

Universidad Internacional del Ecuador



Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

Tesis de grado para la obtención del Título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

Estudio del coeficiente de adherencia de la Zona Andina mediante Norma ECE-13H

Carlos Francisco Cevallos Arboleda

Raúl Sebastián Ruiz Ruiz

Director: Ing. Gorky Reyes, MSc.

Quito, Agosto 2016

CERTIFICACIÓN

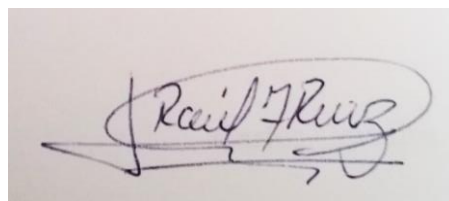
Nosotros, Carlos Francisco Cevallos Arboleda y Raúl Sebastián Ruiz Ruiz, declaramos que somos los autores exclusivos de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal. Todos los efectos académicos y legales que se desprendan de la siguiente investigación serán de nuestra exclusiva responsabilidad.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la ley de Propiedad Intelectual, reglamentos y leyes.



Carlos Francisco Cevallos Arboleda

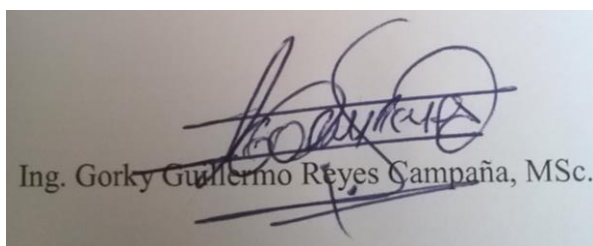
CI. 171691158-9



Raúl Sebastián Ruiz Ruiz

CI. 171992570-1

Yo, Gorky Guillermo Reyes Campaña, declaro que, en lo que yo personalmente conozco, los Señores Carlos Francisco Cevallos Arboleda y Raúl Sebastián Ruiz Ruiz son los autores exclusivos de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal.



Ing. Gorky Guillermo Reyes Campaña, MSc.

DEDICATORIA

A mi familia quienes me han enseñado que las cosas se las logra con esfuerzo y perseverancia, a ti querida Mamita que diariamente me muestras el amor que tienes por tus hijos y sin darte cuenta me enseñas a seguir tus pasos de bondad, paciencia, trabajo y generosidad.

Papi querido, a ti por mostrarme el lado espiritual de la vida y hacerme saber que nunca estamos solos, que siempre somos llenados de la bendición de Dios Padre Creador quien guía nuestro camino.

A mis hermanas quienes con su ejemplo me han demostrado que es posible superarse y alcanzar las metas propuestas.

Carlos Cevallos

DEDICATORIA

A mis padres que con su infinito amor me han apoyado en cada momento de mi vida aun en momentos difíciles me supieron comprender y no me dejaron caer, enseñándome que lo más importante y valioso de la vida es el amor a la familia, a mi hermanita que siempre ha sido un gran ejemplo ayudándome y motivándome para alcanzar mis metas.

A mis abuelitos Angelito, Victorita, Rosita y Maximiliano quienes siempre me enseñaron que; el trabajo duro y la constancia forman a las personas de bien, luchar por los sueños con pasión y siempre con una gran sonrisa, disfrutar de los momentos de felicidad y guardarlos en el corazón.

Sebastián Ruiz

AGRADECIMIENTO

Debo agradecer inicialmente a Dios Padre Creador por darme la vida y otorgarme la oportunidad de prepararme académicamente para generar y ayudar a la sociedad que lo necesite, al aplicar lo que acertadamente me han enseñado mis Docentes a quienes les entrego mi profunda gratitud. De igual manera gracias por el apoyo recibido por parte de quienes han caminado de mi mano y han sido los motivadores de avanzar durante mi proceso de formación académica y crecimiento personal.

Un especial agradecimiento al Ing. Andrés Castillo, quien con su profesionalismo y carisma supo abrir las puertas de la Facultad para que continuara con mi formación. Al Ing. Gorky Reyes quien con su vasto conocimiento, dedicación y motivación ha permitido culminar acertadamente con esta investigación.

A la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR conformada por grandes seres humanos profesionales, entregados a compartir sus conocimientos con sus alumnos, muchas gracias.

Finalmente agradezco a mi familia por ser mi ejemplo de vida y motivación principal para culminar este pregrado. A mi compañero de tesis Raúl Ruiz con quien hemos podido compartir nuestras ideas y conocimientos para desarrollar esta investigación.

Carlos Cevallos

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida, por concederme la paciencia y la fuerza para seguir adelante.

No me cansare de agradecer a mis padres cada día por su apoyo incondicional por sus enseñanzas y consejos.

Agradezco a mi Ñaña que es una fortaleza para mí en cada una de las etapas de mi vida.

Agradezco a mi familia por su apoyo, ya que siempre estuvieron pendientes en momentos difíciles para que no me deje vencer por las adversidades.

A mis amigos que han sido parte de mi familia quienes estuvieron en momentos de alegría, felicidad y aún más en dificultades.

Agradezco de manera especial al Ing. Gorky Reyes quien ha sido un pilar fundamental de esta investigación, Gracias ingeniero por su paciencia.

A Carlos Cevallos, mi amigo y compañero de tesis, con quien sacamos adelante este proyecto con gran esfuerzo y perseverancia para culminar con esta etapa.

Sebastián Ruiz

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	1
CAPÍTULO 1	2
SUSTENTACIÓN TEÓRICA PARA ANÁLISIS DE ADHERENCIA	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Sistemas de seguridad en los vehículos.....	3
1.2.1 Seguridad Activa.....	3
1.2.1.1 Sistema de frenos.....	4
1.2.2 Fundamentos del sistema ABS.....	7
1.2.2.1 Componentes del sistema ABS.....	9
1.2.2.2 Sensores de velocidad de giro.....	9
1.2.2.3 Unidad de control.....	13
1.2.2.4 Grupo hidráulico.....	14
1.2.2.5 Motor bomba.....	16
1.2.3 Fases de funcionamiento del ABS.....	16

1.2.3.1	Fase de frenada normal.....	16
1.2.3.2	Fase de mantenimiento de presión.	17
1.2.3.3	Fase de reducción de presión.....	18
1.2.4	Sistema de dirección.....	18
1.2.5	Sistema de suspensión.....	19
1.2.6	Seguridad pasiva.	19
1.3	Neumáticos	20
1.3.1	Estructura del neumático.....	21
1.3.2	Dibujo de la banda de rodadura.....	23
1.3.2.1	Tipos de banda de rodadura.....	24
1.3.3	Marcaje del neumático.	26
1.3.4	Fuerzas que intervienen sobre el neumático.	28
1.3.4.1	Fuerza de tracción.	28
1.3.4.2	Fuerza de guiado lateral.	28
1.3.4.3	Ángulo de deriva.	29
1.3.4.4	Fuerza normal.....	30
1.3.4.5	Fuerza de frenado.	30
1.3.5	Condiciones de adherencia.....	31
1.3.6	Coeficientes de adherencia.....	32
1.3.7	Resistencia a la rodadura.....	34
1.3.8	Normas de los neumáticos con relación a la profundidad del dibujo.....	36

CAPÍTULO 2.....	37
SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	37
2.1 Selección del vehículo	37
2.1.1 Selección del modelo del automóvil.	39
2.1.1.1 Utilización.	40
2.1.1.2 Mantenimiento.....	40
2.1.1.3 Repuestos.....	41
2.2 Selección del neumático	42
2.3 Selección de calzadas	44
2.3.1 Vías primarias y secundarias.....	45
2.3.2 Vías terciarias y caminos vecinales.....	45
2.3.3 Norma INEN 034.	47
2.3.4 Norma ECE-13H.	47
CAPÍTULO 3.....	57
CONDICIONES GENERALES PARA PRUEBAS DE ADHERENCIA	57
3.1 Equipos de medición	57
3.1.1 Pirómetro Fluke serie 60.	57
3.1.2 Calibrador Vernier.....	57
3.1.3 Velocímetro.....	58
3.1.4 Acelerómetro.....	58
3.1.5 GPSeTrex 30.	59

3.2	Procedimiento para pruebas de adherencia según norma ECE-13H.	59
3.2.1	CHECK LIST /Procedimiento pruebas de adherencia según ECE-13H.....	71
CAPÍTULO 4.....		73
PRUEBAS DE ADHERENCIA		73
4.1	Inspección del vehículo	73
4.1.1	CHECK LIST/ Resultados inspección de vehículo para prueba	77
4.2	Cálculo del centro de gravedad	78
4.3	Ejecución de pruebas de adherencia.....	86
4.4	Datos obtenidos en pruebas de frenado	88
4.4.1	Datos obtenidos en superficie asfáltica.....	89
4.4.2	Datos obtenidos en superficie adoquinada.....	93
4.4.3	Datos obtenidos en superficie empedrada.....	95
4.5	Cálculo de adherencia de la calzada	98
4.5.1	Desarrollo cálculo de coeficiente de adherencia de la calzada.....	102
4.5.1.1	Vía asfaltada.....	102
4.5.1.2	Vía Adoquinada.....	104
4.5.1.3	Vía empedrada.....	106
4.6	Cálculo de la desaceleración del vehículo	108
4.7	Análisis de resultados obtenidos en pruebas	110

CAPÍTULO 5	114
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
5.1 Conclusiones.....	114
5.2 Recomendaciones	118
BIBLIOGRAFÍA.....	119
ANEXOS.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Coeficientes de adherencia establecidos	33
Tabla 1.2: Coeficientes de resistencia a la rodadura	35
Tabla 2.1: Ponderación de vehículos según factores analizados	41
Tabla 2.2: Dimensiones de la vía con superficie asfáltica	51
Tabla 2.3: Dimensiones de la vía con superficie adoquinada	52
Tabla 2.4: Dimensiones de la vía con superficie empedrada	54
Tabla 3.1: Características del pirómetro Fluke serie 60.....	57
Tabla 3.2: Características calibrador Truper	58
Tabla 3.3: Características del velocímetro del Chevrolet Sail	58
Tabla 3.4: Características del acelerómetro 3D Cobra 4	59
Tabla 3.5: Procedimiento para calentamiento de frenos según norma ECE-13H.....	69
Tabla 3.6: Check list para ejecución de pruebas de adherencia	72
Tabla 4.1: Especificaciones técnicas.....	78
Tabla 4.2: Detalle de mediciones y pesos obtenidos	79
Tabla 4.3: Datos obtenidos en vía asfaltada.....	89
Tabla 4.4: Distancia y tiempo de frenado, vía asfaltada	90
Tabla 4.5: Datos obtenidos en superficie adoquinada.....	93
Tabla 4.6: Distancia y tiempo de frenado, vía adoquinada	93
Tabla 4.7: Datos obtenidos en superficie empedrada	95
Tabla 4.8: Distancia y tiempo de frenado, vía empedrada	96
Tabla 4.9: Comparativa de los valores de coeficientes de adherencia.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Componentes del sistema de frenos	4
Figura 1.2: Elementos del sistema de frenos	6
Figura 1.3 Servofreno	6
Figura 1.4: Distancia de frenado con y sin ABS.....	7
Figura 1.5: Direccionabilidad del vehículo con y sin ABS	9
Figura 1.6: Sistema de frenos con ABS	10
Figura 1.7: Esquema sensor de velocidad y rueda fónica.....	11
Figura 1.8: Señal de sensor pasivo o inductivo	11
Figura 1.9: Señal de sensor activo o hall	12
Figura 1.10: Controlador electrónico del ABS	13
Figura 1.11: Controlador electrónico del ABS	14
Figura 1.12: Grupo hidráulico del ABS.....	15
Figura 1.13: Electroválvulas del hidro-grupo	16
Figura 1.14: Fase de frenada normal	17
Figura 1.15: Fase de mantenimiento de presión	17
Figura 1.16: Fase de reducción de presión	18
Figura 1.17: Elementos de seguridad pasiva	20
Figura 1.18: Neumático de tipo radial y diagonal	21
Figura 1.19: Estructura del neumático	22
Figura 1.20: Partes de la banda de rodadura.....	24
Figura 1.21: Descripción de los tipos de banda de rodadura	25
Figura 1.22: Significado del marcaje en un neumático.....	27

Figura 1.23: Significado de siglas de velocidad máxima de neumáticos	28
Figura 1.24: Ángulo de deriva	29
Figura 1.25: Fuerzas que actúan sobre los neumáticos.....	31
Figura 1.26: Resistencia a la rodadura	35
Figura 1.27: Distancia de frenado vs la profundidad del labrado	36
Figura 2.1: Unidades vendidas por categoría de vehículo, año 2014	38
Figura 2.2: Unidades vendidas por modelo de automóvil	39
Figura 2.3: Neumático Continental.....	44
Figura 2.4: Clasificación de la red vial estatal.....	46
Figura 2.5: Trazado de la vía de prueba con superficie asfáltica.....	51
Figura 2.6: Vía con superficie asfáltica	52
Figura 2.7: Trazado de la vía de prueba con superficie adoquinada.....	53
Figura 2.8: Vía con superficie adoquinada	54
Figura 2.9: Trazado de la vía de prueba con superficie empedrada.....	55
Figura 2.10: Vía con superficie empedrada	56
Figura 3.1: Neumático Continental.....	61
Figura 4.1: Medición de profundidad de labrado de neumático	73
Figura 4.2: Medición de presión de inflado de los neumáticos	74
Figura 4.3: Estado de discos y cauchos de mordazas de freno	75
Figura 4.4: Limpieza y verificación de estado de componentes de frenos posteriores	75
Figura 4.5: Desmontaje de suspensión delantera y alineación de ruedas	76
Figura 4.6: Pesaje del vehículo	79
Figura 4.7: Fuerzas y distancias en el vehículo	80
Figura 4.8: Fuerzas y distancias teóricas en el vehículo.....	81

Figura 4.9: Distancia correspondiente a $H1$	82
Figura 4.10: Distancia correspondiente a $H2$ con el vehículo inclinado	83
Figura 4.11: Captura de pantalla de acelerómetro	85
Figura 4.12: Medición con pirómetro de temperatura ambiente	87
Figura 4.13: Calentamiento del sistema de frenos	88
Figura 4.14: Medición de distancia de frenado en superficie asfaltada.....	91
Figura 4.15: Oscilación vertical Vs. tiempo promedio, vía asfaltada.....	91
Figura 4.16: Línea de tendencia, oscilación Vs. tiempo promedio, vía asfaltada.....	92
Figura 4.17: Medición de distancia de frenado en superficie adoquinada.....	94
Figura 4.18: Oscilación vertical Vs. tiempo promedio, vía adoquinada.....	94
Figura 4.19: Línea de tendencia, oscilación vertical Vs. tiempo, vía adoquinada.....	95
Figura 4.20: Medición de distancia de frenado en superficie empedrada.....	96
Figura 4.21: Oscilación vertical Vs. tiempo promedio, vía empedrada	97
Figura 4.22: Línea de tendencia, Oscilación Vs. tiempo promedio, vía empedrada	97
Figura 4.23: Distancias de frenado obtenidas en pruebas de adherencia.....	110
Figura 4.24: Tiempos de frenado obtenidos en pruebas de adherencia	111
Figura 4.25: Coeficientes de frenado máximo obtenidos	112

RESUMEN

El constante crecimiento del parque automotor, genera la necesidad de validar si la Norma Internacional ECE-13H adoptada en el Ecuador como documento base de la Norma RTE-034, cumple con los requerimientos estipulados al aplicarla en las calzadas que conforman la Red Vial del Ecuador, con relación a la adherencia. Esto tomando en cuenta que la calibración de los sistemas de los diferentes vehículos que circulan en el Ecuador, no se realizan con coeficientes propios de nuestra zona, sino basados en condiciones ambientales y geográficas extranjeras diferentes a las nuestras.

