dulo-GPS-con-Arduino.html) (agosto del 2017).
- Newman. S, Watson. B. (2011) *.Comparison of the driving behavior between remunerated and volunteer drivers*. Safety Science. Science Direct. Australia.
- OMEGA (2017). *Manómetro de presión*. Recuperado de: <https://es.omega.com/prodinfo/galgas-de-presion.html>. (septiembre del 2017).
- Onoda. T. (2009). *IEA policies—G8 recommendations and an afterwards*. Energy Policy. 37. Science Direct. París, Francia.

- Ordóñez S. (2016). *Evaluación de la bicicleta eléctrica como alternativa de movilidad en la ciudad de Cuenca*. Tesis de pregrado. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador.
- Pañeda. X, García. R, Díaz. G, Tuero. A, Pozueco. L, Mitre. M, Melendi. D, Pañeda. A. (2016). *Formal characterization of a efficient driving evaluation process for companies of the transport sector*. Transportation Research. Part a. España (Documento digital).
- Q Starz (2017) *BT-Q1000XT Quick Installation Guide*. Recuperado de: [Qstarz.com/BT-Q1000XT](http://Qstarz.com/BT-Q1000XT) (julio del 2017).
- Rafael. M y Hernández. A (2012). *MANUAL DE CONDUCCIÓN TÉCNICA DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES DIÉSEL: SEGUNDA EDICIÓN*. Publicación técnica No. 360. México (Documento digital).
- Sánchez. M, Rafael. M. (2000). *Impacto de tres etilos de manejo en las emisiones contaminantes y rendimiento de combustible de un vehículo de servicio pesado*. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación técnica No. 156. México. (Documento digital).
- Schall. D, Mohnen. A. (2015). *Incentivizing energy-efficient behavior at work: An empirical investigation using a natural field experiment on eco-driving*. Applied Energy. Science Direct. Munich, Alemania. (Documento digital).
- Srtömberg. K y Karlsson. M. (2013). *Comparative effects of eco-driving initiatives aimed at urban bus drivers – Results from a field trial*. Transportation Research. Suecia. (Documento digital).
- Sullman. M, Dorn. L, Niemi. P. (2015). *Eco-driving training of professional bus drivers – Does it work?.* Transportation research. Part C. Science Direct. Reino Unido.
- U.S. Department of Energy. (2017) *Ahorro de combustible en clima frío*. Recuperado de: <https://www.fueleconomy.gov/feg/escoldweather.shtml> (noviembre del 2017).
- Vera. A y Vélez. S (2016). *Obtención de los parámetros necesarios para el cálculo de la fuerza en rueda de vehículos eléctricos*. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador. (Documento digital).
- Yay. E, Martínez. N, Ortega. J. (2014). *Using an Improved Rule Match Algorithm in an Expert System to Detect Broken Driving Rules for an Energy-efficiency and Safety Relevant Driving System*. Conferencia Internacional. Procedia Computer Science. Volúmen 35. 2014. Science Direct.
- Zúñiga. S (2013). *Plan de movilidad para la ciudad de Loja*. Tesis de pregrado. Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, Ecuador.

## ANEXOS

## Anexo 1.

## Tabla fuerzas opositoras al movimiento

| Fuerza   | Fórmula                                 | Simbología   | Obtención de coeficiente  |
|--|---|--|---|
| Fuerza de resistencia al avance por rodadura     | $F_{rr} = f_r * m * g * \cos \theta$    | <p><math>F_{rr}</math>=Resistencia a la rodadura [N]</p> <p><math>f_r</math>=Coeficiente de resistencia a la rodadura [-]: 0,008</p> <p><math>m</math>=masa del vehículo [Kg]: 3116 kg</p> <p><math>g</math>=gravedad[m/s<sup>2</sup>]: 9,81</p> <p><math>\theta</math>=pendiente [rad]: instantánea</p>                           | Variación del coeficiente de resistencia a la rodadura. Tabla.(Gillespie, 1980)   |
| Fuerza de resistencia al avance por pendiente    | $F_g = m * g * \text{Sen } \alpha$      | <p><math>F_g</math>=Resistencia por pendiente [N]</p> <p><math>m</math>=masa del vehículo [kg]</p> <p><math>g</math>=gravedad [m/s<sup>2</sup>]</p> <p><math>\alpha</math>=pendiente [rad]</p>   | Masa de los pasajeros: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (MSP & INEC, 2012)  |
| Fuerza de resistencia al avance por aceleración  | $F_{acel} = m * a$                      | <p><math>F_{acel}</math>=Resistencia por aceleración [N]</p> <p><math>m</math>=masa del vehículo [kg]</p> <p><math>a</math>=aceleracióno deceleración [m/s<sup>2</sup>]: instantánea</p>   | Masa de los pasajeros: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (MSP & INEC, 2012)  |
| Fuerza de resistencia al avance por aerodinámica | $F_{aero} = 1/2 * \rho * A * C_d * V^2$ | <p><math>F_{aero}</math>=Resistencia por aerodinámica [N]</p> <p><math>\rho</math>=densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>]: 0,89</p> <p><math>A</math>=Área frontal del vehículo. [m<sup>2</sup>]: 3,41</p> <p><math>C_d</math>=Coeficiente de arrastre [-]: 0,5</p> <p><math>V</math>=Velocidad del vehículo [Km/h]: instantánea</p> | <p>Densidad del aire: Obtención de los parámetros necesarios para el cálculo de fuerza en rueda en vehículos eléctricos. Datos Cuenca-Loja (Vera &amp; Vélez, 2016).</p> <p>Área frontal del vehículo: Gráfico en Inventor. Método indicado en (Ordoñez, 2016).</p> <p>Coeficiente de arrastre: Tratado sobre los automóviles. Coeficientes de potencia para varias morfologías de vehículos. (Mezquita, 2007).</p> |

**Anexo 1. Continuación**

|                                     |   |   |
|-------------------------------------|---|---|
| Fuerza de resistencia al movimiento | $F_{rm} = F_{rr} + F_g + F_{acel} + F_{aero}$ | <p><math>F_{rm}</math>=Fuerza de resistencia al movimiento [N].</p> <p><math>F_{rr}</math>=Resistencia a la rodadura [N]</p> <p><math>F_g</math>=Resistencia por pendiente [N]</p> <p><math>F_g</math>=Resistencia por aceleración [N]</p> <p><math>F_g</math>=Resistencia por aerodinámica [N]</p> |
| Torque o momento de fuerza          | $T_x = F_{rm} * r_d$                          | <p><math>T_x</math>=Torque en las ruedas [Nm]</p> <p><math>F_{rm}</math>=Fuerza de resistencia al movimiento [N]</p> <p><math>r_d</math>=Radio dinámico del neumático [m]: 0,19</p> <p>rd: Ficha técnica del neumático <a href="#">AEOLUS TRANSACE 225/ 70R15 C 112/110 R</a></p>                   |
| Potencia de resistencia a la marcha | $P_x = F_{rm} * V$                            | <p><math>P_x</math>=Potencia de resistencia a la marcha [W]</p> <p><math>F_{rm}</math>=Fuerza de resistencia al movimiento [N]</p> <p><math>V</math>=Velocidad del vehículo [m/s]</p>   |
| Energía                             | $E = P_x * \Delta t$                          | <p><math>E</math>=Energía[ kWh]</p> <p><math>P_x</math>= Potencia de resistencia a la marcha [W]</p> <p><math>\Delta t</math>=Incremento de tiempo [s]</p>  |

**Anexo 2.**

*Criterios lógicos usados en Excel*

| Técnica evaluada      | Criterio              | Fórmula o filtro Excel  | Especificación   |
|-----------------------|-----------------------|---|--|
|                       |                       | =SI(velocidad<1;SI(caudal<0,9;0;);1)                            | Determina un valor 0 o 1. El valor 0 indica ralenti y 1 la no existencia de ralenti. |
| Períodos en ralenti   | V<1 Km/h<br>Q<0.9 L/h | =SI (filtro ralenti=0;Δt;0)                                     | Indica la cantidad de tiempo en ralenti.   |
|                       |                       | =SI(tiempo en ralenti>=1;consumo;"NO HAY CONSUMO EN RALENTI")   | Si el tiempo es mayor a cero, indica el consumo de combustible.                      |
| Aceleraciones bruscas | y frenadas bruscas    | =SI(aceleación>1;VERDADERO;FALSO)                               | Filtra aceleraciones >1m/s <sup>2</sup>  |
| a<-1m/s <sup>2</sup>  |                       |   |  |
| a>1m/s <sup>2</sup>   |                       | =SI(deceleración<-1;VERDADERO;FALSO)                            | Filtra deceleraciones <-1m/s <sup>2</sup>  |
|                       |                       | =SI(filtroaceleraciones=FALSO;0;distancia)                      | Indica la distancia recorrida con aceleraciones bruscas.                             |
|                       |                       | =SI(filtrodeceleraciones=FALSO;0;distancia)                     | Indica la distancia recorrida con deceleraciones bruscas.                            |
|                       |                       | =SI(distanciaacelbrusca=0;"SIN CONSUMO POR BRUSQUEDAD";consumo) | Indica el consumo generado por aceleraciones bruscas.                                |

**Anexo 2.**  
*Continuación.*

=SI(distancia de  
celbrusca=0;"SIN CONSUMO  
POR BRUSQUEDAD";  
consumo)

Indica el consumo generado por deceleraciones bruscas.

=CONTAR.SI(accel bruscas;  
VERDADERO)

Cuenta el número de aceleraciones bruscas

Cuenta el número de deceleraciones bruscas

=CONTAR.SI(de cel bruscas;  
VERDADERO)

=SI(accel<0,7;"CRUCERO";"N  
O CRUCERO")

Filtra aceleraciones >0.7m/s<sup>2</sup> como no crucero

Velocidad uniforme o  
crucero

=SI(decel<-  
0.7;"CRUCERO;"NO  
CRUCERO")

Filtra deceleraciones <-0.7 m/s<sup>2</sup> como no crucero

a<-0.7m/s<sup>2</sup>

a>0.7m/s<sup>2</sup>

=SI(filtro velcrucero="NO  
CRUCERO";SI(acceleraciones=  
1 "existe  
aceleración";distancia);0)

Indica la distancia recorrida cuando no se ha mantenido una velocidad uniforme y si existe aceleración (aumento de velocidad).

=SI(filtro velcrucero="NO  
CRUCERO";SI(deceleraciones  
=1 "existe  
deceleración";distancia);0)

Indica la distancia recorrida cuando no se ha mantenido una velocidad uniforme y si existe deceleración (reducción de velocidad o frenada).

**Anexo 2.**  
*Continuación*

|                                |                            |   |  |
|--------------------------------|----------------------------|---|--|
|                                |                            | =SI(distanciaCRUCERO=0;"NO HAY CONSUMO POR VELOCIDAD NO CRUCERO";consumo) | Indica el consumo instantáneo de combustible si se ha establecido que la distancia recorrida se ha dado en un instante de velocidad no uniforme                                |
| Aprovecha miento de la inercia | 5 tramos pre determinado s | =PROMEDIO(tramoInercia)<br><br>=PROMEDIOTRAMO*(TIEMPO/60)                 | Obtiene el promedio del caudal para el tramo seleccionado.<br><br>Calcula el volumen de combustible consumido por tramo en función del caudal promedio y del tiempo del tramo. |
|                                |                            | =SI(rpm>2600;tiempo;0)  | Indica el tiempo si las rpm superaron las 2600 rpm.  |
| Régimen de RPM                 | RPM>2600<br><br>RPM<1600   | =SI(rpm<1600;tiempo;0)<br><br>=SI(rpm<850;"RALENTÍ";0)                    | Indica el tiempo si las rpm estuvieron bajo las 1600 rpm.<br><br>Filtra valores menores a 850 rpm para determinar el ralentí.  |
|                                |                            | =SI(filtro="RALENTÍ";tiempo;0)  | Indica el tiempo que se ha permanecido con valores inferiores a 850 rpm  |

**Anexo 3.**  
*Manual de Conducción Eficiente*

“EVALUACIÓN DE UN MODELO DE CONDUCCIÓN EFICIENTE”

# MANUAL DE CONDUCCIÓN EFICIENTE



**TÍTULO:**

Manual de Conducción Eficiente

**AUTORES:**

Muñoz, Jorge. Estudiante de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad del Azuay, Cuenca-Ecuador.

Rivas, Fernando. Estudiante de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad del Azuay, Cuenca-Ecuador.

**SOPORTE TÉCNICO:**

ERGON. Centro de Investigación de Ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay, Cuenca-Ecuador.

**AGRADECIMIENTOS:**

Ing. Gustavo Álvarez. Director del proyecto de titulación "Evaluación de un modelo de conducción eficiente".

Ing. Andrés Baquero. Investigador de ERGON.

ERGON.

Sr. Juan Pablo Cabrera. Gerente General de la compañía Élite Tours del Austro. Cía. Ltda.

Sr. Abraham Paredes. Conductor de la compañía Élite Tours del Austro. Cía. Ltda.

Sr. Danilo Ayora. Conductor de la compañía Élite Tours del Austro. Cía. Ltda.

Cuenca, julio del 2017.



### PRESENTACIÓN

El transporte abarca un elevado porcentaje de la demanda energética del Ecuador. El Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (2015) a través del Balance Energético Nacional da a conocer que esta área consume un 42% de la energía en el país y proviene de fuentes como el diésel, gasolinas, gas licuado de petróleo (GLP) y la electricidad. Además, menciona que el 45% de ese sector utiliza diésel como fuente energética; convirtiéndose en el combustible más requerido del país y cuya mayor parte de su oferta son importaciones, destacándose el transporte terrestre como el de mayor demanda de este combustible. Así, prima el transporte de carga, seguido por el transporte de pasajero colectivo: furgonetas de pasajeros y buses.

Es así que, el transporte terrestre amerita un especial interés y atención (INER, 2012), más aún si se considera que esta área ayuda a “diversificar y especializar la economía”, con una expansión considerable que vincula una serie de inconvenientes que deben ser abordados desde un contexto de desarrollo sostenible (Hubenthal, 2010).

Si se nota que al año 2015, los vehículos entre uno a once años de antigüedad: modelos 2005 a 2016, representan el 72% del total de vehículos matriculados (INEC, 2015); es posible

decir que el parque automotor en el país es relativamente moderno, con unidades vehiculares que cuentan con una tecnología que permite ejercer un mayor control de emisiones contaminantes y rendimiento.

Por ello, una de las maneras de ejercer una influencia efectiva y sencilla es a través de la manera de conducir un vehículo, la cual depende notablemente del factor humano; existiendo una serie de estudios, manuales y otras referencias que analizan el comportamiento del conductor y su influencia en el consumo energético (combustible), determinándose ciertas falencias que a través de una instrucción sencilla pueden ser corregidas. Dicha instrucción se rige por una serie de reglas eficaces que aprovechan las tecnologías de los motores de los coches actuales y factores humanos de conducción y se denomina conducción eficiente (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía, 2005).

Por ello, se ha tratado de evaluar ciertos parámetros que intervienen en la “conducción eficiente” en una ruta específica (Cuenca-Loja), con miras a optimizar el consumo de combustible en una flota de transporte; sirviendo como centro de estudio uno de los conductores de la compañía Élite Tours del Austro Cía. Ltda., empresa que presta sus servicios dentro de esa ruta y que de manera muy notable ha puesto a disposición algunas de sus unidades para el estudio.



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|                              |    |
|------------------------------|----|
| —● INTRODUCCIÓN.....         | 5  |
| —● FUNDAMENTOS TEÓRICOS..... | 6  |
| —● CONDUCCIÓN.....           | 12 |
| —● RESUMEN.....              | 21 |
| —● ALGUNOS CASOS.....        | 23 |
| —● REFERENCIAS.....          | 24 |



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la eficiencia energética y la optimización de recursos son un factor primordial a considerar en el sector automotriz, especialmente en las flotas de transporte de carga y pasajeros; más aún cuando los costos operativos variables significan una importante inversión económica dentro de los gastos de las compañías, destacando el combustible como el rubro de mayor influencia (Izurietta & et al, 2013).

Consecuentemente, es pertinente analizar alternativas para la optimización del consumo de combustible en un sector de alta demanda energética, a través de métodos sencillos y eficaces que no requieren de mayor equipamiento e inversión sino que influyen en el aspecto humano, permitiendo el ahorro de recursos energéticos y económicos; beneficiando también a la seguridad vial, el confort de los usuarios y la reducción de emisiones contaminantes (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía, 2002)

Por ende, surgen nuevas proyecciones para la eficiencia energética desde los diversos entes que intervienen en la movilidad: fabricantes, organismos de control, empresas de transporte, conductores,

entre otros; algunos con miras de optimizar el consumo de combustible o reducir emisiones contaminantes, otros con la intención de disminuir costos operativos durante sus desplazamientos. Por ello, las propuestas son cada vez más diversas y se encuentran en difusión por todo el mundo, no sólo enfocándose al desarrollo tecnológico de los automotores sino también al comportamiento de los conductores, para, “conforme los principios básicos de la mecánica que relacionan la fuerza, el torque y la potencia, lograr la máxima eficiencia energética en el motor” aprovechando la tecnología automotriz actual (Rafael y Hernández, 2012).



## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### CONDUCCIÓN EFICIENTE

Es un nuevo método para conducir los vehículos, su propósito fundamental es reducir el consumo de combustible y la contaminación ambiental; además proveer un mayor confort en la conducción y una mayor seguridad vial. Abarca una serie de reglas sencillas y eficaces que se benefician de las ventajas que ofrece la tecnología automotriz actual y está basada en la actitud del conductor y su estilo de conducción (DGT, 2014).

### BENEFICIOS

La Dirección General de Tráfico de España (2014) señala algunas ventajas de esta técnica:

#### Para el conductor:

- Aumento del confort de conducción y disminución de la tensión en el conductor.
- Disminución del riesgo y gravedad de los siniestros.

#### Para el parque automotor:

- Ahorro monetario de combustible: hasta ahorros medios de carburante en un orden del 15%
- Reducción de costos de mantenimiento (frenos, embrague, caja de cambios, neumáticos y motor).

#### Mejora de la velocidad media.

- Al existir aceleraciones de una forma más efectiva, se evitan mayores detenciones y

existe un mejor aprovechamiento de las inercias que presenta el vehículo en su circulación.

#### Para el entorno:

- Reducción de emisiones contaminantes.
- Ahorro de energía.

#### Aumento de la seguridad.

- Al mantenerse una distancia de seguridad, existe un mayor tiempo de reacción.
- Se mantiene una velocidad media constante.
- Se produce anticipación y previsión, manteniéndose también un adecuado campo visual.



Beneficios de la conducción eficiente

Fuente: IDAE. 2005. (Documento digital)



Hasta un 15 % de ahorro en combustible.

Menos emisiones de CO2 (1 Litro de diésel consumido = emisión de 2.6 Kg de CO2 .



## MEDICIÓN DEL CONSUMO DE CARBURANTE

El combustible es inyectado en los cilindros del motor del vehículo, implicando un consumo que puede medirse en litros o en gramos durante un tiempo específico, derivándose en **gramos / hora ó litros / hora**.

A pesar de ello, los vehículos para uso en carretera, cuyo objetivo es transportar carga o personas en un número determinado de kilómetros; utilizan las unidades litros por cada 100 kilómetros (**l/100km**) o Kilómetros por litro (**Km/L**).

Así, el consumo de combustible en un vehículo depende de la potencia, cuya unidad es caballos vapor (CV) o en kilovatios (kW). Ésta potencia es entregada instantáneamente por el motor, denominándose en estos casos el consumo como “factor de consumo” o “consumo específico”: el gasto de combustible empleado en producir una unidad determinada de energía, expresado en litros por cada caballo de potencia y cada hora de funcionamiento (L/CVh) o en gramos por cada Kilovatio y hora de funcionamiento (g/kWh) (IDAE, 2005).

La potencia exigida al motor depende de:

- El peso del vehículo y sus características técnicas.
- La aceleración que se genera.

- La pendiente de la carretera.
- La velocidad de circulación.
- Las condiciones climatológicas.