El desarrollo de esta investigación inicia con el estudio de los sistemas del vehículo que hacen posible su desaceleración, teniendo entre los más relevantes al sistema de frenos y los neumáticos; para lo cual se comprende su funcionamiento y las fuerzas que actúan directamente sobre el comportamiento del automotor al pisar el pedal del freno en una situación de emergencia con el ABS desactivado; esto para probar la eficiencia real de los neumáticos con relación a las calzadas seleccionadas que contemplan a la asfaltada, adoquinada y empedrada.

Se realiza un análisis a partir de estadísticas publicadas por la AEADE para la selección del vehículo de pruebas, que para este caso corresponde al Chevrolet Sail, al cual se lo somete a las pruebas de campo necesarias para, en base a lo estipulado en la Norma ECE-13H constatar que se sobrepasa con los estándares mínimos que ahí se detallan, siendo la prueba fehaciente de la validez de la adopción de la misma.

PALABRAS CLAVE: Coeficiente de adherencia, neumático, Norma ECE-13H, Red vial.

ABSTRACT

The constant growth of vehicle fleet, generates the need to validate if the international standard ECE-13H which was adopted in Ecuador as the basic document of the standard RTE-034, fulfills the stipulated requirements when applied to the roads that are part of the road network of Ecuador, referring to the adherence. This, taking into account that the calibration of the systems of the different vehicles circulating in Ecuador are not performed with coefficients of our own area, but based on environmental and foreign geographical conditions which are different from ours.

The development of this research starts with the study of the vehicle systems that make possible its deceleration. The most relevant are the brake system and the tires. That's why, we have to understand their operation and the forces that influence directly on the behavior of the vehicle when pressing the brake pedal in an emergent situation with the ABS system deactivated. This, in order to test the real efficiency of the tires in regards to the selected roads that can be asphalted, paved or covered with cobblestones.

There is an analysis made from statistics published by the AEADE to choose the test vehicle, which is a Chevrolet Sail, in this case. This has field-tested based on what is stipulated in the standard ECE-13H to demonstrate that the minimum standards that are there detailed, are over passed. This is the proof of the validity to adopt it.

Key words: coefficient of adhesion, tire, ECE-13H, road network

CAPÍTULO 1

SUSTENTACIÓN TEÓRICA PARA ANÁLISIS DE ADHERENCIA

1.1 Introducción

A partir del año 1885, en donde se produce el primer vehículo con motor de combustión interna y el constante avance tecnológico en el ámbito automotriz, ha generado la necesidad de prestar atención al desarrollo e implementación de sistemas de seguridad que permitan desacelerar a estos medios de transporte y generar condiciones de adherencia que reduzcan accidentes a causa del deslizamiento de los neumáticos y/o bloqueo del sistema de frenado.

Es así, que marcas reconocidas como Bosch, fabricantes de neumáticos e Ingenieros Automotrices han ido implementando paulatinamente en los automóviles sistemas de asistencia de frenado, ubicación del centro de gravedad del vehículo mejorado y normativas que estandarizan las condiciones mínimas de seguridad con las que un automotor puede salir a la venta e ingresar a mercados internacionales de acuerdo a las exigencias de cada país.

Innumerables accidentes de tránsito ocurren cada año alrededor del mundo debido a factores mecánicos, climatológicos, tipo de conducción, automóviles con motorizaciones más eficientes y veloces, entre los más influyentes; es por esta razón que los fabricantes de vehículos han ido implementado y mejorando sistemas que proporcionan seguridad y confort al momento de conducir, ya sea para prevenir que los accidentes ocurran o para disminuir las lesiones o muertes una vez que se susciten percances. Los organismos internacionales son los encargados de regular mediante norma la implementación de estos sistemas en la fabricación de vehículos.

En nuestro país, el Ecuador, se han incorporado con relación a este tema normativas que facilitan el control y el equipamiento de los vehículos en el ámbito de seguridad activa y

pasiva; en donde se incluye la incorporación de sistemas obligatorios tales como: sistema de frenado ABS, cinturones de seguridad, Airbags, entre otros, que se encuentran debidamente especificados en la norma RTE INEN-034 en lo que se relaciona con “Elementos Mínimos De Seguridad”. Dicha norma se apoya en regulaciones Internacionales adoptadas principalmente de la ECE 13-H que sustenta el desarrollo de esta investigación. Se debe tomar en consideración que previo a la aceptación de esta normativa se ejecutan pruebas en las que se demuestra la fiabilidad y la razón por las que son implementadas; cabe recalcar que son efectuadas en condiciones geográficas diferentes a las que presenta el Ecuador, por lo que, es vital el desarrollo de este estudio.

1.2 Sistemas de seguridad en los vehículos

La necesidad de generar vehículos confiables ha hecho que las empresas manufactureras automotrices, con la colaboración de investigadores e ingenieros, desarrollen sistemas de seguridad cada vez más eficientes, reduciendo los índices de accidentabilidad y mejorando el confort. Dichos sistemas y elementos responden efectiva y eficientemente acrecentando los niveles de maniobrabilidad en las diferentes condiciones de manejo y superficies. Es así que un automóvil viene equipado con componentes y sistemas de seguridad Activa y Pasiva, que trabajan en conjunto de manera equilibrada con la intención de proporcionar prestaciones con altos niveles de fiabilidad al momento de conducir un vehículo, que precautelan la integridad del conductor y ocupantes.

1.2.1 Seguridad Activa.

Se entiende como seguridad activa a aquellos elementos, componentes y sistemas que ayudan a incrementar el nivel de respuesta y estabilidad de un vehículo que se encuentra en movimiento, para dentro de lo posible prevenir situaciones de peligro que pueden desembocar en un accidente de tránsito.

1.2.1.1 Sistema de frenos.

El sistema de frenos constituye uno de los componentes principales de la seguridad activa, debido a que tiene como finalidad “El conseguir detener o aminorar la marcha del vehículo en las condiciones que determine su conductor; para ello, la energía cinética que desarrolla el vehículo tiene que ser absorbida en su totalidad o en parte, por medio de rozamiento, es decir, transformándola en calor”.(Manual del automóvil, 1999, pág. 108). En la Figura 1.1 se muestra el sistema de frenos convencional y sus componentes.

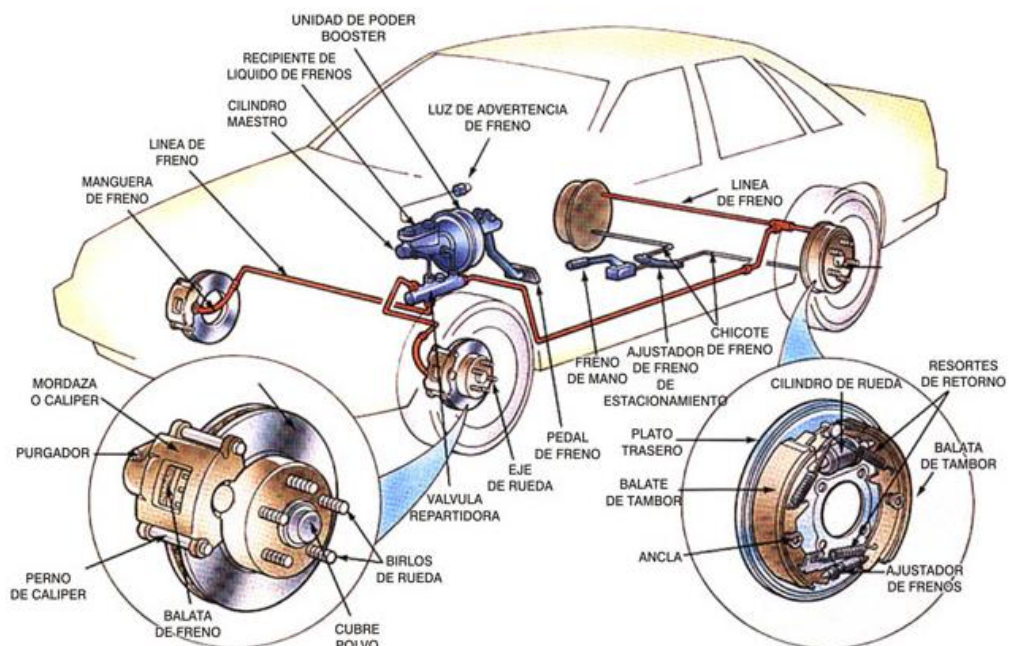


Figura 1.1: Componentes del sistema de frenos

Fuente:(Sistema de Frenos, s.f)

El sistema de frenos se encuentra conformado por diferentes mecanismos que tienen como función desacelerar el vehículo en el menor tiempo y distancia, sin modificar la trayectoria y dirección del mismo, tomando en cuenta la fuerza que ejecuta el conductor sobre el pedal del freno para multiplicarla y transferirla hacia las ruedas del automotor.

Es decir, si el proceso de frenado es hecho con demasiada fuerza, las ruedas se bloquearán, generando una pérdida de adherencia de los neumáticos con relación a la superficie de

contacto, aumentando dicha distancia y tiempo de detención, además de perder su trayectoria y producir posiblemente un derrape de la o las ruedas bloqueadas.

Al momento que el automotor se encuentra en movimiento, se genera una fuerza de rozamiento entre el neumático y su superficie de contacto en la que se encuentra éste desplazándose; es decir, que el valor de la fuerza de adherencia va a tener directa relación con la carga que experimenten los neumáticos del vehículo y el coeficiente en sí de rozamiento entre la superficie de desplazamiento y las llantas del automotor.

Entonces, lo anteriormente descrito quiere decir que, la fuerza aplicada sobre el sistema de frenos deberá ser menor al límite de adherencia del vehículo; caso contrario se provocaría el bloqueo de sus neumáticos.

a) Mecanismos de frenos

El sistema de frenos se encuentra conformado por mecanismos que permiten ejecutar el rozamiento necesario para desacelerar el vehículo; entre ellos se encuentran los frenos de disco y los de tambor. Por lo general los últimos nombrados son instalados en los ejes traseros, sin embargo el avance tecnológico y el mejoramiento de las prestaciones de los nuevos vehículos con relación a potencia y confort, han permitido en ciertos casos eliminar este sistema de frenos para instalarse discos de freno para las cuatro ruedas. Tanto los discos de freno como los tambores, hacen que la fuerza de frenado transmitida por medio de “la presión ejercida por el conductor sobre el pedal de freno” (Nigrinis, s.f), trabaje como fuerza tensora para comprimir los forros de los frenos ya sea contra los discos o contra los tambores. En la figura 1.2 se pueden observar los componentes de un mecanismo de frenos de tambor y uno de discos. (Mi DSpace, s.f)

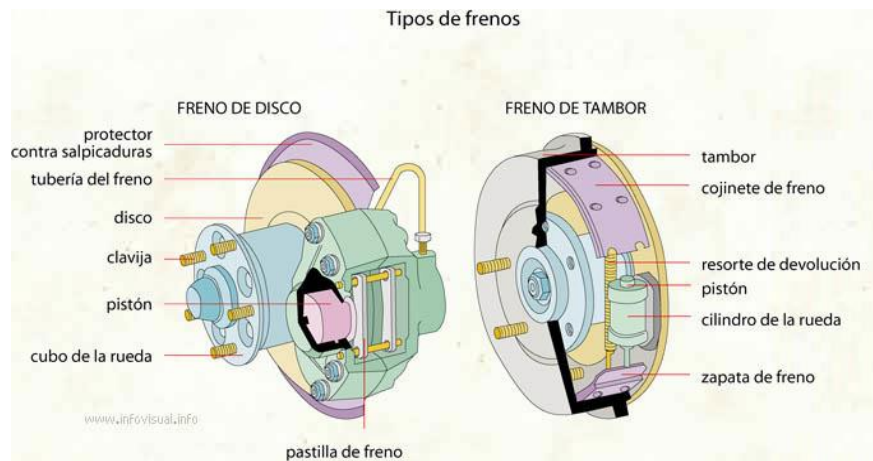


Figura 1.2: Elementos del sistema de frenos

Fuente: (Diccionario Visual, 2011)

En años anteriores la presión que se lograba ejercer sobre los discos de freno y tambores mediante las pastillas y zapatas respectivamente, dependía exclusivamente de la presión que ejercía el conductor sobre el pedal del freno, es decir, que el accionamiento del sistema era efectuado por fuerza muscular; sin embargo, la necesidad de crear sistemas más eficientes han desembocado en la implementación del sistema de frenado mediante la multiplicación de la fuerza ejercida en el pedal de freno, lo cual se conoce como sistema de freno accionado por fuerza auxiliar. Se lo logra mediante un mecanismo auxiliar que trabaja por depresión conocido como servo freno que se lo visualiza en la figura 1.3, que suaviza su accionamiento y mejora la efectividad de frenado.