## PÉRDIDAS DE ENERGÍA



Del ingreso de combustible: 100%



Existen pérdidas

45 %  
Origen térmico

15 %  
Origen mecánico

10%  
Transmisión  
Accesorios  
adicionales

## PÉRDIDAS DE ENERGÍA

El IDAE (2005), da a conocer que básicamente existen pérdidas de energía de origen térmico y mecánico.

### Pérdidas de energía de origen térmico:

**Sistema de refrigeración:** el fluido refrigerante (agua + aditivos) se encarga de mantener las piezas internas del motor a una temperatura adecuada para su funcionamiento. Aproximadamente el 15% de la energía extraída del combustible se



pierde en forma de calor disipado a través del sistema de refrigeración.

**Gases de escape:** los gases que salen por el escape lo hacen a temperaturas elevadas (400 – 500 °C), llevándose consigo casi un 30% de la energía del carburante.

#### **Pérdidas de energía de origen mecánico:**

Originadas por el rozamiento interno de las diversas piezas del motor y mecanismos auxiliares como las bombas de inyección de aceite, de agua y el alternador. En total, rondan el 25 % de la energía del combustible.

#### **PAR**

Pueden distinguirse dos tipos de par:

**-Par Motor:** Desarrollado por el motor en cada instante y medido en el final del cigüeñal, volante de inercia o primario del embrague.

**-Par en rueda:** Es el par que aplicado en la rueda que proporciona la fuerza de tracción encargada de propulsar al vehículo. Difiere del par motor debido a la incidencia de la caja de cambios, la que lo transforma conforme las condiciones de marcha.

El fabricante habitualmente proporciona el par motor máximo: la máxima fuerza de giro que puede proporcionar el motor. Esta condición puede darse en:

– Plena carga: acelerador pisado al 100%.

– Régimen de revoluciones de motor intermedio: optimización de diversos factores, entre ellos el rendimiento del turbo y la combustión (IDAE, 2005).

#### **POTENCIA**

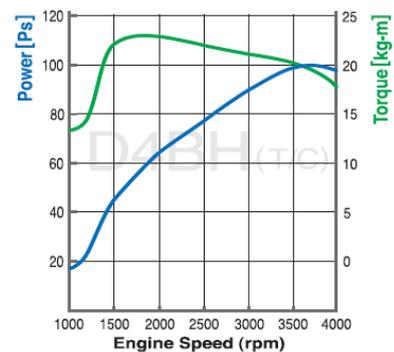
Es la cantidad de trabajo que puede desarrollar un motor en un tiempo determinado.

En un motor que funciona a potencia máxima (régimen de motor elevado y acelerador a fondo), el consumo es alto. (IDAE, 2005).

**“El diagrama torque- potencia depende del vehículo a emplear”**

**D4BH (TCI)**

**100ps/3,800 rpm | 23kg-m/2,000 rpm**



**Diagrama Torque-Potencia Hyundai H1**

Fuente: Hyundai. *The family of Hyundai Engine.* (Documento digital)

#### **FUERZAS Opositoras AL MOVIMIENTO**

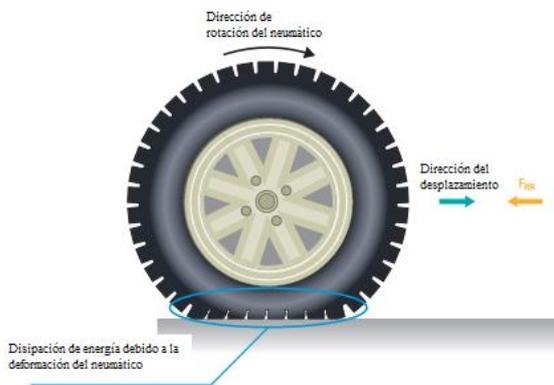
Las ruedas motrices de un vehículo ejercen una fuerza de empuje sobre el eje y en contra del suelo. Esa fuerza es transmitida por el rozamiento neumático-asfalto. Por



consiguiente, se la denomina **fuerza de tracción en rueda** y se trata de la resultante de la sumatoria de fuerzas que contrarrestan el avance y aceleración del vehículo, conocidas como “fuerzas de resistencia al avance”. Son cuatro:

**Fuerza de resistencia al avance por rodadura:**

Un neumático cargado al rodar por una superficie dura, se deforma; originándose una fuerza opositora llamada **resistencia a la rodadura**. En vehículos cargados y circulando a bajas velocidades, ésta es la resistencia que más energía requiere para su vencimiento, llegando a suponer hasta un 40% de la fuerza total resistente (IDAE, 2005).



**Contacto neumático-calzada**

Fuente: Michelin. *The tire. Rolling resistance and fuel savings.* [http://www.dimnp.unipi.it/guiggiani-m/Michelin\\_Tire\\_Rolling\\_Resistance.pdf](http://www.dimnp.unipi.it/guiggiani-m/Michelin_Tire_Rolling_Resistance.pdf)

**i** Esta fuerza es proporcional a la masa del vehículo, depende del tipo y número de neumáticos. Aumenta considerablemente si el neumático está desinflado.

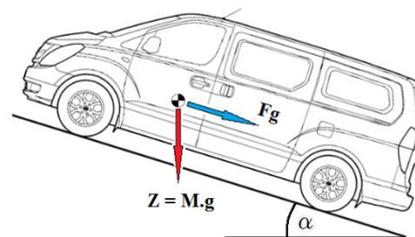
**Fuerza de resistencia al avance por pendiente:**

La gravedad actúa al momento de subir o bajar una pendiente, generando una fuerza opositora que depende de la masa total del vehículo y de la inclinación de la pendiente (IDAE, 2005).

**Fuerza de resistencia al avance por aerodinámica:**

Cuando un vehículo avanza, el aire supone una oposición al entrar en contacto con la superficie frontal del vehículo.

Cuanto mayor es la velocidad, mayor es la potencia necesaria para vencer la **resistencia aerodinámica**, que depende de la sección frontal del vehículo, de su geometría y de la densidad del aire (IDAE, 2005).



**Vehículo en un plano inclinado.**

Fuente: Autores



**Ilustración del área frontal.**

Fuente: Autores



### Fuerza de resistencia por aceleración:

Cuando un vehículo acelera, se necesita vencer una fuerza proporcional a la masa del vehículo por la aceleración a la que se le somete. Es así que, en un proceso de aceleración, cuanto mayor sea la aceleración pretendida o cuanto mayor sea la masa del vehículo, mayor tendrá que ser la fuerza de tracción en rueda (IDAE, 2005).

## LA TRANSMISIÓN

El par y la potencia a la salida del embrague, provenientes del motor; no son directamente utilizables en la rueda, ya que el par suministrado es demasiado bajo y la velocidad de giro demasiado alta.

Es así que, los vehículos cuentan con una serie de elementos que constituyen el **sistema de transmisión**, permitiendo propulsar el vehículo conforme las condiciones de circulación.

El sistema de transmisión está compuesto por: el embrague, la caja de cambios, el árbol de transmisión y el puente o grupo diferencial. El IDAE (2005), define cada componente así:

**Embrague:** Conjunto que permite desacoplar el giro del motor y el giro de las ruedas, separando el eje que proviene del motor con el eje que entra en la caja de cambios. De este modo, es posible mantener el giro del motor con el vehículo parado y realizar cambios de velocidad de una manera suave y progresiva.

### Caja de cambios:

Mecanismo que permite seleccionar la relación entre el régimen de giro del motor y el régimen de salida hacia las ruedas.

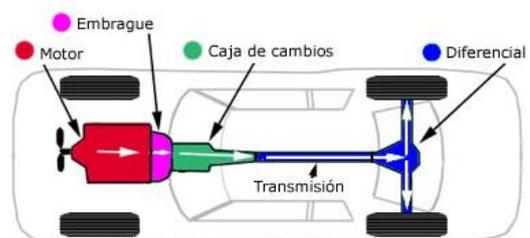
De este modo, el conductor podrá elegir el par (fuerza en el eje) y la velocidad de giro a transmitir a las ruedas. Cada una de las marchas de la caja de cambios proporcionará diferente par y velocidad de giro en las ruedas.

### Árbol de transmisión:

Eje que lleva la potencia saliente de la caja de cambios hacia el eje.

### Puente o grupo diferencial:

Mecanismo que hace girar uno o más ejes conectados a las ruedas gracias a la potencia de entrada. Además, produce reducción de régimen de giro entre el árbol de transmisión y las ruedas para permitir mayor régimen de giro a la salida de la caja de cambios y así reducir el tamaño de esta. Permite tomar con seguridad las curvas al otorgar una velocidad de giro independiente para cada rueda.



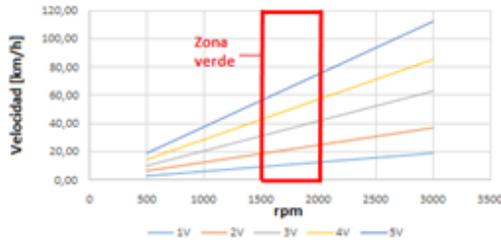
### Esquema de un sistema de transmisión.

Fuente: SISTEMA DE transmisión en vehículos AUTOMÓVILES (PARTE IV). [En línea] [http://jeroitim.blogspot.com/2013/06/sistema-de-transmision-en-vehiculos.html-Frenado\\_Ud01.pdf](http://jeroitim.blogspot.com/2013/06/sistema-de-transmision-en-vehiculos.html-Frenado_Ud01.pdf)



Conforme la relación de transmisión para cada velocidad, es posible obtener el diagrama de velocidades del vehículo; el cual sirve de referencia para realizar la progresión de marchas según las zonas de menor consumo.

Diagrama de Velocidades Hyundai H1



**“El diagrama de velocidades depende del vehículo a emplear”**

**PARÁMETROS EXTERNOS AL VEHÍCULO**

Ciertas variables externas al vehículo e independientes del estilo de conducción, afectan al consumo de combustible:

**-El tipo de carretera o la orografía del terreno.**

**-Los factores meteorológicos:**

Temperaturas atmosféricas bajas aumentan el consumo, dada su influencia en la resistencia aerodinámica (aumento de la densidad del aire. También la resistencia a la rodadura y un cierto incremento de la fricción en los componentes de la transmisión se ven afectados.

**Es importante considerar las zonas más frías de la ruta a recorrer**

Los siguientes datos, son exclusivos para la ruta Cuenca-Loja: Según Vera & Vélez (2016), las temperaturas más bajas en la ruta Cuenca-Loja son:

| Lugar    | Temperatura [°C] |
|----------|------------------|
| Tocadel  | 8,85             |
| Pucalpa  | 10,15            |
| Purín    | 13,35            |
| Cuchudel | 7,15             |
| Zhila    | 11,85            |

Un descenso de temperatura de 10°C aumenta el consumo alrededor de un 4 %.

Las zonas de menor consumo específico se encuentran en la zona verde del tacómetro. El menor consumo se sitúa en regímenes del motor inferiores a la zona del par máximo.



Las presentes técnicas de conducción son aplicables para cualesquier vehículo gasolina ó diesel

## CONDUCCIÓN

### ACTITUD DEL CONDUCTOR

El conductor debe estar consciente de la responsabilidad que su actividad conlleva, debiendo tomar decisiones durante la conducción del vehículo como:

-Evitar situaciones peligrosas **y anticiparse** con tiempo a las maniobras a ejecutar. Con ello se disminuirán las maniobras comprometidas.

-Precautelar una actitud y mentalidad lúcidas para elegir maniobras adecuadas y poder solucionar el percance durante la conducción.

-Evitar comportamientos torpes y arriesgados que puedan poner en peligro a los pasajeros y el vehículo.

El conductor debe mirar hacia adelante hasta donde pueda, analizando el tráfico de la zona circundante y evaluando la situación para así evitar frenazos y aceleraciones innecesarias.

-Varias situaciones pueden verse desde lejos, mucho antes de ser afrontadas.

**i** Es recomendable tener controlado un campo de visión de al menos 3 vehículos por delante.

### PREVIO AL VIAJE

Es importante realizar una inspección visual general del vehículo y comprobar el estado de ciertos componentes como:

**-Revisión de niveles de los fluidos:** aceite del motor, refrigerante, fluido de dirección, líquido de frenos.

**-Instrumentación de ayuda a la conducción:** limpieza y colocación de los retrovisores, inspección del sistema de alumbrado, inspección de luces de advertencia.

**-Neumáticos:** control de la presión, desgaste, incrustaciones, estado del neumático de emergencia. La presión de los neumáticos debe ser controlada una vez al mes; una presión de 0.3 bares menor a la recomendada por el fabricante representa un **3% de consumo de combustible**. Si la presión del neumático es demasiado baja afecta al control del vehículo y a la distancia de frenado. El control de la presión del neumático debe realizarse cuando el neumático está en frío.



### Esquema de la presión en neumáticos

Fuente: Control y mantenimiento de sus neumáticos. [En línea]<http://www.dunloprosario.com/#!/-control-de-neumaticos/>



## PESO ADICIONAL

El peso adicional en un vehículo genera mayor consumo de combustible para el vehículo. Una carga extra de 100 kg en un vehículo de gama media de 1.500 kg supone un consumo extra del orden del 7% (IDAE, 2002). Es por ello que, el peso adicional en el vehículo se debe mantener los valores mínimos.



### Carga adicional superior en un vehículo

Fuente: *Manual de conducción eficiente para vehículos livianos. (2005) IDAE. (Documento digital).*

## RESISTENCIA DEL AIRE

La aerodinámica de un vehículo es un factor importante en el consumo de combustible. Los accesorios extras alteran la aerodinámica del vehículo provocando un mayor consumo del combustible.



### Portabicicletas

Fuente: *Soporte de bicicleta para auto. [En línea]*<https://www.bttbike.com/mtb/459184-soporte-permitido-ley-diy-bicicleta-auto>

## ACCESORIOS QUE CONSUMEN COMBUSTIBLE

Los accesorios instalados en el vehículo incrementan el consumo de combustible, por ejemplo el sistema de aire acondicionado.

La utilización del aire acondicionado puede ser a una temperatura referencial de 24°C, escala recomendable también en parámetros médicos.

## VENTANILLAS

El coeficiente aerodinámico del vehículo se ve afectado con las ventanillas abiertas a altas velocidades y por lo tanto, existe un mayor consumo de combustible.

## TIEMPO EN RALENTÍ CON EL MOTOR EN FRIO

Mantener el motor en ralentí por tiempo excesivo mientras está parado el vehículo (fuera de ruta), es una práctica muy común en el medio, a pesar que no aporta beneficios a la vida útil del motor. Luego de encenderse, el motor no deberá mantenerse por mucho tiempo en ralentí debido a que no se encuentra en su temperatura óptima de funcionamiento, situaciones que generan una mala combustión y un aumento en el consumo de combustible. Los motores modernos, destacan por una mayor efectividad; requiriendo de menor tiempo en ralentí durante el encendido inicial, generando un



menor consumo de combustible, reducción de emisiones en los arranques en frío y menor costo de mantenimiento.



#### Después de encender el motor en frío.

El tiempo necesario en ralentí después de encender el motor en frío es de 0.5 – 1 minutos, intervalo necesario para que el motor lubrique sus elementos internos al igual que el turbo cargador. En climas fríos, se recomienda hasta un máximo de 5 minutos de espera.

#### Acelerones.

Los acelerones bruscos (4000 rpm) con el motor en frío provocan una mayor fricción y desgaste de los mecanismos internos (turbo y motor), debido entre otras cosas a la lubricación ineficiente en ese instante. Es recomendable no sobrepasar las 2000 rpm y pisar el acelerador de forma lenta y progresiva.

Para obtener la temperatura óptima de los fluidos como el refrigerante y los lubricantes, se puede rodar el vehículo unos quince minutos a bajas velocidades y rpm.

*En la ruta Cuenca-Loja, el tiempo en ralentí promedio es de 31.88 minutos,*

*considerando los parámetros expuestos en la siguiente tabla:*

| FASE              | TIEMPO PROMEDIO EN RALENTÍ<br>[min] | TIEMPO MÁXIMO EN RALENTÍ<br>[min] |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| ANTES DEL VIAJE   | 10                                  | 10                                |
| DURANTE EL VIAJE  | 11.88                               | 5.08                              |
| DESPUÉS DEL VIAJE | 10                                  | 10                                |

#### ENCENDER EL MOTOR SIN PISAR EL ACELERADOR

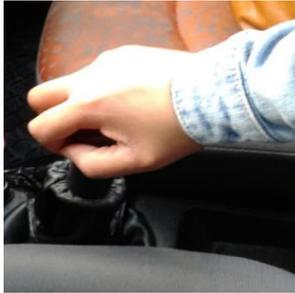
Durante el encendido del motor del vehículo no es recomendable pisar el acelerador (Figura). Los motores modernos cuentan con sistemas electrónicos que controlan el encendido y al pisar el pedal del acelerador, se alteran y desajustan los mandos electrónicos provocando un mayor consumo de combustible durante el encendido.



Esta recomendación es aplicable para cualquier tipo de motor: gasolina, diésel, GLP. En los motores diésel, sus componentes mecánicos son más pesados



y su relación de compresión más alta, razón por la cual, si el acelerador es pisado, el turbo trabajará con mayor carga y sin una lubricación homogénea. Por ello, es aconsejable encender el motor pisando el pedal de embrague.



### INICIO DEL MOVIMIENTO

En el inicio de la marcha, la primera relación de marchas (1ª), debe utilizarse sólo para poner en movimiento el vehículo. Referencialmente, puede cambiarse a la segunda relación de marchas (2ª) a los 2 segundos o análogamente a los 6 metros recorridos.

### CAMBIO DE MARCHA LO ANTES POSIBLE

Para esta técnica se debe observar el tacómetro de revoluciones del motor y conforme ese régimen, se cambiará de marcha. Para los vehículos a **gasolina** las marchas se cambiarán entre las **2000 y 2500 rpm** y en los vehículos **diésel** los cambios deben hacerse entre las **1500 y 2000 rpm**.



Una referencia para el cambio de marchas puede ser la circulación, pudiéndose considerar así:

- La 2ª marcha a los dos segundos o a los 6 metros aproximadamente.
- La 3ª marcha a partir de los 30Km/h.
- La 4ª marcha a partir de los 40Km/h.
- La 5ª marcha a partir de los 50Km/h.

El cambio de marchas debe hacerse de una manera inmediata, complementado con una aceleración ágil y progresiva. Obviamente, el cambio de marchas variará conforme el tipo de motor, el tráfico, el estado de la vía y otras condiciones de circulación.

### CIRCULACIÓN A VELOCIDAD UNIFORME

La aceleración de un motor requiere de mayor combustible en el sistema de inyección para satisfacer la combustión interna. Por lo tanto, al momento de frenar, parte de la energía generada por el combustible se perderá, provocando además incrementos de consumo en las aceleraciones consiguientes para compensar la velocidad de circulación durante el frenado. En consecuencia, deben evitarse al máximo los picos y valles de velocidad (cambios bruscos al acelerar o frenar), para así nivelar el consumo energético durante el recorrido, evitándose un gasto innecesario de energía por aceleraciones y frenadas repetidas.



Una velocidad uniforme también influye en menores emisiones, aumento de la seguridad vial, flujo de tráfico y confort de los pasajeros.

### MARCHAS ALTAS A BAJAS REVOLUCIONES DEL MOTOR Y CON EL PEDAL DEL ACCELERADOR PISADO A 3/4 PARTES DE SU RECORRIDO

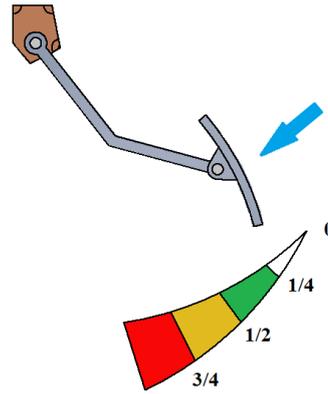
Cuando se circula con velocidad uniforme, la potencia requerida es menor. Así, un cambio de marcha óptimo y una adecuada posición del pedal del acelerador permiten obtener la potencia necesaria.

En la conducción eficiente, es pertinente combinar la circulación en marchas largas (4<sup>ta</sup>, 5<sup>ta</sup>), a bajas revoluciones y con el pedal del acelerador pisado en gran medida (3/4 de su recorrido).



Para los cambios de marcha se debe considerar las condiciones de carga del vehículo, de circulación, de la pendiente de la vía y del motor de la unidad.