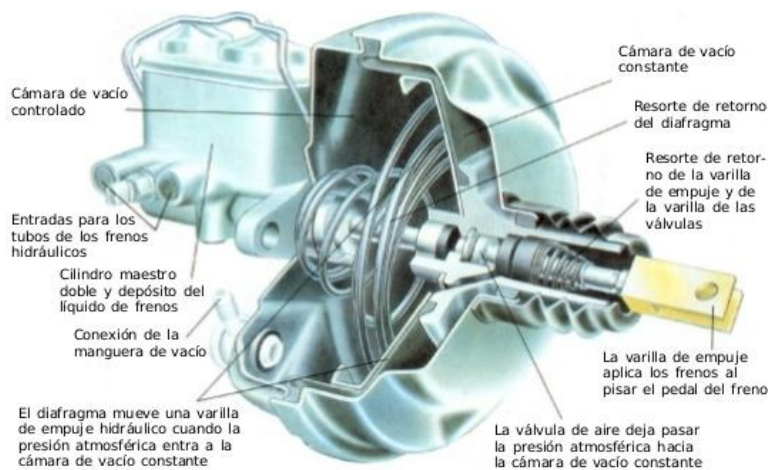


Figura 1.3 Servofreno

Fuente: (Gutierrez Quispe, 2013)

b) Sistema antibloqueo de frenos

Con el afán de optimizar el funcionamiento del sistema de frenos convencional en situaciones de emergencia, se incorpora en los vehículos el sistema de frenos ABS, que corresponde a sus siglas en inglés Antilock Braking System, el cual como su nombre lo indica evita que la/las ruedas de un automotor se lleguen a bloquear por efecto “de la presión ejercida por el conductor sobre el pedal de freno” (Nigrinis, s.f) y la diferencia en la fuerza de fricción del neumático con relación a la superficie de contacto. Esto se lo logra mediante un control electrónico que actúa directamente sobre el sistema de frenos convencional mediante componentes que funcionan como moduladores de presión y que controlan la potencia de frenado aplicada a cada rueda, independientemente de la presión que se haya ejercido sobre el pedal del freno; en cualquier situación crítica de marcha, logrando reducir significativamente la distancia en que un vehículo se detiene al aplicar fuertemente el pedal de freno como se puede visualizar en la figura 1.4.(Mi DSpace, s.f)

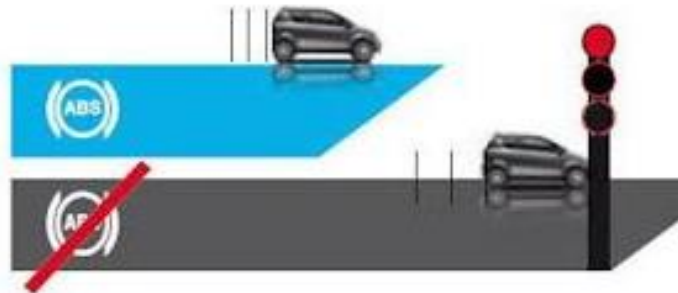


Figura 1.4: Distancia de frenado con y sin ABS

Fuente: (Autoslosan, 2011)

1.2.2 Fundamentos del sistema ABS.

El sistema ABS incorpora dentro de sus componentes una computadora o controlador electrónico, el cual tiene la función de recibir las señales de giro de cada rueda del vehículo para compararlas entre sí; y de existir diferencias de velocidad, poner en ejecución el sistema

anti bloqueo mediante la reducción y control de velocidad de giro, éstas señales se obtienen mediante sensores de velocidad instalados en cada rueda del automotor.

El controlador electrónico envía esta información procesada como señal de salida hacia las electroválvulas del sistema para regular la presión del líquido de frenos a cada rueda y cumplir con el objetivo de mantener iguales las velocidades de giro de las ruedas independientemente de la fuerza con la que se presione el pedal de freno, las condiciones de los neumáticos y calzada.

Cuando, durante el proceso de frenado, alguna rueda reduce su velocidad de giro con relación a las otras, quiere decir que por esta causa el vehículo tiene tendencia a patinar, es entonces que se disminuye de manera electrónica la fuerza de frenado de la rueda con tendencia a bloquearse hasta igualar su velocidad a la de las otras; generando como resultado un frenado uniforme que ayuda a que el vehículo se detenga en una menor distancia y éste conserve sus cualidades de maniobrabilidad y conductibilidad.

Al momento en que las ruedas directrices de un vehículo se bloquean, se pierde la capacidad de dirigirlo de acuerdo a las órdenes efectuadas mediante el conductor sobre el volante y por ende sobre el sistema de dirección; es entonces cuando se obtiene otro beneficio importante de la incorporación del ABS, ya que al evitar el bloqueo de las ruedas, permite además transferir las fuerzas de giro hacia el sistema de dirección y conservar su control aún en situaciones de frenadas enérgicas como se observa en la figura 1.5 que se presenta a continuación.

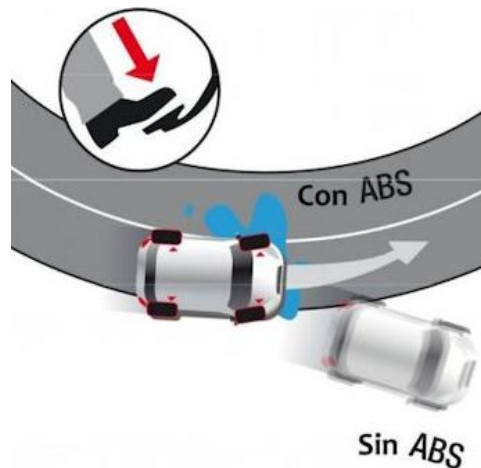


Figura 1.5: Direccionalidad del vehículo con y sin ABS
Fuente: (Autoslosan, 2011)

1.2.2.1 Componentes del sistema ABS.

El ABS al constituirse como un sistema, requiere de cuatro elementos o componentes para su funcionamiento. Estos componentes le permiten regular y controlar la presión de frenado de cada rueda mediante señales captadas por sensores de giro de velocidad, procesar dichas señales mediante un controlador que calcula los datos de entrada, un motor bomba que facilita la recuperación de presión del sistema y un grupo hidráulico que permite liberar presión para cada rueda en específico del vehículo.

1.2.2.2 Sensores de velocidad de giro.

Son elementos magnéticos que tienen como objetivo captar la velocidad de cada rueda de forma individual o en varios vehículos del conjunto de ruedas posteriores, esto depende del diseño del fabricante y del equipamiento del automotor. Mediante los datos obtenidos por dichos captadores, se genera la posibilidad de calcular la diferencia de velocidad de giro en la o las ruedas; logrando así controlar con el trabajo conjunto de otros componentes, el resbalamiento existente entre la rueda específica y la calzada de contacto. Es así que de ser el caso, se envían las señales necesarias para reducir o liberar presión; evitando el bloqueo y

permitiendo la maniobrabilidad del vehículo. Se puede observar en la figura 1.6 el sistema de frenos con incorporación de ABS en donde se encuentran esquematizados los sensores de velocidad de giro.

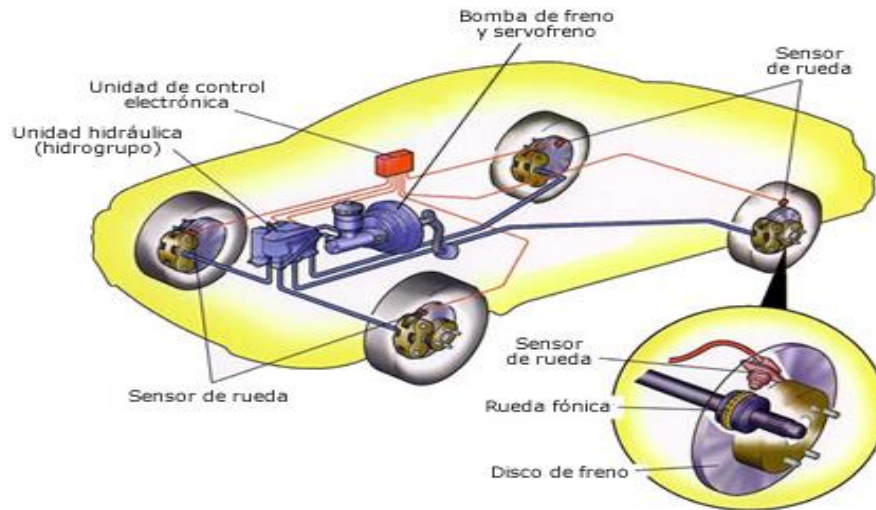


Figura 1.6: Sistema de frenos con ABS
Fuente: (Aficionados a la mecánica, 2014)

Estos captadores se encuentran instalados sobre una corona dentada ubicada en las ruedas del vehículo, en algunos casos junto a una rueda fónica de la corona de transmisión o mediante una combinación de ambas. Captan la revolución de la rueda a la que pertenece mediante el conteo de la variación magnética generada por la rueda dentada; es decir que, los dientes por los que se halla constituida la rueda fónica emiten una señal diferente cuando el imán, por el que se encuentra constituido el sensor, se localiza sobre la parte metálica del diente de la rueda fónica generando señales capaces de ser interpretadas por el controlador o calculador del sistema. Basado en la información recibida, controla y ejecuta comandos con el fin de evitar el bloqueo permanente de las ruedas durante el frenado y mantener la maniobrabilidad del automotor. En la figura 1.7 se muestra la rueda fónica y el sensor de velocidad conocido como VSS.

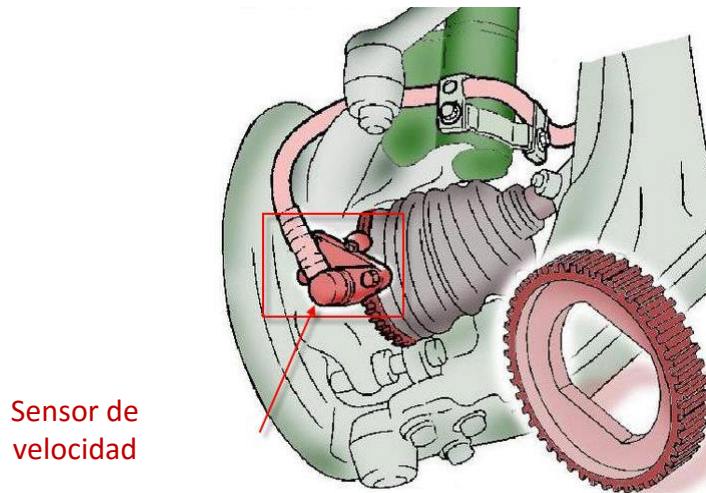


Figura 1.7: Esquema sensor de velocidad y rueda fónica
Fuente: (CHW, 2005)

Los captadores instalados son pasivos de tipo inductivo que suelen tener menor precisión al requerir aproximadamente 30 kilómetros por hora de velocidad rotacional para emitir señales claras y analizables por el ordenador. Se encuentran conformados por un imán permanente, un núcleo magnético y una bobina que lo rodea; producen una señal magnética que está dada por una rueda dentada, de la cual detecta sus dientes al igual que sus valles, generando una señal sinusoidal de tipo alterna como se observa en la figura 1.8.

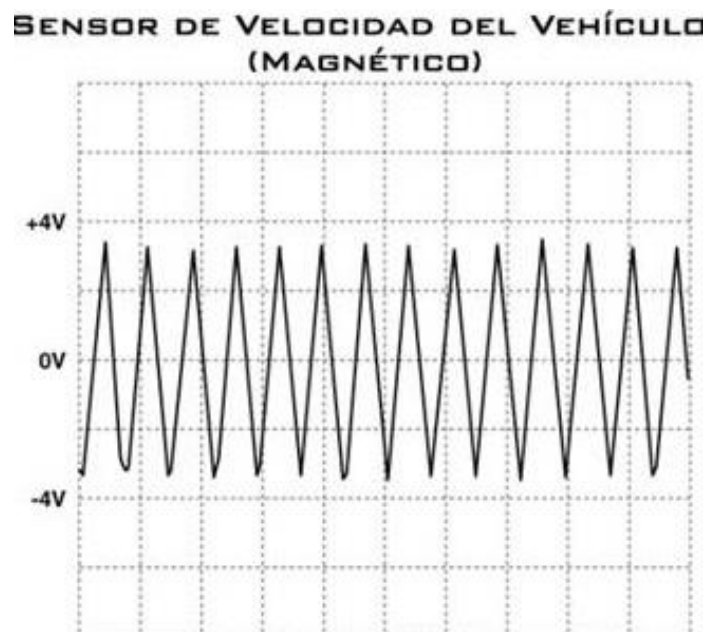


Figura 1.8: Señal de sensor pasivo o inductivo
Fuente: (Ingeniería AutoAvance, 2015)

Al aumentar la velocidad del vehículo, la frecuencia y el voltaje aumentan, es entonces cuando la ECM interpreta y convierte el voltaje captado en km/h. Tienen una resistencia que oscila entre 190 y 240 ohmios y un valor esperado de arranque de 1 a 3 voltios. Los sensores inductivos generan campo magnético, mediante el cual, se calcula la velocidad para emitir señales hacia el ordenador para dosificar la mezcla aire – combustible. De igual manera estos sensores son utilizados para detectar bloqueos en las ruedas del vehículo y poner en funcionamiento sistemas de seguridad tal como lo es el ABS.