El número de revoluciones debe encontrarse sobre las mínimas recomendadas.



### LA ANTICIPACIÓN Y PREVISIÓN

La anticipación y la distancia adecuada de circulación proporcionan mayor seguridad al conductor, haciéndole posible identificar el estado del tráfico y evitar ciertos imprevistos a tiempo. Se debe evitar adelantar vehículos para acortar distancias antes de llegar a un semáforo, a una intersección de vías; los adelantamientos innecesarios afectan la conducción y generan agresividad en los conductores.



La posición de plena carga del acelerador puede usarse en condiciones especiales de mayor exigencia: incorporaciones, pendientes pronunciadas, etc.

### FRENADAS Y DECELERACIONES

En las deceleraciones es recomendable mantener el motor girando sin pisar el acelerador y con la relación de marchas en la que se circula engranada.



Además, por encima de un número mínimo de revoluciones cercano al de ralentí, el consumo de carburante del motor es nulo, es decir, no se consume carburante, generándose también un efecto de retención del motor de mucha utilidad al desacelerar.

Del mismo modo, en las deceleraciones o ante imprevistos en la vía, es recomendable utilizar el rodaje por inercia, con la marcha engranada.

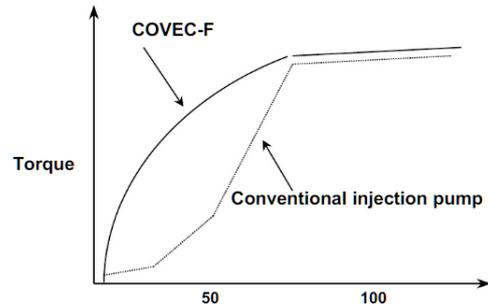


Se debe evitar rodar en las deceleraciones en ralentí (neutro), ya que existe consumo de combustible y un aumento de la peligrosidad.

Cuando se realicen frenadas suaves, se puede evitar pisar el pedal del embrague; ya que de este modo se produce un consumo innecesario de combustible, requerido para mantener el régimen de ralentí del motor.

### ACELERACIÓN DEL VEHÍCULO

Durante la aceleración, es recomendable evitar "arrancones" o brusquedad, con precaución de patinar el embrague y con la realización de cambios progresivos de marchas llegando al cambio más alto lo más rápido posible y empleando todas las marchas. Del mismo modo, tener precaución y no usar el máximo régimen del motor para el cambio de marchas sino tratar de hacerlo al régimen recomendado.



### Rendimiento de par vs. posición del acelerador motor Hyundai H1.

Fuente: KIA. D4BH (2.5 TCI) Diésel Engine (COVEC-F) [En línea] <https://es.scribd.com/doc/138073236/D4BH-Engine-1>

### USO DEL RODAJE POR INERCIA CON LA MARCHA ENGRANADA

Al llegar a un cruce o una aproximación en la que sea requerida la detención, se puede aprovechar la inercia que lleva el vehículo (dejar de acelerar y no frenar) con la marcha engranada, las rpm en un régimen bajo; provocándose un consumo de combustible nulo. El uso del freno puede ser lento y pausado. Algunas de las ventajas del aprovechamiento de la inercia son: reducir el desgaste de los frenos, menores gastos de mantenimiento, reducción de emisiones, aumento de la seguridad vial y comodidad a los pasajeros.





Cuando existe una aproximación a una pendiente negativa (bajada), la aceleración debe disminuirse suavemente, adelantar la marcha (poner una marcha mayor a la que se está circulando) y dejar rodar al vehículo por cuenta propia al máximo posible (sin pisar el acelerador) hasta obtener la velocidad deseada.

Dentro del análisis de la ruta Cuenca-Loja, se han definido cinco tramos considerables para el aprovechamiento de la inercia; los que se deben a factores como longitud del tramo y grado de pendiente. Cuatro de los tramos inician con una altitud promedio cercana o mayor a los 3000 m.s.n.m y el descenso más importante se da hasta una altitud promedio de 1889 m.s.n.m. El siguiente perfil de elevación muestra los tramos seleccionados.



### Perfil de elevación Cuenca-Loja

Los tramos han sido numerados como:

- 1: Entrada a Jima.
- 2: Susudel.
- 3: Urdaneta.
- 4: San Lucas.
- 5: Llegada a Loja.

La siguiente tabla muestra las principales características de cada tramo:

| Tramo | Distancia [Km] | Altura máx. [m] | Altura mín. [m] | Pendiente (-) prom. [°] |
|-------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|
| 1     | 10.5           | 3460            | 3203            | -1.78                   |
| 2     | 30.7           | 3323            | 1889            | -3.28                   |
| 3     | 17.4           | 3012            | 2223            | -4.51                   |
| 4     | 14.6           | 2926            | 2383            | -3.29                   |
| 5     | 21.8           | 2798            | 2157            | -3.12                   |

Si el régimen lo permite, se progresará a marchas más largas para dejar rodar al vehículo por su propia inercia.

En el descenso, no tiene mayor influencia para el consumo trabajar fuera de la zona de rpm recomendadas; ya que el acelerador no es pisado y no se inyecta más combustible al motor.

### DETENCIONES

Las detenciones deben hacerse con la marcha más larga posible, sin realizar cambios de marchas menores (reducción de marchas) y con aprovechamiento del rodaje por inercia.



## SUBIDAS

Si al iniciar la subida no se puede mantener la velocidad y el régimen de revoluciones desciende notablemente, una marcha puede ser reducida hasta llegar a un régimen de velocidad constante y cumplir con el régimen de revoluciones recomendado.

**i** En subidas conviene retrasar lo más que se pueda la reducción de marchas, incrementándose para ello la presión en el pedal del acelerador pero sin pisarlo al máximo.

Al tomar una pendiente positiva (subida), la aceleración será aumentada y la marcha retrasada (una marcha menor a la de circulación en caso de no poderse tomar la pendiente con la misma marcha). Las rpm aumentarán conforme la inclinación de la pendiente.

## CONDUCCIÓN EN CURVAS

Al tomar una curva es necesario considerar su radio, anchura del carril, superficie, peraltes y otras características del entorno. El conductor finalmente decidirá la velocidad a la que entrará en la misma, debiendo evitar aceleraciones o desaceleraciones repentinas por falta de previsión y anticipación.

Se evitará la práctica común de frenar inmediatamente antes de la toma de una curva, siempre que la velocidad lo permita; para a continuación reducir de marchas y

acelerar durante la curva. Este mal hábito desperdicia la inercia, eleva el estrés del conductor y la peligrosidad en la circulación.



**i** En lo posible, una curva se tomará con una velocidad adecuada para su trazado, sin usar el freno y con rodaje en inercia.

Durante su trazado, mantener una velocidad uniforme con el acelerador pisado con estabilidad para, al salir de la curva, realizar una aceleración progresiva.

## FRENO MOTOR

El freno motor consiste en reducir la marcha de circulación. El freno motor utiliza la propia inercia del vehículo, para con una marcha conectada y sin pisar el pedal del acelerador; lograr que las ruedas motrices no reciban movimiento del motor sino que estas lo hagan girar. Por ende, la resistencia generada por el motor actuará como freno reduciendo la velocidad del vehículo.

En **descensos pronunciados**, el freno motor debe emplearse lo más posible, aumentando el régimen de giro en

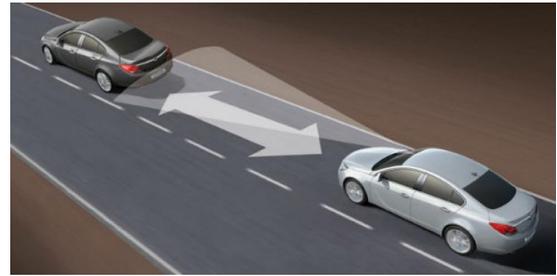


concordancia con las reducciones de marchas oportunas que eviten la aceleración del vehículo. Con un mayor régimen de giro del motor y una menor relación de cambio, se obtendrá un mayor frenado. En estos casos, las revoluciones aumentarán aunque no deben llegar a la zona crítica (altas rpm).

### ADELANTAMIENTOS Y SITUACIONES ESPECIALES

En un adelantamiento se debe minimizar el tiempo invertido en la maniobra, obteniéndose del motor sus máximas prestaciones. Esto es posible a través del buen manejo de la caja de cambios, situándose al motor en la zona de revoluciones que provean la potencia máxima.

Una acción de adelantamiento debe ser bien ejecutada, de un modo tal que al cambiar de carril, la velocidad sea mayor que la del vehículo adelantado. Resulta fundamental guardar una distancia holgada con el vehículo precedente y acelerar antes del cambio de carril aprovechando la distancia guardada.



#### Distancia óptima de seguridad

Fuente: *A LA HORA DE CONDUCIR SE DEBE MANTENER UNA DISTANCIA APROPIADA CON LOS OTROS VEHÍCULOS* [En línea] <http://www.motor.com.co/actualidad/tecnologia/hora-conducir-debe-mantener-distancia-apropiada-otros-vehiculos/21085>

También, la distancia existente con el vehículo precedente permite utilizar ese espacio en caso de desistir de la maniobra de adelantamiento por cualquier motivo.



En adelantamientos o situaciones de peligro se debe prescindir de ciertas técnicas aquí expuestas, ya que la seguridad prevalece sobre la economía.

#### DESPUÉS DEL RECORRIDO

Luego de un proceso de conducción es aconsejable dejar reposar el motor encendido por un período de 2 minutos.



## RESUMEN

El Ministerio del Ambiente del Ecuador resume en **10** el número de claves para una conducción eficiente. Éstas son:



### ARRANQUE Y PUESTA EN

- Arrancar el motor sin pisar el acelerador.
- En los motores de gasolina, iniciar la marcha inmediatamente después del arranque.
- En los motores diésel, esperar unos segundos antes de comenzar la marcha.



### PRIMERA MARCHA

-Usarla sólo para el inicio de la marcha, y cambiar a segunda a los dos segundos o 6 metros, aproximadamente.



### CAMBIOS DE MARCHA Y

Según las revoluciones:

- En los motores de gasolina: entre los 2.000 y 2.500 rpm.
- En los motores a diésel: entre los 1.500 y 2.000 rpm.

Según la velocidad

- Tercera marcha: a partir de unos 30 km/h.

- Cuarta marcha: a partir de unos 40 km/h.
- Quinta marcha: a partir de unos 50 km/h



### UTILIZACIÓN DE MARCHAS

- Circular cuanto sea posible en marchas más largas y a bajas revoluciones.



### VELOCIDAD DE

- Mantener una velocidad uniforme cuanto sea posible; buscar la fluidez en la circulación, evitar todos los frenazos, desaceleraciones, y cambios de marchas innecesarios.



### DESACELERACIÓN

- Levantar el pie del acelerador y dejar rodar el vehículo con la marcha engranada al instante, sin reducir de marcha.
- Frenar de forma suave y progresiva con el pedal de freno.
- Reducir de marcha lo más tarde posible.



### DETENCIONES

- Siempre que la velocidad y el espacio lo permitan, detener el vehículo sin reducir previa marcha.



## PARADAS

En paradas prolongadas o en congestiones, es recomendable apagar el motor.



## ANTICIPACIÓN Y

-Conducir siempre con una adecuada distancia de seguridad y un amplio campo de visión que permita ver 2 o 3 vehículos por delante.

-En el momento que se detecte un obstáculo o una reducción de velocidad de circulación en la vía, levantar el pie del acelerador para anticipar las siguientes maniobras.



## SEGURIDAD

En la mayoría de los casos, estas reglas de conducción eficiente contribuyen al aumento de seguridad vial. Sin embargo, destacan circunstancias que requieren acciones específicas distintas para que la seguridad no se vea afectada.



## ALGUNOS CASOS



-Manual de Conducción Eficiente para vehículos industriales.

-Manual de Conducción Eficiente para vehículos livianos.



-“Ecoconductores” y “no ecoconductores” participaron en un estudio. Reducción del 7% en el gasto de combustible a largo plazo



-Guía de economía de combustible del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América.



- Guía práctica para el ahorro y uso eficiente de energía del Ministerio del Ambiente.



-Fuel Saving Tips” (*Consejos para ahorro de combustible*), del Departamento Inglés del Transporte.



-Concurso de conducción eficiente para jóvenes conductores. El ganador obtuvo 4.000 euros.



-91 conductores de furgonetas de reparto de Hamburger Wasserwerke (HW) recibieron formación en conducción eficiente. Se obtuvo un 5,8% de reducción de consumo de combustible y 40% de reducción de daños (accidentes).



- Manual de conducción técnica de vehículos automotores diésel del Instituto Mexicano de Transportes



## REFERENCIAS

- Dirección General de Tráfico (2014). *Conducción eficiente*. España. (Documento digital).
- FIAT. (n.d) *Los secretos del eco driving*. (Documento digital).
- Hubental. A (2010). *Evaluación del sector transporte en Ecuador con miras a plantear medidas de mitigación al Cambio Climático*. UNDO (Documento digital).
- Hyundai (s.f) *The family of Hyundai Engine*. (Documento digital).
- IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2002). *Manual de Conducción Eficiente para Conductores del Parque Móvil del Estado*. (Documento digital).
- IDAE. Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (2005). *Manual de conducción eficiente para conductores de vehículos industriales*. España. (Documento digital)
- IDAE. Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (2005). *La conducción eficiente*. España. (Documento digital)
- INEC. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2015). *Anuario de estadísticas de transportes 2014*. Ecuador (Documento digital)
- INER. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (2012). *Estudio de optimización de cadenas logísticas de transporte de carga pesada*. Ecuador.
- Izurieta. F, Corral. A, Guayanlema. V (2013) *Identificación de las necesidades de eficiencia energética en el transporte*. INER. (Documento digital).
- Michelin (s.f). *The tire. Rolling resistance and fuel savings*. Recuperado de: [http://www.dimnp.unipi.it/guiggianim/Michelin\\_Tire\\_Rolling\\_Resistance.pdf](http://www.dimnp.unipi.it/guiggianim/Michelin_Tire_Rolling_Resistance.pdf) (marzo del 2017).
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (2015). *Balance energético nacional 2015*. Ecuador. (Documento digital).
- Rafael. M y Hernández. A (2012). *MANUAL DE CONDUCCIÓN TÉCNICA DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES DIÉSEL: SEGUNDA EDICIÓN*. México (Documento digital).
- Vera. A y Vélez. S (2016). *Obtención de los parámetros necesarios para el cálculo de la fuerza en rueda de vehículos eléctricos*. (Documento digital).

### Portales web:

-KIA. *D4BH (2.5 TCI) Diésel Engine (COVEC-F)*. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/138073236/D4BHEngine-1>. (julio del 2017).

- *Sistema de transmisión en vehículos automóviles (parte iv)*. Recuperado de: <http://jeroitim.blogspot.com/2013/06/sistemade-transmision-en-vehiculos.html> Frenado\_Ud01.pdf (julio del 2017).

-*La transmisión en vehículos*. Recuperado de: [http://www.editexebooks.es/AdjuntosLibros/Sist\\_Tranasm-Frenado\\_Ud01.pdf](http://www.editexebooks.es/AdjuntosLibros/Sist_Tranasm-Frenado_Ud01.pdf). (julio del 2017).

- *Soporte de bicicleta para auto*. Recuperado de: <https://www.bttbike.com/mtb/459184-soporte-permitido-ley-diy-bicicleta-auto>. (julio del 2017).

- *Control y mantenimiento de sus neumáticos*. Recuperado de: <http://www.dunloprosario.com/#!/control-de-neumaticos/>(julio del 2017).



Anexo 4.  
Plantillas en Excel

| Fecha      | 15 de agosto del 2017 | Número de viaje |            | 4       |        | Ruta      | Cuenca-Loja | Consumo Línea | Consumo Instantáneo | CAUDAL PROMEDIO | TIEMPO DE VIAJE | RESULTADOS | horas | 3:38:12 | REFERENCIAS |      |
|------------|-----------------------|-----------------|------------|---------|--------|-----------|-------------|---------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------|-------|---------|-------------|------|
| FECHA      | HORA                  | LATITUD         | LONGITUD   | ALTITUD | TITULO | CORREIDOR | CORREIDA    | VELOCIDAD     | CONSUMO INSTANTANEO | CAUDAL PROMEDIO | TIEMPO DE VIAJE | RESULTADOS | horas | 3:38:12 | REFERENCIAS |      |
| 15/08/2017 | 06:33:22              | -2.897403       | -79.022931 | 2595    | 2595   | 2595      | 2595        | 0             | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:33:27              | -2.897403       | -79.022931 | 2595    | 2595   | 2595      | 2595        | 0,04          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:33:38              | -2.897405       | -79.022931 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 0,04          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:33:42              | -2.897405       | -79.022931 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 0,02          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:33:47              | -2.897404       | -79.022933 | 2595,3  | 2595,3 | 2595,3    | 2595,3      | 0             | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:33:50              | -2.897404       | -79.022934 | 2595,1  | 2595,1 | 2595,1    | 2595,1      | 0,04          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:34:00              | -2.897403       | -79.022938 | 2595    | 2595   | 2595      | 2595        | 0,04          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:34:06              | -2.897403       | -79.022938 | 2595    | 2595   | 2595      | 2595        | 0,09          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:34:08              | -2.897402       | -79.022938 | 2595,1  | 2595,1 | 2595,1    | 2595,1      | 0,09          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:34:12              | -2.897402       | -79.022938 | 2595,2  | 2595,2 | 2595,2    | 2595,2      | 0,04          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:34:14              | -2.897404       | -79.022939 | 2595,5  | 2595,5 | 2595,5    | 2595,5      | 1,92          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:34:21              | -2.897403       | -79.022940 | 2595,4  | 2595,4 | 2595,4    | 2595,4      | 4,45          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:34:24              | -2.897403       | -79.022942 | 2595,4  | 2595,4 | 2595,4    | 2595,4      | 4,45          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:34:27              | -2.897402       | -79.022940 | 2595,1  | 2595,1 | 2595,1    | 2595,1      | 4,45          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:34:30              | -2.897402       | -79.022940 | 2595,1  | 2595,1 | 2595,1    | 2595,1      | 4,45          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:34:33              | -2.897403       | -79.022938 | 2595,2  | 2595,2 | 2595,2    | 2595,2      | 4,32          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:34:38              | -2.897403       | -79.022938 | 2595,2  | 2595,2 | 2595,2    | 2595,2      | 21,74         | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:34:41              | -2.897374       | -79.022739 | 2579,8  | 2579,8 | 2579,8    | 2579,8      | 22,48         | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:34:49              | -2.897306       | -79.022639 | 2562,7  | 2562,7 | 2562,7    | 2562,7      | 22,28         | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:34:52              | -2.897239       | -79.022444 | 2562,2  | 2562,2 | 2562,2    | 2562,2      | 15,56         | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:35:01              | -2.897037       | -79.022072 | 2590,1  | 2590,1 | 2590,1    | 2590,1      | 0,24          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:35:04              | -2.897025       | -79.022072 | 2590,3  | 2590,3 | 2590,3    | 2590,3      | 0,31          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:35:06              | -2.897024       | -79.022049 | 2590,8  | 2590,8 | 2590,8    | 2590,8      | 0,17          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:35:08              | -2.897025       | -79.022049 | 2590,4  | 2590,4 | 2590,4    | 2590,4      | 0,45          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:35:10              | -2.897024       | -79.022049 | 2579,9  | 2579,9 | 2579,9    | 2579,9      | 0             | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:35:12              | -2.897024       | -79.022047 | 2579,9  | 2579,9 | 2579,9    | 2579,9      | 1             | 1                   | 1               | 1               | 1          | 1     | 1       | 1           | 1    |
| 15/08/2017 | 06:35:21              | -2.896760       | -79.022047 | 2579,9  | 2579,9 | 2579,9    | 2579,9      | 1,35          | 1,05                | 1,05            | 1,05            | 1,05       | 1,05  | 1,05    | 1,05        | 1,05 |
| 15/08/2017 | 06:35:22              | -2.896759       | -79.022046 | 2579,9  | 2579,9 | 2579,9    | 2579,9      | 25,89         | 2,6                 | 2,6             | 2,6             | 2,6        | 2,6   | 2,6     | 2,6         | 2,6  |
| 15/08/2017 | 06:35:24              | -2.896756       | -79.022046 | 2593,2  | 2593,2 | 2593,2    | 2593,2      | 21,71         | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:35:02              | -2.896951       | -79.022046 | 2594,3  | 2594,3 | 2594,3    | 2594,3      | 21,71         | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:35:04              | -2.896952       | -79.022046 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 0,04          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:35:06              | -2.896953       | -79.022046 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 0,06          | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:35:08              | -2.896953       | -79.022046 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 0             | 0                   | 0               | 0               | 0          | 0     | 0       | 0           | 0    |
| 15/08/2017 | 06:35:10              | -2.896954       | -79.022046 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 0,07          | 0,75                | 0,75            | 0,75            | 0,75       | 0,75  | 0,75    | 0,75        | 0,75 |
| 15/08/2017 | 06:35:12              | -2.896954       | -79.022046 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 0,09          | 0,75                | 0,75            | 0,75            | 0,75       | 0,75  | 0,75    | 0,75        | 0,75 |
| 15/08/2017 | 06:35:14              | -2.897025       | -79.022040 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 2,2           | 0,7                 | 0,7             | 0,7             | 0,7        | 0,7   | 0,7     | 0,7         | 0,7  |
| 15/08/2017 | 06:35:18              | -2.897035       | -79.022040 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 7,2           | 2,05                | 2,05            | 2,05            | 2,05       | 2,05  | 2,05    | 2,05        | 2,05 |
| 15/08/2017 | 06:35:23              | -2.897035       | -79.022040 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 16,45         | 2,05                | 2,05            | 2,05            | 2,05       | 2,05  | 2,05    | 2,05        | 2,05 |
| 15/08/2017 | 06:35:29              | -2.897034       | -79.022040 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 24,96         | 2,05                | 2,05            | 2,05            | 2,05       | 2,05  | 2,05    | 2,05        | 2,05 |
| 15/08/2017 | 06:35:32              | -2.897034       | -79.022040 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 25,83         | 1,05                | 1,05            | 1,05            | 1,05       | 1,05  | 1,05    | 1,05        | 1,05 |
| 15/08/2017 | 06:35:34              | -2.897032       | -79.022040 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 4,58          | 0,1                 | 0,1             | 0,1             | 0,1        | 0,1   | 0,1     | 0,1         | 0,1  |
| 15/08/2017 | 06:35:36              | -2.897032       | -79.022040 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 19,46         | 1,35                | 1,35            | 1,35            | 1,35       | 1,35  | 1,35    | 1,35        | 1,35 |
| 15/08/2017 | 06:35:40              | -2.897032       | -79.022040 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 25,82         | 4,2                 | 4,2             | 4,2             | 4,2        | 4,2   | 4,2     | 4,2         | 4,2  |
| 15/08/2017 | 06:35:43              | -2.896950       | -79.022040 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 25,57         | 5,95                | 5,95            | 5,95            | 5,95       | 5,95  | 5,95    | 5,95        | 5,95 |
| 15/08/2017 | 06:35:51              | -2.896945       | -79.022040 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 35,24         | 10,8                | 10,8            | 10,8            | 10,8       | 10,8  | 10,8    | 10,8        | 10,8 |
| 15/08/2017 | 06:35:56              | -2.896945       | -79.022040 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 32,88         | 10,8                | 10,8            | 10,8            | 10,8       | 10,8  | 10,8    | 10,8        | 10,8 |
| 15/08/2017 | 06:35:59              | -2.896944       | -79.022040 | 2594,6  | 2594,6 | 2594,6    | 2594,6      | 36,94         | 8,38                | 8,38            | 8,38            | 8,38       | 8,38  | 8,38    | 8,38        | 8,38 |