Por otra parte los captadores activos o de efecto hall generan señales digitales o cuadradas, figura 1.9, que incrementan la precisión de funcionamiento del sistema, además de emitir una señal inmediata a velocidades bajas; este tipo de sensores pueden trabajar con ruedas fónicas o con pistas con codificadores magnéticos. Su denominación de activo, se basa en que requieren de alimentación que viene dada por el calculador del ABS.

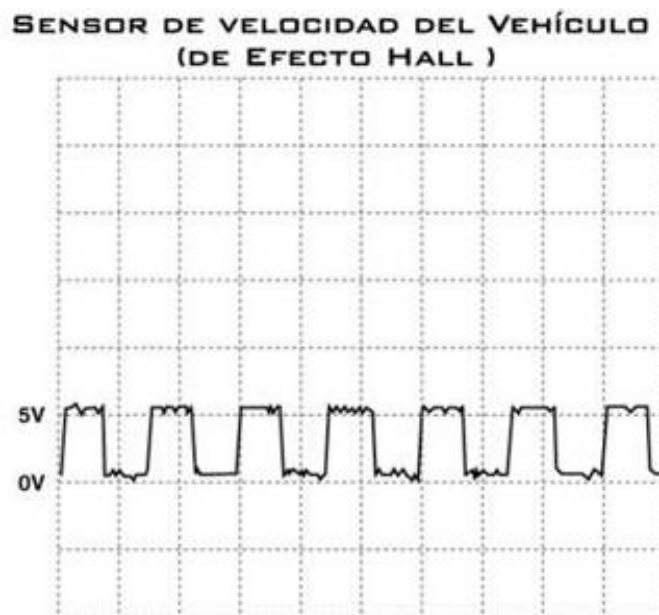


Figura 1.9: Señal de sensor activo o hall
Fuente: (Ingeniería AutoAvance, 2015)

Estos sensores constan de 3 cables conductores; en donde, el primero corresponde a la alimentación al sensor que es de 5 o 12 voltios, el segundo, a la señal de onda que es de 5

voltios y el tercero que corresponde a tierra o masa. La tensión generada será mayor cuando mayor sea la velocidad del vehículo. Para el cálculo de la velocidad se toman en cuenta el número de pulsos contabilizados; en donde se establece que 4 pulsos equivalen a una revolución, pudiendo así calcular la velocidad de las ruedas del vehículo.

1.2.2.3 Unidad de control.

Se la conoce también como calculador, tiene la función de recibir las señales captadas por los diferentes sensores del sistema y procesarlas con la ayuda de cartografías y cálculos matemáticos para emitir órdenes claras y exactas hacia el grupo hidráulico, con el fin de activarlo de acuerdo a los requerimientos del vehículo para conservar su conductibilidad y maniobrabilidad.

Este controlador electrónico recoge las señales provenientes de los sensores de velocidad, sean estos pasivos o activos, para analizar y comparar la información receptada y así mantener o disminuir la presión del líquido de frenos mediante la intervención del grupo hidráulico. En la figura 1.10 se muestra el calculador que reagrupa la electrónica de gestión del sistema y las bobinas de mando de las electroválvulas.



Figura 1.10: Controlador electrónico del ABS
Fuente: (Autoverwertung, 2009)

Dentro de las funciones específicas que desempeña el controlador electrónico de frenado se tiene la recepción de las velocidades captadas por los sensores de giro, su comparación y el

cálculo independiente de la velocidad de cada rueda; de igual manera, identifica el bloqueo de una o varias ruedas para activar el sistema de antibloqueo de manera casi instantánea.

Esta unidad de control al detectar un fallo de funcionamiento de algún componente del sistema, efectúa un auto diagnóstico que identifica la falla y almacena los códigos de servicio en su memoria para con la ayuda de un scanner leerlos y solucionarlos mediante la intervención técnica. Cabe destacar que al momento en que se detecta cualquier anomalía en el sistema, se enciende inmediatamente una luz testigo en el tablero de instrumentos, que informa al conductor la necesidad de llevar su vehículo a un centro de servicio automotriz, lo que se indica con la figura 1.11. Cuando esto sucede, el controlador electrónico desactiva el funcionamiento del ABS dejando intacto el uso del sistema de frenos convencional.

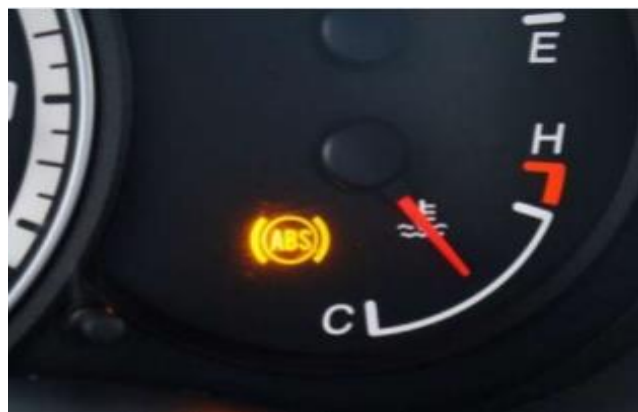


Figura 1.11: Controlador electrónico del ABS
Fuente: (Henríquez, 2014)

1.2.2.4 Grupo hidráulico.

El grupo hidráulico se encuentra conformado por electroválvulas que tienen la función de permitir o restringir el paso de presión por los conductos hidráulicos del líquido de frenos hacia las pinzas de freno de cada rueda cuando sea necesario; esto se lo logra mediante la integración y activación de un motor eléctrico, con la ayuda de relés y un arnés de cables que se encuentra conectado a la unidad de control electrónica que en definitiva es la que comanda

el funcionamiento del hidro-grupo. El accionar de las electroválvulas permitirá la modulación de presión del sistema de frenos y será el que mantenga o disminuya la presión para controlar el bloqueo de las ruedas del vehículo; mediante la apertura y/o cierre de las mismas. En la figura 1.12 se observa al hidro-grupo y sus componentes.

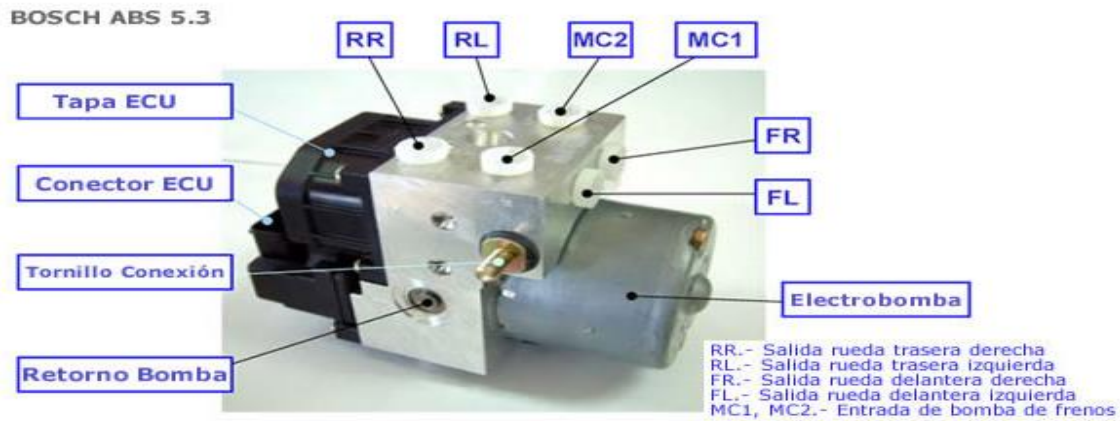


Figura 1.12: Grupo hidráulico del ABS
Fuente: (Aficionados a la mecánica, 2014)

El grupo hidráulico posee ocho electroválvulas que se encuentran formadas por un solenoide y un inducido móvil, que permite la apertura y cierre de las mismas, las cuales se pueden observar en la figura 1.13. Dichas electroválvulas son repartidas de manera uniforme para cada rueda, teniendo dos electroválvulas para cada una; en donde una es de admisión abierta en reposo y una de escape cerrada en reposo. El reposo de las electroválvulas se lo logra por la acción de un resorte o muelle que se encuentra instalado en el elemento. También poseen filtros de entrada y salida que previenen el ingreso de impurezas que puedan remorderlas.



Figura 1.13: Electroválvulas del hidro-grupo
Fuente: (Aficionados a la mecánica, 2014)

1.2.2.5 Motor bomba.

Es la encargada de extraer el líquido de frenos necesario del sistema para reducir la presión existente en la mordaza de freno enviándolo hacia el cilindro maestro y generando un alivio de presión que desemboca en la vibración del pedal del freno captada por el conductor cuando se encuentra en funcionamiento el sistema de antibloqueo.

1.2.3 Fases de funcionamiento del ABS.

Cuando en una situación de peligro identificada por el conductor se efectúa una presión intensa sobre el pedal de freno, dicha presión tiende a bloquear a la o las ruedas del vehículo; es el momento en que el sistema ABS entra en funcionamiento para evitar que esto suceda.

Es así que el sistema pasa por tres fases dependiendo de la necesidad de hacerlo hasta que el automotor se detenga o se deje de pisar el pedal de freno.

1.2.3.1 Fase de frenada normal.

Es cuando el cilindro principal del freno actúa directamente sobre la mordaza de freno, teniendo una frenada convencional. Los sensores de velocidad de giro de las ruedas envían su señal hacia el controlador electrónico informando el descenso de velocidad. En esta etapa de funcionamiento se mantiene el sistema hasta detectar la tendencia de la rueda a bloquearse,

para solamente ahí pasar a la siguiente fase. En la figura 1.14 se visualiza el esquema de funcionamiento de esta fase antes descrita.

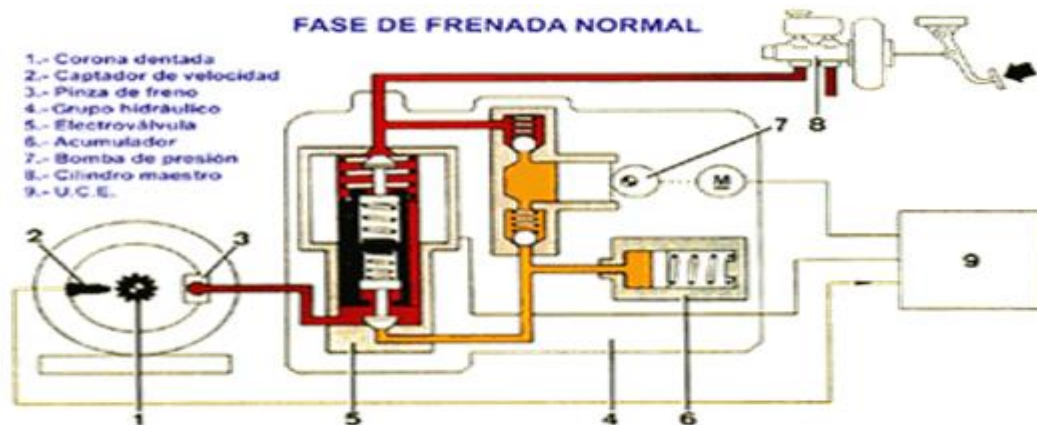


Figura 1.14: Fase de frenada normal
Fuente: (Multiservicio Automotriz 3H C.A., 2011)

1.2.3.2 Fase de mantenimiento de presión.

El controlador mediante la información captada y enviada desde los sensores de velocidad, al detectar el posible bloqueo de la o las ruedas, envía una señal hacia la electroválvula correspondiente a esa rueda para que corte el suministro de líquido de frenos que viene del cilindro principal; manteniendo así la presión y evitando que se incremente, lo que se evidencia en la figura 1.15. Si el bloqueo de la rueda persiste, entonces el sistema pasa a la última fase de funcionamiento.

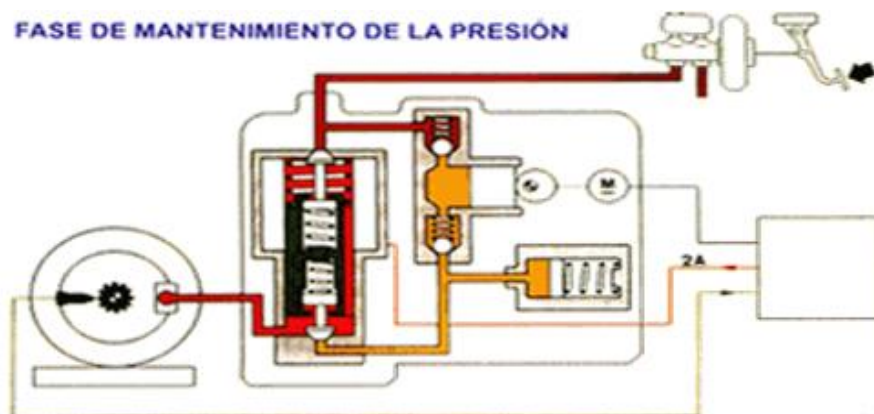


Figura 1.15: Fase de mantenimiento de presión
Fuente: (Multiservicio Automotriz 3H C.A., 2011)

1.2.3.3 Fase de reducción de presión.

En esta fase actúa la bomba de presión, controlada por el calculador, succionando el líquido de frenos y enviándolo al cilindro principal, reduciendo la presión existente en la mordaza de freno y haciendo que la rueda acelere tal como se constata en la figura 1.16.