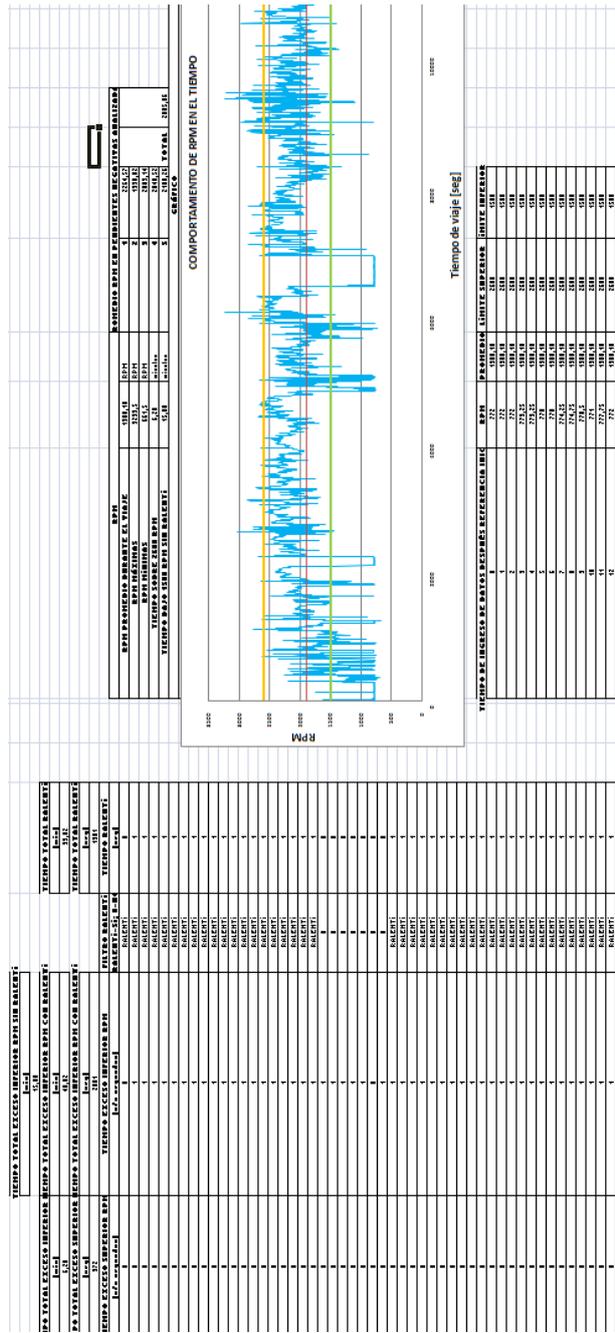
Anexo 1a. Plantilla Obtención Consumo de Combustible

|                                    |   |          |          |       |                     |
|------------------------------------|---|----------|----------|-------|---------------------|
|                                    | <b>Tiempo de viaje</b>                                      | 3:38:12  | h        | 3,64  | horas               |
| <b>RALENTÍ</b>                     | Tiempo en ralentí   | 1354     | segundos | 22,57 | minutar             |
|                                    | Intervalos en ralentí                                       |          |          | 22    |                     |
|                                    | Tiempo máximo en ralentí                                    | 393      | segundos | 6,55  | minutar             |
|                                    | Tiempo mínimo en ralentí                                    | 1        | segundos | 0,02  | minutar             |
|                                    | Porcentaje de tiempo en ralentí                             | 10,34    |          | 2     |                     |
|                                    | Consumo de combustible en ralentí durante viaje             | 0,71     |          |       | L/h                 |
|                                    | Tiempo con motor encendido antes del viaje                  | 12       | minutar  | 20    | segundos            |
|                                    | Tiempo con motor encendido después del viaje                | 18       | minutar  | 1000  | segundos            |
|                                    | Consumo de combustible en ralentí antes y después del viaje | 0,36     |          |       | L                   |
|                                    | Consumo total de combustible por Ralentí                    | 0,62     |          |       | L                   |
| <b>BRUSQUEDAD</b>                  | Distancia total aceleraciones                               | 9187,03  | metras   | 6     | 91,19 Kilómetros    |
|                                    | Distancia total frenadas                                    | 73226,98 | metras   | 6     | 73,23 Kilómetros    |
|                                    | Distancia total aceleraciones nulas (velocidad constante)   | 22151,49 | metras   | 6     | 22,15 Kilómetros    |
|                                    | Número de aceleraciones bruscas                             |          |          | 72    |                     |
|                                    | Distancia recorrida con aceleraciones bruscas               | 2050,22  | metras   | 6     | 2,05 Kilómetros     |
|                                    | Tiempo de aceleraciones bruscas                             | 153      | segundos | 6     | 2,55 minutar        |
|                                    | Consumo de combustible con aceleraciones bruscas            | 7,78     |          |       | L/h                 |
|                                    | Número de frenadas bruscas                                  |          |          | 132   |                     |
|                                    | Distancia recorrida con frenadas bruscas                    | 3452,35  | metras   | 6     | 3,45 Kilómetros     |
|                                    | Tiempo de frenadas bruscas                                  | 286      | segundos | 6     | 4,77 minutar        |
|                                    | Consumo de combustible con frenadas bruscas                 | 2,23     |          |       | L/h                 |
|                                    | Consumo total de combustible por Brusquedad                 | 0,18     |          |       | L                   |
| <b>CRUCERO</b>                     | Distancia total sin crucero aceleraciones                   | 6097,07  | metras   | 6     | 6,10 kilómetros     |
|                                    | Tiempo total sin crucero aceleraciones                      | 408      | segundos | 6     | 6,80 minutar        |
|                                    | Consumo de combustible sin crucero aceleraciones            | 7,93     |          |       | L/h                 |
|                                    | Distancia total sin crucero desaceleraciones                | 7945,61  | metras   | 6     | 7,95 kilómetros     |
|                                    | Tiempo total sin crucero desaceleraciones                   | 573      | segundos | 6     | 9,55 minutar        |
|                                    | Consumo de combustible sin crucero desaceleraciones         | 2,16     |          |       | L/h                 |
|                                    | Consumo total de combustible por No Crucero                 | 1,24     |          |       | L                   |
|                                    | Consumo total de combustible por No Crucero                 | 1,24     |          |       | L                   |
| <b>RELACIÓN BRUSQUEDAD/CRUCERO</b> | Distancia total relacion crucero/brusquedad                 | #:DIV/0! | metras   | 6     | #:DIV/0! Kilómetros |
|                                    | Tiempo total relacion crucero/brusquedad                    | #:DIV/0! | segundos | 6     | #:DIV/0! minutar    |
| <b>INERCIA</b>                     | Consumo total de combustible relación crucero/brusquedad    | #:DIV/0! |          |       | L                   |
|                                    | Tramos considerados   |          |          | 5     |                     |
|                                    |   |          |          |       | Entrada a Laja      |
|                                    |   |          |          |       | Sanval              |
|                                    |   |          |          |       | Urduaga             |
|                                    |   |          |          |       | San Lucas           |
|                                    |   |          |          |       | Llegada a Laja      |
|                                    | Nombre de los tramos  |          |          |       |                     |
|                                    | Distancia total   | 36,04    |          |       | Kilómetros          |
|                                    | Tiempo total  | 70,52    | minutar  | 6     | 1,31 horas          |
|                                    | Altura máxima   | 3460,6   |          |       | metras              |
|                                    | Altura mínima   | 1889     |          |       | metras              |
|                                    | Pendiente máxima  | 6,71     |          |       | grados              |
|                                    | Pendiente mínima  | -14,83   |          |       | grados              |
|                                    | Pendiente (+) promedio                                      | 1,11     |          |       | grados              |
|                                    | Pendiente (-) promedio                                      | -2,84    |          |       | grados              |
|                                    | Velocidad máxima  | 93,86    |          |       | Km/h                |
|                                    | Velocidad mínima  | 0,00     |          |       | Km/h                |
|                                    | Velocidad promedio  | 72,07    |          |       | Km/h                |
|                                    | Consumo total de combustible en inercia                     | 3,11     |          |       | L/h                 |
|                                    | Consumo total de combustible en inercia                     | 3,93     |          |       | L                   |