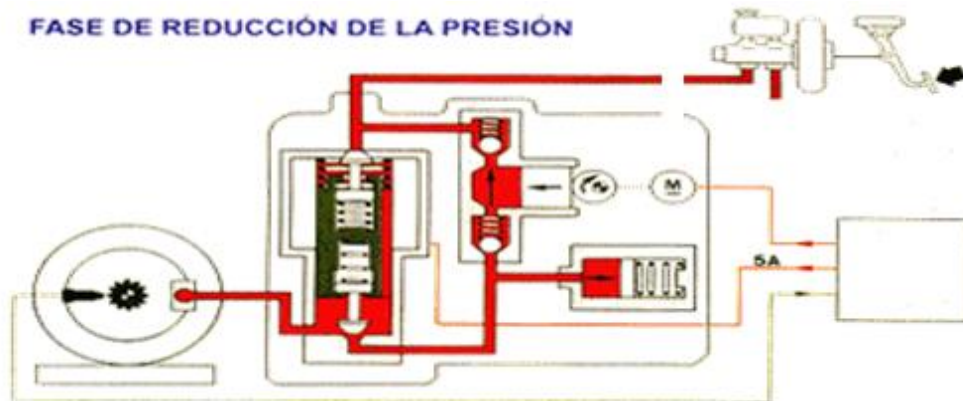


Figura 1.16: Fase de reducción de presión
Fuente: (Multiservicio Automotriz 3H C.A., 2011)

El sistema repite sus fases de funcionamiento las veces necesarias con el objetivo de tener a cada instante el control del vehículo con relación a su conductibilidad y dirigibilidad. Este ciclo vuelve a iniciar de cuatro a diez veces por segundo dependiendo de la condición de la superficie de contacto.

1.2.4 Sistema de dirección.

Forma parte de la seguridad activa del vehículo y es el sistema que tiene como función dar el giro de las ruedas delanteras mediante la acción mecánica ejercida por el conductor sobre el volante para tomar una trayectoria específica que va de acuerdo a los requerimientos de la vía y por ende del conductor. Este sistema debe tener la capacidad de retornar a su posición inicial de marcha recta a las ruedas delanteras de un vehículo al final de una curva.

Los elementos que conforman la dirección son de constitución robusta para resistir vibraciones a causa de la transferencia de movimiento de las ruedas. Existen varios tipos de dirección, entre los más conocidos y utilizados se encuentran los de tipo mecánico, los de tipo hidráulico y los electro-hidráulicos; estos dos últimos generan ventajas como comodidad de conducción, estabilidad, facilidad de manejo, suavidad y precisión al momento de maniobrar. Es así que la tecnología incorporada en los vehículos modernos hace que la dirección se endurezca de acuerdo a la velocidad del vehículo; garantizando así la maniobrabilidad y la reducción de posibles accidentes.

1.2.5 Sistema de suspensión.

De igual manera el sistema de suspensión forma parte de la seguridad activa del automotor, tiene como finalidad absorber las irregularidades de la vía sobre la que el vehículo se desplaza y a su vez el mantener en contacto constante a los neumáticos con la calzada de contacto, proporcionando confort a los pasajeros y evitando que se genere una inclinación excesiva de la carrocería mientras se pasa por una curva garantizando que el vehículo no pierda pista.

1.2.6 Seguridad pasiva.

Los sistemas de seguridad pasiva funcionan al momento que se produce un accidente, estos sistemas ayudan a disminuir los riesgos y lesiones de cada uno de los ocupantes del vehículo. En la figura 1.17 se observa algunos elementos de seguridad pasiva con los que actualmente vienen equipados los vehículos de serie.

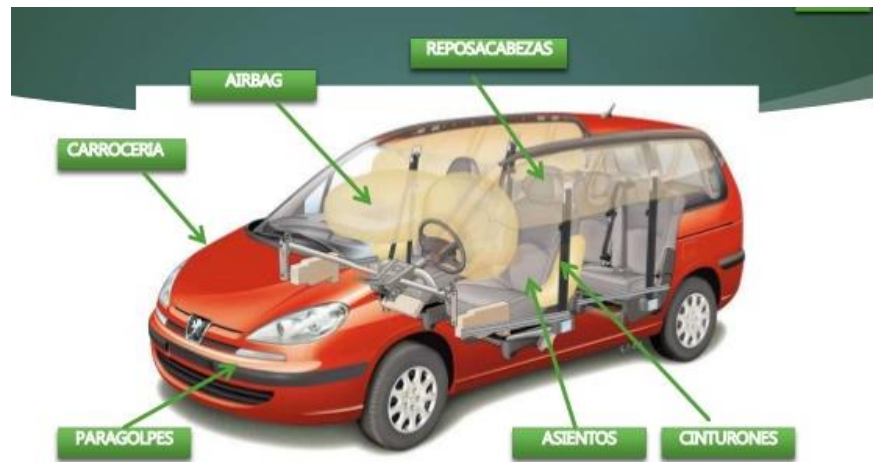


Figura 1.17: Elementos de seguridad pasiva
Fuente: (Alvarez, 2015)

1.3 Neumáticos

Al referirnos a un neumático, estamos hablando del elemento de unión entre un vehículo y la calzada de contacto. De este depende en gran medida la seguridad y adherencia que presenta un automotor sobre los diferentes tipos de calzada. Además “es el encargado de transmitir fuerzas de tracción, de frenado y laterales, y los datos físicos definen los límites de la carga dinámica de un vehículo”. (Manual de Bosh, 2003, pág. 6)

Un neumático cumple con ciertas características, las cuales lo hacen apropiado para su montaje en un vehículo determinado, entre las principales se tienen las siguientes:

- Deben responder adecuadamente a las fuerzas de frenado a las que un vehículo es sometido.
- Proporcionar seguridad en las diversas condiciones climáticas que se pueda rodar.
- Amortiguar las irregularidades de la calzada lo cual se ve reflejado en confort hacia los ocupantes.
- Transmitir la tracción y potencia que entrega el motor hacia las ruedas.
- Presentar estabilidad en curvas.

- Proporcionar grados aceptables de durabilidad y economía de acuerdo a la situación de manejo y exigencias del conductor.
- Proporcionar confort en condiciones de manejo y suavidad de marcha acorde al terreno para el que sean destinados.

1.3.1 Estructura del neumático.

Los neumáticos, en su mayoría se encuentran conformados de hilos de alambre o nylon muy delgado que sirven como refuerzos estructurales de la goma de caucho que los envuelven. De la orientación de la costura de estos hilos depende el tipo de neumático; teniendo los de tipo radial o de tipo diagonal. En la figura 1.18 se muestra la comparación entre un neumático radial y uno diagonal con relación al tejido de armadura o costura de los hilos.

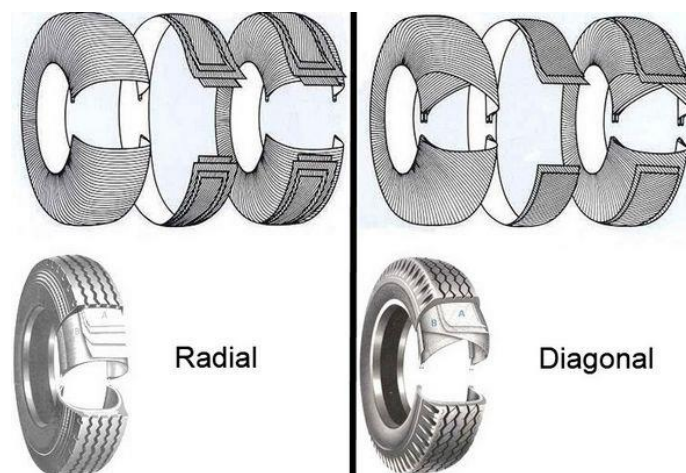


Figura 1.18: Neumático de tipo radial y diagonal
Fuente: (El neumático, s.f)

Los de tipo radial son los neumáticos mayormente utilizados en los vehículos turismo, mientras que los de tipo diagonal son utilizados en maquinaria agrícola, motocicletas y vehículos de carga pesada, a pesar que en la actualidad el uso en estos últimos es remplazado por los de tipo radial. Es por esta causa que conocer la estructura del neumático nos ayuda a

comprender la importancia de sus características y analizar que neumático responderá de mejor manera a nuestras condiciones de manejo y destino de uso del mismo. En la figura 1.19 se observa de manera detallada los elementos que conforman la estructura del neumático.



Figura 1.19: Estructura del neumático
Fuente: (EUROMASTER, 2016)

- Flanco: Llamado también pared lateral, representa el perfil del neumático, protegiendo la parte lateral del mismo y soportando las deformaciones en caminos agresivos.
- Hombro. Constituido de una goma de caucho gruesa, debido a golpes que se puede sufrir el neumático, además ayuda a disipar el calor generado.
- Talón: permite la fijación entre el neumático y el rin o llanta garantizando estanqueidad, el talón está conformado por alambres de acero trenzado soportando de esta manera las cargas.

- Revestimiento de goma interior. “Es la capa de goma más interna y sirve para retener el aire en el interior del neumático facilitando la estanqueidad” (EUROMASTER, 2016)
- Lonas de carcasa y de cima: Resisten la presión proporcionando al neumático flexibilidad y robustez, las lonas de carcasa son de fibras textiles mientras que las de cima son metálicas.
- Banda de rodadura: al igual que el hombro del neumático, la banda de rodadura se encuentra constituida por una goma gruesa y propiedades específicas para resistir golpes, variaciones de temperatura debido a diversas condiciones climáticas, esfuerzos longitudinales y transversales además de evacuar el agua en zonas de contacto, proporcionando adherencia al suelo

1.3.2 Dibujo de la banda de rodadura.

La importancia de dibujo de la banda de rodadura radica en la adherencia lateral y longitudinal del neumático, debido a los esfuerzos a los que son sometidos dependiendo de las condiciones de manejo y factores anteriormente analizados, la selección del diseño es basada en las prestaciones del vehículo.

Como principal característica de esta estructura se tiene el desgaste lento y regular bajo condiciones específicas de presión, carga, velocidad y calibración. Como lo menciona Adam Winter (2011) estas consideraciones nos garantizan un mejor manejo, corrigen propiedades de tracción en el dinamismo de los neumáticos proporcionando seguridad, confort y reduciendo el consumo de combustible. En la figura 1.20 se aprecia las partes por la que se encuentra constituida la banda de rodadura

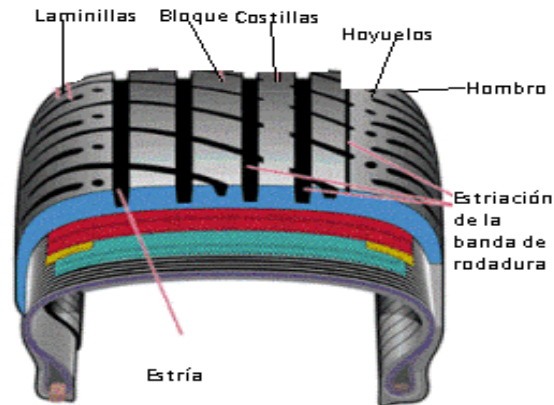


Figura 1.20: Partes de la banda de rodadura

Fuente: (Winter, 2011)

- **Laminillas:** Son hendiduras de hasta 1.5 mm, cumplen la función de evacuación del agua en superficies húmedas mejorando así la tracción.
- **Bloques:** Aseguran la tracción de los neumáticos.
- **Costillas:** zona de contacto y adherencia sobre la calzada.
- **Estrías.** Son ranuras a través del perímetro del neumático que aportan efectividad de frenado.
- **Hoyuelos:** Su función es la de disipar el calor del neumático.
- **Estriación:** elimina el agua bajo el neumático en superficies mojadas proporcionando estabilidad y adherencia.

1.3.2.1 Tipos de banda de rodadura.

En el mercado existen diversos tipos de banda de rodadura que se los selecciona de acuerdo a las condiciones físicas a las que el neumático va a estar expuesto, entre ellas destacan las propiedades y destino de uso, las velocidades máximas a las que se usan y la superficie sobre la cual se van a deslizar. En la figura 1.21 detalla los patrones de la banda de rodadura así como las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

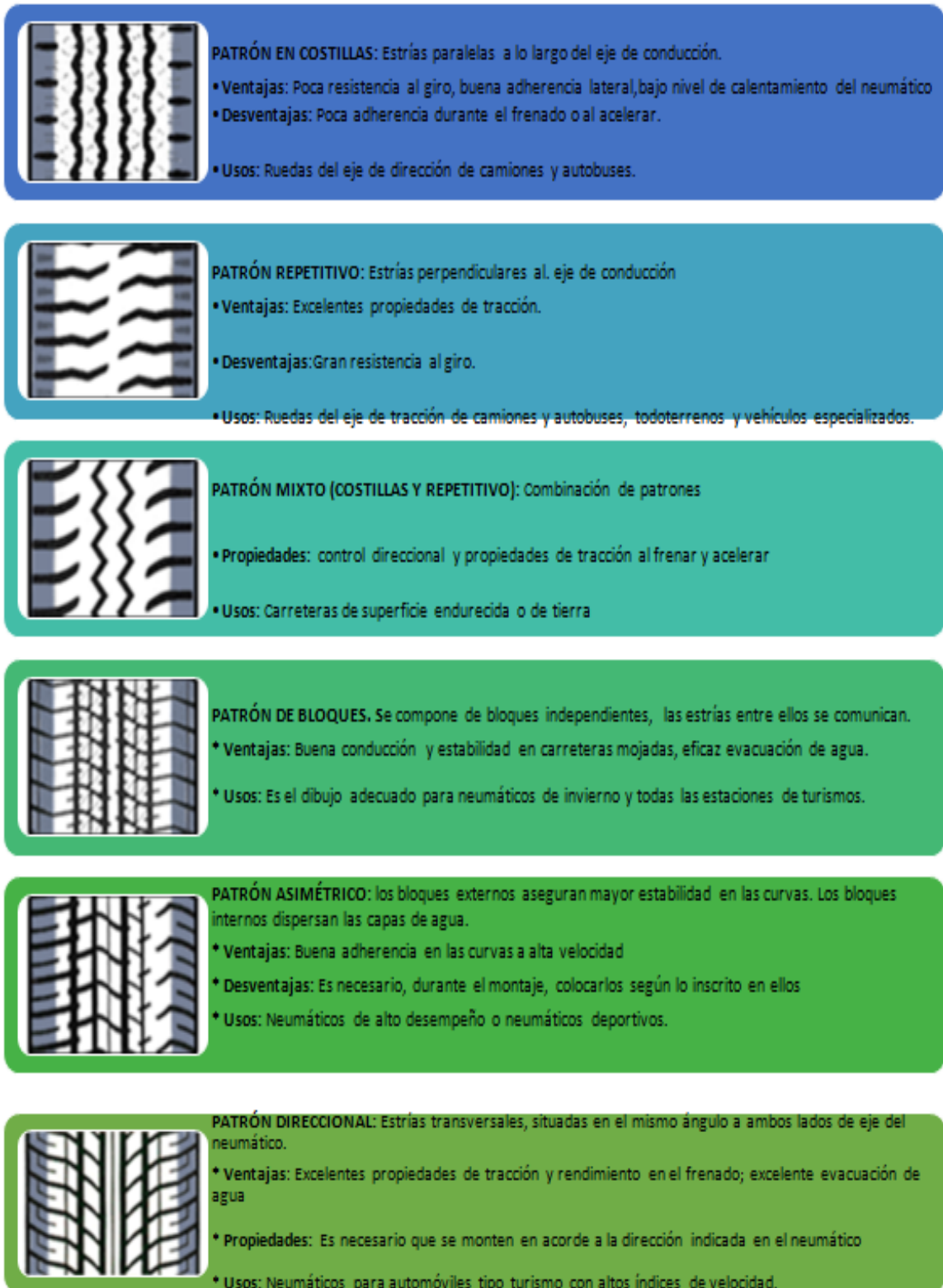


Figura 1.21: Descripción de los tipos de banda de rodadura
Fuente: (Winter, 2011)

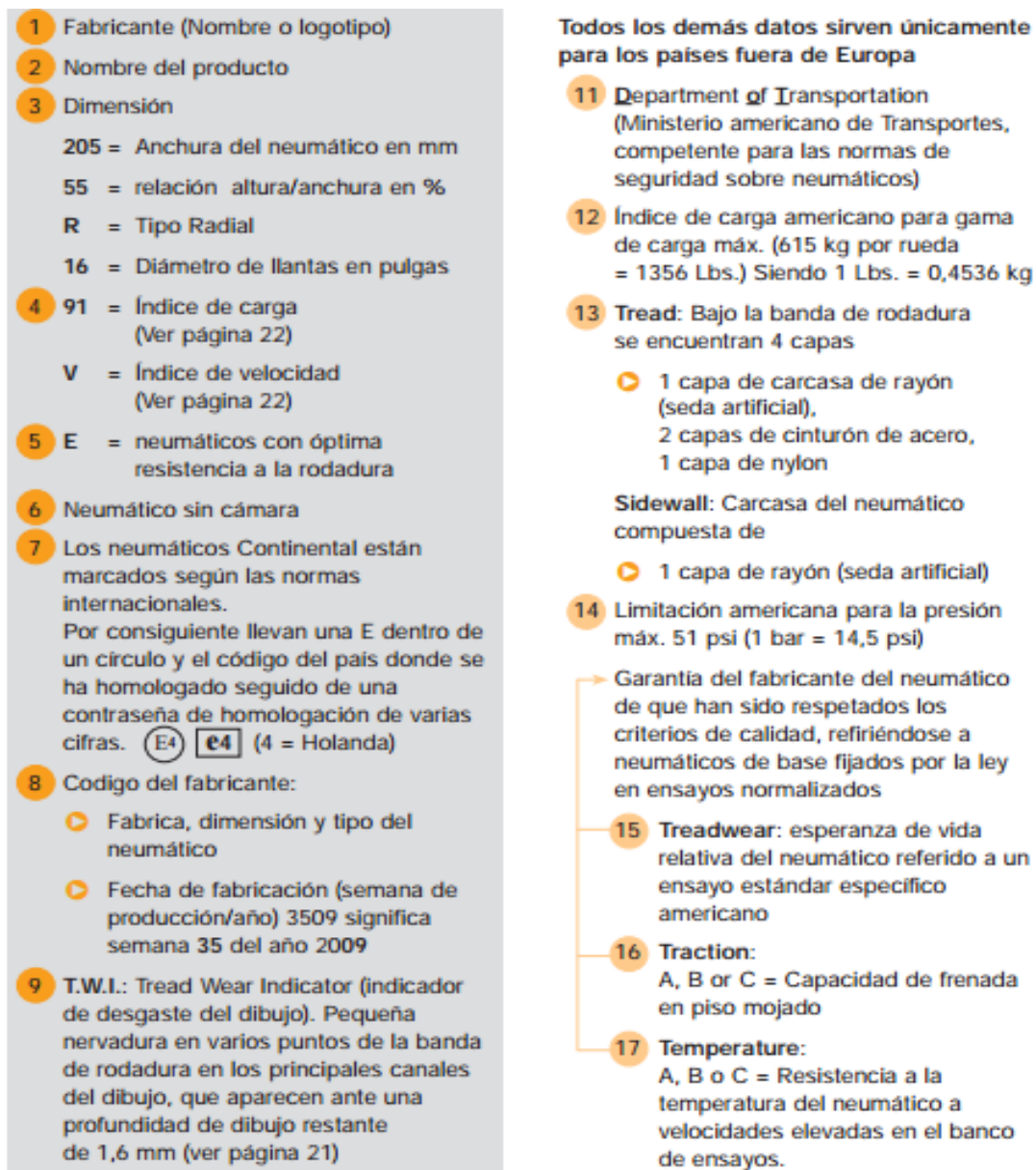


Figura 1.22: Significado del marcaje en un neumático

Fuente: (Continental Neumáticos, s.f)

Con relación a los códigos de velocidad se han estandarizado internacionalmente “normas y directrices legales que prescriben en qué condiciones tienen que montarse los diferentes tipos de neumáticos” (Manual de Bosh, 2003, pág. 6), para lo cual se toman en cuenta las tablas dispuestas con relación por ejemplo a la velocidad máxima con el significado de sus siglas, lo que se presenta en la Figura 1.23.

Velocidad máxima SI para neumáticos de turismos		Velocidad máxima SI para Neumáticos de camión	
P	150	K	110
Q	160	L	120
R	170	M	130
S	180	N	140
T	190	P	150
H	210	Q	160
V	240	R	170
W	270	S	180
Y	300	T	190
ZR	más de 240	H	210

Figura 1.23: Significado de siglas de velocidad máxima de neumáticos
Fuente: (Continental Neumáticos, s.f)

1.3.4 Fuerzas que intervienen sobre el neumático.

Existen varios tipos de fuerza que ejercen sobre un neumático, teniendo así la fuerza de tracción o tangencial positiva, la fuerza de guiado lateral, la fuerza de adherencia y la fuerza de frenado o tangencial negativa. Dichas fuerzas influyen directamente sobre el agarre o adherencia del neumático con relación a la calzada de contacto, es por esta razón que su análisis es indispensable para esta investigación.

1.3.4.1 Fuerza de tracción.

Es aquella que es producida por el motor y transmitida hacia las ruedas del vehículo con la finalidad de generar movimiento. “Actúa en sentido longitudinal sobre la superficie de la calzada y hace posible al conductor acelerar el automóvil mediante el pedal del acelerador”. (Manual de Bosh, 2003, pág. 10). Se tiene que por ejemplo para el vehículo Chevrolet Sail año 2012, la fuerza de tracción generada es de 121Nm a 2800 rpm, tal como se verifica en sus especificaciones técnicas.

1.3.4.2 Fuerza de guiado lateral.

Son aquellas responsables de conservar la direccionalidad del vehículo, la conforman aquellos factores externos que inciden en el cambio de dirección del vehículo y se dan por el

efecto del viento que incide transversalmente durante la marcha del automotor, los empujes laterales debidos a la inclinación de la calzada o también a la inclinación de las ruedas conocida como cámbor.

1.3.4.3 Ángulo de deriva.

El fenómeno del alejamiento de la trayectoria teórica de un neumático se lo denomina ángulo de deriva, el cual se lo obtiene de la diferencia entre el ángulo en que la llanta esta girada y la tangente a la trayectoria efectiva; lo cual tiene que ver con la deformación transversal que sufren los neumáticos cuando son expuestos a una fuerza lateral. En la figura 1.24 se observa el sentido de marcha del vehículo con relación al ángulo de deriva y punto de contacto del neumático.



Figura 1.24: Ángulo de deriva
Fuente: (Fuerza sobre neumático, s.f)

Este ángulo se encuentra relacionado con la capacidad que tiene el neumático para soportar los esfuerzos transversales. Cabe mencionar que este ángulo influye directamente sobre la dinámica vehicular en donde además se toman en cuenta aspectos como: posición del

centro de gravedad diseñado por el fabricante, repartición de pesos para cada uno de los ejes, rigidez del cuerpo portante, entre otros.

En la estabilidad del vehículo incide el ángulo de deriva, ya que al acercarse a cero, se obtiene un neumático extremadamente rígido, en sentido transversal; sin embargo esto perjudicaría completamente al confort del automotor y eliminaría aquella absorción de reacciones transversales que evitan tener fuertes sacudidas para los ocupantes

1.3.4.4 Fuerza normal.

Conocida también como fuerza de adherencia, es aquella que existe entre el neumático y la carretera, actúa sobre los neumáticos independientemente del movimiento del vehículo. Esta fuerza la determina el peso del vehículo, el peso ejercido sobre cada neumático y la inclinación de la calzada.

1.3.4.5 Fuerza de frenado.

Es aquella que actúa en dirección contraria al movimiento que ejerce la rueda del vehículo, va a depender directamente de la fuerza de adherencia y del coeficiente de rozamiento dado por la calzada de contacto y las características del neumático.

En la figura 1.25 se observa las fuerzas antes descritas con la dirección de cada una de ellas.



Figura 1.25: Fuerzas que actúan sobre los neumáticos
Fuente: (Aficionados a la mecánica, 2014)

1.3.5 Condiciones de adherencia.

Existen varios factores que inciden sobre la adherencia que experimentan los neumáticos, entre los cuales se citan los siguientes:

a) Presión de inflado

Ya que cuando esta disminuye se obtiene un neumático que tiende con mayor facilidad a deformarse en sentido transversal. En sentido contrario si se aumenta la presión de inflado se provoca que el neumático se constituya como un elemento rígido transversalmente, aumentando la posibilidad de deslizamientos laterales.

b) Carga vehicular

Por efecto del aumento de la fuerza normal provocada por el incremento de la carga sobre los neumáticos, se produce un aplastamiento de los mismos, que genera deformación y un mayor ángulo de deriva.

c) Velocidad

Cuando un vehículo ejerce su trayectoria en curva a alta velocidad, se incrementa la fuerza centrífuga en los neumáticos, teniendo como efecto un aumento del ángulo de deriva.

d) Ancho del neumático

Al instalar neumáticos compatibles con los recomendados por el fabricante, pero ligeramente más anchos, se reduce la deriva, al aumentar la amplitud de apoyo de la superficie de contacto de la banda de rodadura con relación a la calzada.

e) Superficie de contacto

Dependiendo de la calzada en la cual circula el vehículo se generan coeficientes de adherencia; los mismos que se encuentran directamente relacionados con las propiedades de contacto como: labrado, peso del vehículo, nivel de humedad de la calzada, y sumados a las condiciones antes citadas.

1.3.6 Coeficientes de adherencia.

Los coeficientes de adherencia para las diferentes superficies de rodadura son presentados en tablas luego de pruebas realizadas bajo condiciones determinadas, la tabla 1.1 muestra los valores mínimos y máximos de acuerdo a diferentes situaciones de calzada, para ser comparados y analizados con los valores que se obtengan de las diferentes vías que son parte de la red vial del Ecuador en este estudio. Además en la tabla 1.1 se visualiza la velocidad a la que se ha efectuado el estudio para generar los valores de adherencia, tomando en cuenta que éstos coinciden con la velocidad adoptada para la realización de las pruebas en las vías ecuatorianas elegidas para este fin.

Tabla 1.1: Coeficientes de adherencia establecidos

VALORES DE LOS FACTORES DE ROZAMIENTO PARA NEUMÁTICOS DE GOMA								
Descripción de la superficie	SECA				HÚMEDA			
Velocidad:	Menos de 50 km/h.		Más de 50 km/h.		Menos de 50 km/h.		Más de 50 km/h.	
	De	a	De	a	De	a	De	a
Asfalto o alquitrán								
Nuevo, liso	0.80	1.20	0.65	1.00	0.50	0.80	0.45	0.75
Usado	0.60	0.80	0.55	0.70	0.45	0.70	0.40	0.65
Pulimentado por el tráfico	0.55	0.75	0.45	0.65	0.45	0.65	0.40	0.60
Con exceso de alquitrán	0.50	0.60	0.35	0.60	0.30	0.60	0.25	0.55
Adoquín								
Nuevo, liso	0.75	0.95	0.60	0.85	0.50	0.75	0.45	0.70
Pulimentado por el tráfico	0.60	0.80	0.55	0.75	0.40	0.70	0.40	0.60
Piedra compacta								
Nuevo, liso	0.75	1.00	0.70	0.90	0.65	0.90	0.60	0.85
Pulimentado por el tráfico	0.50	0.70	0.45	0.65	0.30	0.50	0.25	0.50
Hielo								
Liso	0.10	0.25	0.07	0.20	0.05	0.10	0.05	0.10
Nieve								
Compactada	0.30	0.55	0.35	0.55	0.30	0.60	0.30	0.60
Suelta	0.10	0.25	0.10	0.20	0.30	0.60	0.30	0.60

Fuente: (L. Isasi, J.A., Calvo, B. Pérez, 2015)

Es necesario analizar previamente esta tabla como punto de partida para un posterior análisis de resultados, en donde se comprueba que se obtiene una mejor adherencia en la superficie asfáltica seca y que de acuerdo a las condiciones de las vías, el coeficiente va disminuyendo, es decir, el valor será directamente proporcional a la adherencia del suelo.