Anexo4b. Plantilla determinación consumo por técnica

| GEOREFERENCIACIÓN DE PENDIENTES |             |              |             |                      |                         |                 |                     |        |                                 |           |                                 |          |                                 |          |           |           |                            |       |       |
|---------------------------------|-------------|--------------|-------------|----------------------|-------------------------|-----------------|---------------------|--------|---------------------------------|-----------|---------------------------------|----------|---------------------------------|----------|-----------|-----------|----------------------------|-------|-------|
| HORA                            | LATITUD [m] | LONGITUD [m] | ALTITUD [m] | LITURA CORREGIDA [m] | DISTANCIA CORREGIDA [m] | VELOCIDAD [m/s] | PENDIENTE PENDIENTE |        | PENDIENTE FINAL PENDIENTE FINAL |           | PENDIENTE FINAL PENDIENTE FINAL |          | PENDIENTE FINAL PENDIENTE FINAL |          | FILTRO II | FILTRO II | CONSUMO EN PENDIENTE [L/s] |       |       |
|                                 |             |              |             |                      |                         |                 | [m/s]               | [m/s]  | [m/s]                           | [m/s]     | [m/s]                           | [m/s]    | [m/s]                           | [m/s]    |           |           |                            | [m/s] | [m/s] |
| PROMEDIO                        |             |              |             |                      |                         |                 |                     |        |                                 | PROMEDIO  |                                 | PROMEDIO |                                 | PROMEDIO |           | PROMEDIO  |                            |       |       |
| 2696,51                         |             |              |             |                      |                         |                 |                     |        |                                 | 2,74      |                                 | -2,50    |                                 | -2,50    |           | -2,50     |                            | -2,50 |       |
| 10:15:32                        | -2,897402   | -79,622341   | 2585,00     | 2585,00              | 0,00                    | 0,04            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:15:33                        | -2,897416   | -79,622341   | 2584,46     | 2583,20              | 0,01                    | 0,04            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:15:42                        | -2,897416   | -79,622341   | 2584,46     | 2583,24              | 0,02                    | 0,04            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:15:47                        | -2,897414   | -79,622341   | 2584,46     | 2583,49              | 0,00                    | 0,04            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:14:09                        | -2,897404   | -79,622396   | 2579,11     | 2583,52              | 0,14                    | 0,04            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:14:03                        | -2,897402   | -79,622396   | 2579,11     | 2583,08              | 0,06                    | 0,04            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:14:08                        | -2,897402   | -79,622396   | 2579,11     | 2582,57              | 0,13                    | 0,04            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:14:04                        | -2,897402   | -79,622396   | 2579,11     | 2582,57              | 0,13                    | 0,04            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:14:44                        | -2,897404   | -79,622341   | 2579,11     | 2581,46              | 0,02                    | 0,04            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:14:48                        | -2,897409   | -79,622341   | 2579,11     | 2580,99              | 2,14                    | 1,53            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:14:51                        | -2,897443   | -79,622341   | 2578,4      | 2580,47              | 3,69                    | 4,43            | -0,141              | -0,032 | VERDADERO                       | VERDADERO | -0,238                          | -0,141   | -0,141                          | -0,141   | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:14:54                        | -2,897460   | -79,622364   | 2575,1      | 2579,96              | 3,69                    | 4,43            | -0,138              | -0,138 | VERDADERO                       | VERDADERO | -0,138                          | -0,138   | -0,138                          | -0,138   | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:14:57                        | -2,897496   | -79,622364   | 2575,1      | 2579,48              | 11,93                   | 14,22           | -0,441              | -2,336 | VERDADERO                       | VERDADERO | -0,441                          | -0,441   | -0,441                          | -0,441   | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:14:59                        | -2,897494   | -79,622364   | 2575,1      | 2579,04              | 16,13                   | 16,13           | -0,027              | -1,001 | VERDADERO                       | VERDADERO | -0,027                          | -0,027   | -0,027                          | -0,027   | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:14:53                        | -2,897453   | -79,622358   | 2575,2      | 2578,54              | 23,12                   | 21,74           | -0,037              | -1,001 | VERDADERO                       | VERDADERO | -0,037                          | -0,037   | -0,037                          | -0,037   | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:14:58                        | -2,897453   | -79,622358   | 2575,2      | 2578,54              | 23,12                   | 21,74           | -0,037              | -1,001 | VERDADERO                       | VERDADERO | -0,037                          | -0,037   | -0,037                          | -0,037   | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:14:59                        | -2,897376   | -79,622358   | 2575,2      | 2578,54              | 23,12                   | 21,74           | -0,037              | -1,001 | VERDADERO                       | VERDADERO | -0,037                          | -0,037   | -0,037                          | -0,037   | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:14:49                        | -2,897239   | -79,624444   | 2582,2      | 2578,43              | 49,47                   | 52,26           | 0,003               | 0,176  | VERDADERO                       | VERDADERO | 0,003                           | 0,176    | 0,176                           | 0,176    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:14:52                        | -2,897239   | -79,624444   | 2582,2      | 2578,43              | 49,47                   | 52,26           | 0,003               | 0,176  | VERDADERO                       | VERDADERO | 0,003                           | 0,176    | 0,176                           | 0,176    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:15:54                        | -2,897037   | -79,624712   | 2590,1      | 2579,20              | 12,97                   | 15,56           | 0,033               | 1,888  | VERDADERO                       | VERDADERO | 0,033                           | 1,888    | 1,888                           | 1,888    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:16:01                        | -2,897025   | -79,624749   | 2590,2      | 2580,29              | 0,60                    | 0,24            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:16:03                        | -2,897024   | -79,624749   | 2590,2      | 2580,24              | 0,09                    | 0,21            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:16:06                        | -2,897025   | -79,624749   | 2590,4      | 2580,39              | 0,36                    | 0,43            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:16:08                        | -2,897025   | -79,624749   | 2590,4      | 2580,39              | 0,36                    | 0,43            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:16:12                        | -2,897024   | -79,624749   | 2579,9      | 2580,24              | 0,75                    | 1,38            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:16:21                        | -2,897160   | -79,626477   | 2579,9      | 2580,28              | 57,23                   | 23,29           | -0,001              | -0,039 | VERDADERO                       | VERDADERO | -0,001                          | -0,039   | -0,039                          | -0,039   | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:16:23                        | -2,897159   | -79,626462   | 2579,9      | 2580,22              | 12,06                   | 16,06           | -0,002              | -0,163 | VERDADERO                       | VERDADERO | -0,002                          | -0,163   | -0,163                          | -0,163   | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:16:24                        | -2,897159   | -79,626203   | 2582,2      | 2580,19              | 6,03                    | 21,71           | -0,005              | -0,302 | VERDADERO                       | VERDADERO | -0,005                          | -0,302   | -0,302                          | -0,302   | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:20:02                        | -2,900451   | -79,633858   | 2584,5      | 2581,49              | 0,42                    | 0,04            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:20:04                        | -2,900452   | -79,633858   | 2584,5      | 2582,30              | 0,03                    | 0,06            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:20:08                        | -2,900453   | -79,633871   | 2584,5      | 2582,03              | 0,00                    | 0,00            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:20:10                        | -2,900454   | -79,633871   | 2584,5      | 2582,28              | 0,00                    | 0,00            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:20:10                        | -2,900454   | -79,633871   | 2584,5      | 2582,28              | 0,00                    | 0,00            | 0,000               | 0,000  | 0,000                           | 0,000     | 0,000                           | 0,000    | 0,000                           | 0,000    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:20:12                        | -2,900285   | -79,633600   | 2584,5      | 2584,51              | 4,00                    | 2,20            | 0,133               | 7,646  | VERDADERO                       | VERDADERO | 0,133                           | 7,646    | 7,646                           | 7,646    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:20:14                        | -2,900285   | -79,633600   | 2584,5      | 2584,51              | 4,00                    | 2,20            | 0,133               | 7,646  | VERDADERO                       | VERDADERO | 0,133                           | 7,646    | 7,646                           | 7,646    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |
| 10:20:38                        | -2,900884   | -79,634007   | 2584,5      | 2585,72              | 188,20                  | 27,53           | 0,002               | 0,133  | VERDADERO                       | VERDADERO | 0,002                           | 0,133    | 0,133                           | 0,133    | VERDADERO | VERDADERO | NO HAY CONSUMO EN ENERGIA  |       |       |

Anexo4c. Plantilla Generación de pendientes



Anexo4d. Plantilla rpm





**Anexo 5**  
*Imágenes referenciales del estudio*



*Figura 5a. Vehículo utilizado*



*Figura 5b. Funcionamiento del flujómetro*



*Figura 5c. Ubicación módulo Arduino*



*Figura 5d. Repostaje del*



*Figura 5e. Parte de la ruta de estudio*



*Figura 5f. Control de presión de neumáticos*