Cabe mencionar que existen una serie de factores físicos como: estado de los neumáticos, estado de la calzada, carga vehicular, así también factores químicos que se refieren a la composición del neumático, estructura de la calzada y climáticos como la velocidad del aire, la temperatura del ambiente, nivel de humedad, entre otros. Además de las condiciones del vehículo que deben ser tomadas en cuenta para pruebas de adherencia según normas internacionales que garanticen la fiabilidad de los resultados.

1.3.7 Resistencia a la rodadura.

Se refiere a aquella fuerza de sentido negativo con relación a la tracción del vehículo, que se opone al movimiento por causa de la plasticidad de los neumáticos. “A causa del aplastamiento que se produce en la huella durante la rotación de la rueda, la cintura, la banda de rodadura y los flancos se hallan sometidos a deformaciones que absorben ciertos trabajos por histéresis. Superada la zona de contacto con el suelo las partes friccionantes vuelven a las condiciones iniciales pero no pueden restituir todo el trabajo de deformación, una parte del cual se pierde en forma de calor.”(Diccionario Motor Giga, s.f).

Hay varios factores que inciden sobre la resistencia a la rodadura, las cuales tienen que ver con sus dimensiones, estructura, presión de inflado, tipo de calzada y velocidad a la que se encuentran sometidas; por tal motivo se debe tomar en cuenta las especificaciones técnicas sobre la velocidad máxima recomendada por el fabricante. Cabe recalcar que la resistencia a la rodadura se incrementa de acuerdo a la velocidad de giro; en donde, para neumáticos normales, se ve su efecto en torno a 100 km/h.

De forma sencilla la resistencia a la rodadura se refiere al consumo de energía provocado a causa de la temperatura de los neumáticos por efecto de su aplastamiento, peso y velocidad que inciden sobre el mismo. En la figura 1.26 se observa la fuerza de dirección opuesta que actúa sobre el neumático durante su marcha.



Figura 1.26: Resistencia a la rodadura
Fuente: (Fuerzas resistencia a la rodadura, 2014)

Los neumáticos consumen energía de acuerdo a la temperatura que alcanzan, la cual llega hasta los 80 grados centígrados si se los somete a rodar a baja presión. Esta resistencia a la rodadura es reducida modificando la constitución de la goma para lo cual se introduce componentes como la sílice, generando neumáticos más silenciosos, menos contaminantes, que optimizan energía al evitar que se transforme en pérdida por calor. En la tabla 1.2 se observan los valores de resistencia a la rodadura para las diferentes condiciones de calzada; lo cual se traduce en la resistencia a la tracción en el momento de circular por una determinada superficie, notando que la menor resistencia se obtiene en la carretera en buen estado con valores menores, mientras que en el suelo suelto la superficie de contacto con el neumático es mayor, ya que se genera rozamiento incluso en zonas adyacentes a la banda de rodadura, por ende tendrá una mayor resistencia al giro en sentido de dirección.

Tabla 1.2: Coeficientes de resistencia a la rodadura

Naturaleza y Estado del Suelo	Coefficiente de Resistencia a la Rodadura (k) ¹
Carretera en buen estado	0,02 a 0,04
Camino de tierra afirmado	0,03 a 0,05
Camino de tierra	0,04 a 0,06
Suelo baldío	0,06 a 0,10

Fuente: (L. Marques,2008)

1.3.8 Normas de los neumáticos con relación a la profundidad del dibujo.

Organismos Internacionales tales como Federal Motor Safety Standard, en colaboración con los fabricantes de neumáticos tales como Michelin, Dunlop, Continental, entre otros; han estandarizado que la profundidad del dibujo del neumático debe poseer como mínimo 1,6 milímetros de altura para considerarla como aceptable; sin embargo hay que destacar que los mismos organismos alertan que mientras menor es esta profundidad, se pierden los niveles de eficiencia del neumático con relación a la distancia de frenado tal como se muestra en la figura 1.27.

De igual manera en el Ecuador, según Vladimir Ibarra, técnico de revisión de Corpaire, comenta en su entrevista para el diario el comercio efectuada el 30 de octubre del 2009 que “en el chequeo de los autos se exige que el labrado o dibujo de los cauchos de los neumáticos sea de 1,6 milímetros para autos pequeños y 2 milímetros para vehículos pesados” (Diario El Comercio, 2009)

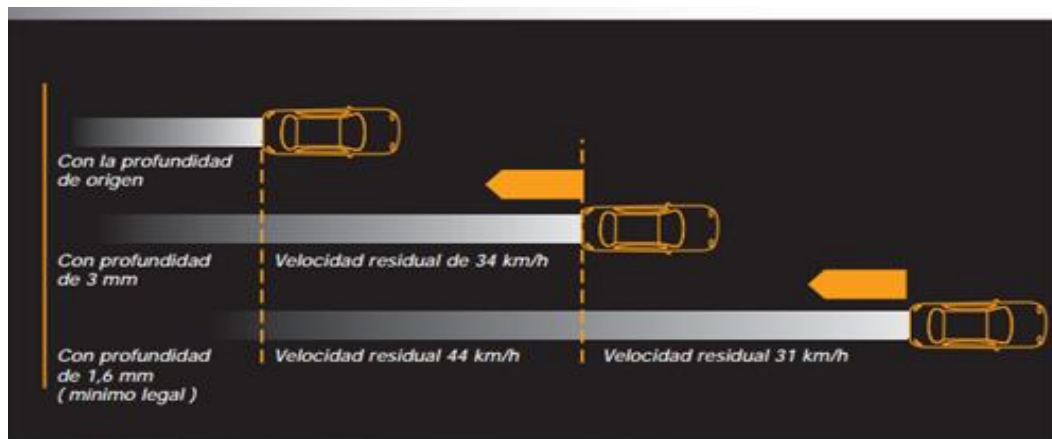


Figura 1.27: Distancia de frenado vs la profundidad del labrado
Fuente: (Continental Neumáticos, s.f)

CAPÍTULO 2

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

El presente capítulo está enfocado al estudio y análisis de las alternativas necesarias para la aplicación de las pruebas de adherencia correspondientes, mediante lo cual se pretende determinar específicamente el vehículo que va a ser utilizado para tal investigación. Además, partiendo de que los neumáticos son uno de los elementos principales necesarios para el cálculo requerido de adherencia, se necesita de igual manera elegir el que cumple con requerimientos mínimos necesarios de seguridad, labrado, etc.

Otro factor importante a tomar en cuenta es la calzada en la cual se va a realizar dichas pruebas, mediante la aplicación de parámetros de normas internacionales que garantizan la obtención de datos precisos generados a partir de mediciones reales; que para el caso de las vías que posee el territorio Ecuatoriano, no son en su mayoría ideales.

2.1 Selección del vehículo

Esta selección tiene una gran incidencia dentro del estudio efectuado, para lo que se ha realizado un análisis basado en datos reales obtenidos a partir de estadísticas efectuadas y publicadas oficialmente por la Asociación Ecuatoriana De Empresas Automotrices (AEADE), de igual manera se toma en consideración factores propios culturales, sociales y habituales de nuestro medio; que de una u otra manera, influyen directamente en la selección entre las diversas alternativas de vehículo.

Partiendo de que en el mercado Ecuatoriano existen ciertas categorías de vehículos que permiten llevar a cabo la movilización de pasajeros; se las pone en consideración:

- Automóviles
- Camionetas
- Suv's
- Camiones
- Van's
- Buses

En la figura 2.1 que se muestra a continuación, se observa con claridad que la categoría de vehículos más vendidos durante el año 2014 corresponde a los automóviles; con una participación en el mercado de aproximadamente el 37% superando ampliamente a las camionetas con el 27 % y Suv's con el 25% que son los inmediatos seguidores.

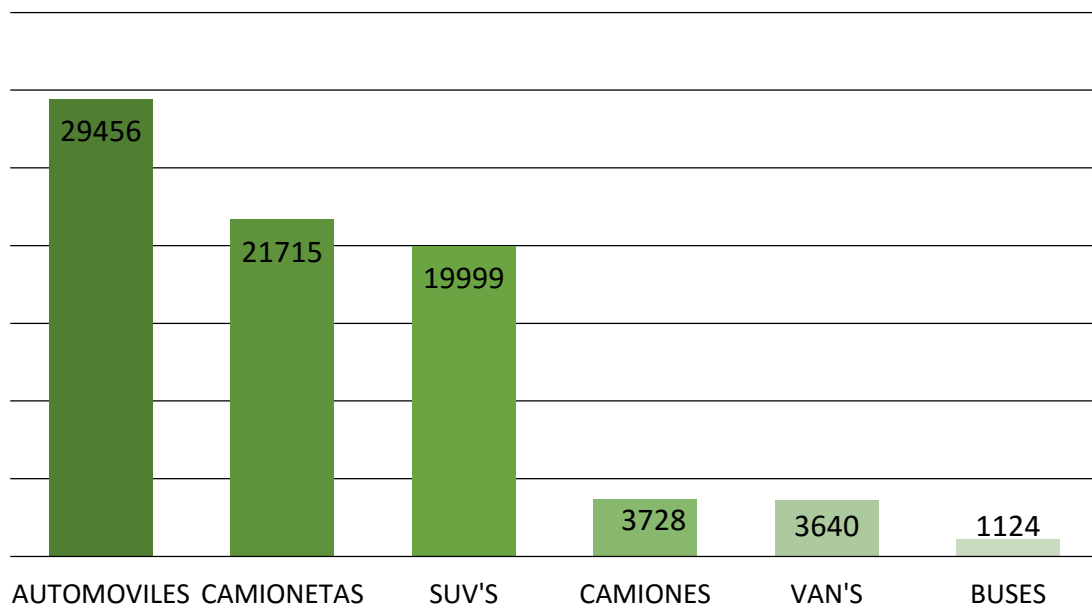


Figura 2.1: Unidades vendidas por categoría de vehículo, año 2014

Fuente: Anuario AEADE 2014

Analizando esta tendencia de compra, se deduce que los automóviles tienen varias ventajas que se han visto reflejadas en datos comparables frente a las demás categorías; así se tienen las siguientes:

- El poder adquisitivo de las personas para efectuar la compra de un vehículo es uno de los factores relevantes al momento de decidir que categoría o tipo automotor adquirir.
- La utilidad y destino para el que se compra un determinado vehículo, que para este caso es el de satisfacer la necesidad de movilizarse y de trabajar.

2.1.1 Selección del modelo del automóvil.

Se expone en la figura 2.2 los modelos de automóviles más vendidos según datos de la AEDE en su anuario 2014 para una valoración más precisa.

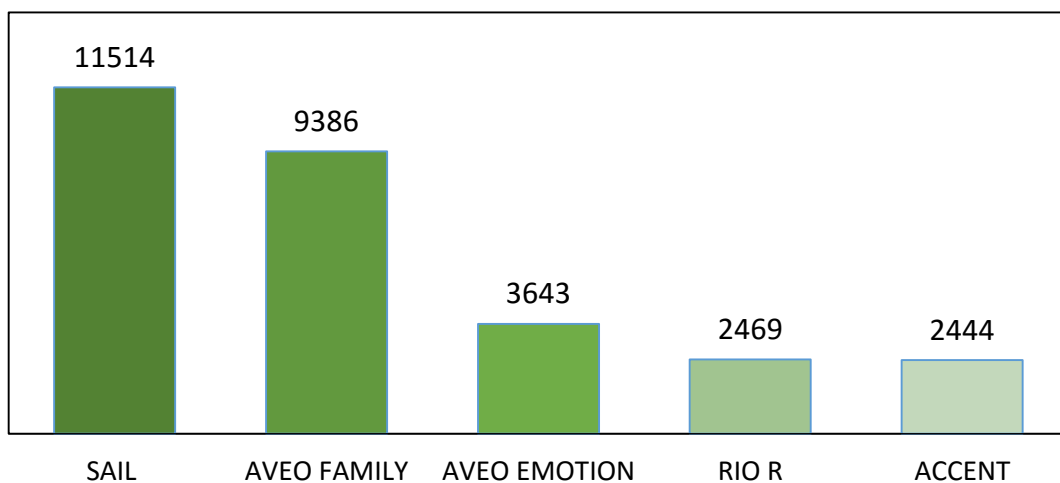


Figura 2.2: Unidades vendidas por modelo de automóvil
Fuente: Anuario AEADE 2014

En la figura 2.2 se puede verificar que los tres modelos de automóviles más vendidos en Ecuador en el año 2014 corresponden a:

- El automóvil más vendido es el Chevrolet Sail con 11514 unidades.
- En segundo lugar de venta se encuentra el Chevrolet Aveo Family con 9386 unidades.
- El tercer puntuado en número de unidades vendidas es el Chevrolet Aveo Emotion, con 3643 automóviles.

Los factores que inciden para esta tendencia son los siguientes:

- Utilización
- Mantenimiento
- Repuestos
- Recordación y confianza de la marca.

Los factores antes mencionados se explican y describen a continuación con el objetivo de entender exactamente a que se refiere cada uno de los términos antes nombrados y efectuar una ponderación real de acuerdo a los valores resultantes del análisis.

2.1.1.1 Utilización.

Se define la utilización del vehículo en cuatro conceptos importantes:

- Se refiere a satisfacer la necesidad de movilización de las personas y/o familias que residen en Ecuador.
- A la preferencia del mercado frente a una marca y modelo específico.
- Se relaciona con la búsqueda de un vehículo destinado al trabajo urbano.
- Tiene que ver con el equipamiento que se obtiene con relación a su costo de adquisición.

2.1.1.2 Mantenimiento.

La apreciación de este factor se lo realiza con respecto a la cantidad de talleres autorizados que efectúan el diagnóstico y mantenimiento de las marcas más vendidas en el año mencionado anteriormente.

2.1.1.3 Repuestos.

Se realiza la calificación mediante la cantidad de distribuidores que proporcionan los repuestos sean estos originales o genéricos para los vehículos analizados; así como la facilidad para encontrarlos en el mercado Ecuatoriano y/o importarlos por medio de las casas comerciales.

Es así que mediante ponderaciones realizadas a cada uno de los factores escogidos y analizados de los automóviles, se toma como objeto de estudio al que obtiene la mejor calificación; determinando alternativas de equivalencias que van desde 3 como mejor puntuado hasta 1.

En la tabla 2.1 se muestran los resultados obtenidos; esto, luego de revisar información publicada por la AEADE en su anuario del año 2014. Escogiendo de esta forma el mejor puntuado (total) para efectuar las pruebas de campo necesarias para llevar a cabo esta investigación.

Tabla 2.3: Ponderación de vehículos según factores analizados

EQUIVALENCIA	PARÁMETRO		
	UTILIZACIÓN	MANTENIMIENTO	REPUESTOS
3	Primer vehículo más vendido	Primero con número de talleres autorizados	Primero en disponibilidad de repuestos originales y alternos
2	Segundo vehículo más vendido	Segundo con número de talleres autorizados	Segundo en disponibilidad de repuestos originales y alternos
1	Tercer vehículo más vendido	Primero con número de talleres autorizados	Tercero en disponibilidad de repuestos originales y alternos

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

Se observa en la tabla 2.1 que el vehículo Chevrolet Sail, con relación al parámetro de utilización, tiene una asignación de tres puntos; debido a que es el mayormente escogido por las personas para satisfacer su necesidad de movilidad, considerarse el grado de equipamiento que posee con relación a sus competidores y su costo de adquisición.

Tomando en cuenta que el número de concesionarios de Kia y Hyundai para el servicio de post-venta es menor al que posee Chevrolet se les han asignado una puntuación de dos puntos a cada uno.

En relación a los repuestos necesarios para efectuar los mantenimientos preventivos y/o correctivos; Hyundai posee una ponderación de tres puntos debido a su amplio stock de repuestos mecánicos y de colisión.

De esta manera considerando las puntuaciones de cada uno de los modelos de automóviles más vendidos en nuestro medio el Chevrolet Sail ha obtenido ocho de los nueve puntos posibles; por lo cual, es el vehículo escogido para realizar las pruebas y análisis de esta investigación.

2.2 Selección del neumático

Para efectuar la selección del neumático se ponen a consideración varios puntos, entre los cuales se presentan a continuación:

- Neumático con el que viene equipado de fábrica el automóvil.
- Tendencia del mercado Ecuatoriano.
- Incorporación de componentes nacionales apoyados en el criterio del cambio de la Matriz Productiva propuesta por el Gobierno Ecuatoriano.
- Diseño de banda de rodadura para mejorar la adherencia en condiciones acorde al cambio climático repentino que se suscita en el Ecuador.

Partiendo de lo antes mencionado, es necesario tomar como indicador base el neumático con el que viene equipado el vehículo antes seleccionado; para lo cual se verifica lo siguiente:

- Los automóviles Chevrolet Sail vienen enlantados de fábrica con neumáticos marca Continental, de la gama CONTIPOWER CONTACT.
- La medida recomendada e incorporada por el fabricante en este automóvil, es 185/60R14.

Se destaca que éste neumático es fabricado en el Ecuador, en la única planta Ecuatoriana de producción de ERCO TYRES localizada en la ciudad de Cuenca. Se lo realiza cumpliendo con normas estrictas de calidad, seguridad y garantía, tal como se encuentra escrito en la página oficial de la planta antes mencionada. Lo que está acorde con la solicitud el Gobierno Nacional de apoyar y promover a los productores de componentes automotrices de origen Ecuatoriano.

Las características con las que se vende y promociona el neumático antes descrito han sido recopiladas de catálogos de la marca y se muestran las más relevantes a continuación:

- Diseño innovador de surcos para mejorar la adherencia en superficies mojadas al lograr un mejor desalojo de agua.
- Banda de rodamiento basada en el concepto de reducir la resistencia y ruido; provocando una disminución del consumo de combustible y aumentando su durabilidad.
- Aumento de seguridad al incorporar indicador de desgaste (TWI) que permite verificar si se requiere cambiarlo.

En la figura 2.3 se verifica la apariencia del neumático Continental CONTIPOWER CONTACT 185/60R14.



Figura 2.3: Neumático Continental
Fuente: (Continental, 2013)

Fundamentados los puntos descritos anteriormente se determina que, al ser el neumático recomendado por la marca, y el que equipa a este modelo de automóvil, representa al menos el 90% del total de vehículos que circulan por la red vial del Ecuador; lo que direcciona a la selección del neumático Continental como el indicado para efectuar las pruebas de adherencia sobre las diferentes superficies de contacto que poseen las vías del Ecuador.

2.3 Selección de calzadas

Para la selección de calzadas, primeramente se explica a que se refiere el término “Red Vial del Ecuador”, para así comprender como ésta se encuentra dividida y constituida; tema que se presenta a continuación.

El término Red vial Estatal, se refiere al conjunto de vías que son de propiedad pública, las cuales deben cumplir con las normativas vigentes del estado, que para el caso de estudio pertenecen al Ecuador. Estos caminos o vías se las divide en primarias y secundarias, las

cuales forman la red vial estatal, a las que se le suman las redes terciarias y los caminos vecinales que constituyen la red provincial y cantonal.

2.3.1 Vías primarias y secundarias.

Son aquellos caminos que poseen la mayor cantidad de tráfico automotor, se encargan de intercomunicar a las capitales de las provincias del país, cabeceras cantonales, pasos o puertos de frontera internacional y todos aquellos sitios de actividad económica representativa. Poseen una superficie de rodadura asfaltada según consta en la Normativa Jurídica vigente que se tiene en el Ecuador.

Las vías primarias o también conocidas como corredores arteriales, se conectan estratégicamente, con el afán de recibir la circulación vehicular de las vías secundarias o llamadas colectoras.

Según los datos publicados por el Ministerio de Obras Públicas, en el Ecuador hay 12 vías primarias y 43 vías secundarias que representan el 19,8% de la longitud total de la Red Vial Estatal.

2.3.2 Vías terciarias y caminos vecinales.

Las vías terciarias son aquellas que cumplen la función de conectar las cabeceras de las parroquias con los caminos de la Red vial Estatal y con los caminos vecinales, se caracterizan por poseer una circulación vehicular reducida. Su administración se encuentra desarrollada por medio de los Consejos Provinciales; siendo por lo general adoquinadas.

Los caminos vecinales son aquellos que alimentan de un reducido flujo vehicular a las vías terciarias, por lo general son caminos empedrados o de tierra que no llegan al nivel de calidad que pueden ofrecer los asfaltados; se encuentran a cargo de los Consejos Municipales. Las

vías terciarias constituyen el 51,6% del total de longitud de la Red Vial del Ecuador; mientras que los caminos vecinales representan el 28,6% de las vías que posee el país.

Como se detalla en la figura 2.4 el porcentaje más bajo con relación a la longitud de la Red Vial, corresponde a las vías primarias y secundarias; mientras que las vías terciarias poseen el mayor porcentaje de participación en el país.

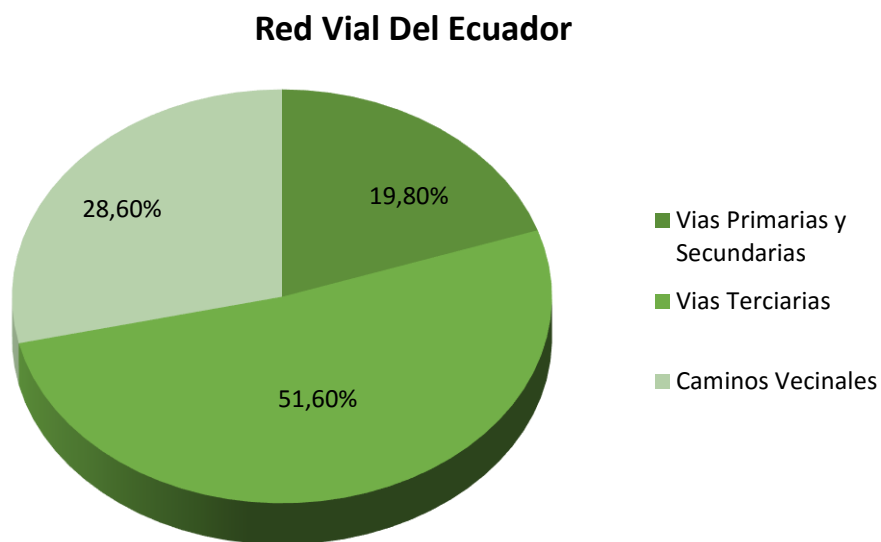


Figura 2.4: Clasificación de la red vial estatal
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

Una vez identificados los tipos de vías que posee el Ecuador, se procede a tomar una muestra de cada una de ellas, para efectuar el estudio y análisis del coeficiente de adherencia propuesto como tema de investigación.

Tomando en cuenta el contenido de la Norma Nacional, INEN 034; e Internacional, ECE 13-H, con el afán de identificar los parámetros y requerimientos con los que debe cumplir la calzada para efectuar las pruebas de estudio pertinentes, se desarrolla de manera seguida un resumen de los puntos relevantes, de cada una de ellas, para esta selección.

2.3.3 Norma INEN 034.

De acuerdo a lo estipulado en esta Norma, se otorga a las personas el derecho a tener a su disposición y elección bienes y servicios que cumplan con parámetros establecidos de calidad sin ningún tipo de tergiversación o engaño por parte de sus anunciantes.

Teniendo como resolución del 30 de Noviembre del 2010 y oficialización del 30 de diciembre del 2010, la revisión de la Normativa NTE 034 con relación a “ELEMENTOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES”; cuya tercera revisión fue realizada el 22 de Mayo del 2014, efectuada con la participación del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Ministerio Coordinador de la Producción, Empleo y competitividad, Ministerio de Industrias y Productividad, la Agencia Nacional de Tránsito, y otras instituciones del sector público y privado, se pone en ejecución con carácter obligatorio el proyecto llamado “VEHÍCULOS MÁS SEGUROS”, aplicado a todo automotor que va a ingresar al parque automotriz Ecuatoriano, que tiene como objetivo lo siguiente:

- Garantizar la seguridad de los usuarios
- Disminuir los niveles de mortalidad debido a accidentes de tránsito
- Disminuir las fallas mecánicas de los vehículos que circulan por la Red Vial del Ecuador
- Establecer los requisitos de seguridad mínimos que debe poseer un vehículo.
- Fomentar mejores prácticas para el conductor, pasajero y peatón.

2.3.4 Norma ECE-13H.

Es una norma internacional que se encuentra referenciada como documento base en la Norma INEN 034; por tal motivo es imprescindible su estudio, el cual se presenta a continuación tomando en cuenta los parámetros de interés para esta investigación.

Mediante la Primera Jornada Iberoamericana de Seguridad Vial, realizada en el Ecuador, específicamente en la ciudad de Quito el 16 de Julio del 2014, se dialoga y se pone en ejecución el proyecto mediante la implementación de normas técnicas obligatorias sugeridas por la ONU para mejorar la seguridad y protección de los tripulantes de los vehículos; es así que se enfatizan cinco puntos importantes y que constituyen el objetivo del proyecto mencionado anteriormente.

1. La gestión de la seguridad, en donde se promueve la investigación e incorporación de procedimientos y/o técnicas que faciliten el análisis y control de las consideraciones que se hallen pertinentes con relación al afán de garantizar la seguridad vial.
2. Vías de tránsito y movilidad más segura, que se refiere a la planificación estratégica que se lleva a cabo para mejorar las condiciones de las vías, así como la aplicación de elementos tecnológicos que ayuden a controlar y/o vigilar que se cumpla con lo estipulado en la Norma citada para este fin, que es la ECE-13H.
3. Vehículos más seguros, que incorpora la aplicación de sistemas electrónicos para los automotores, que tienen la finalidad de proteger, mediante la seguridad activa y pasiva, a los ocupantes de los vehículos así como a los transeúntes.
4. Usuarios de vías de tránsito más seguros, con el fin de precautelar a todas las personas que se encuentren circulando por las aceras, se emite este parámetro; en donde se pretende establecer las responsabilidades del transeúnte.
5. Respuesta tras los accidentes, en donde se valora y evalúa la agilidad, conocimiento, intercomunicación y gestión de los entes encargados de esta función.

En el Foro Mundial de las Naciones Unidas efectuado con el afán de socializar y armonizar las reglamentaciones para los vehículos que ingresen al país; el Ecuador a través del Sub-Secretario de Transporte Terrestre, informó la adopción de Normativas ECE para

sustentar los cinco puntos nombrados anteriormente. De esta manera se reduciría el índice de accidentes de tránsito reportados en el país, así como la mortalidad registrada a causa de la falta de incorporación de elementos electrónicos de seguridad activa y pasiva, los cuales hoy son obligatorios para la comercialización de los vehículos nuevos que se vendan en el Ecuador.

Durante la segunda revisión del reglamento “Elementos mínimos de seguridad para vehículos automotores”, se establece que de no encontrarse en la Norma INEN 034 algún parámetro necesario, para efectuar alguna homologación, se tomará como referencia los documentos de la Norma Internacional. Esto debido a que se pone en consideración la trayectoria de los organismos Internacionales que han establecido parámetros fiables y comprobados que mejoran significativamente las condiciones viales y de seguridad automovilística.

Por los motivos antes nombrados, se adopta para el desarrollo de la investigación la Norma Europea ECE-13H en lo que corresponde al inciso referente a “Disposiciones uniformes relativas a la aprobación de los vehículos de pasajeros”, con relación a las pruebas y procedimientos de análisis del frenado y adherencia.

Dentro de esta norma se encuentran las pruebas realizadas por el Centro de Investigadores de Transporte a un grupo de vehículos para generar una evaluación real del desempeño del sistema de frenos, así como de la adherencia de los neumáticos con relación a la superficie de contacto. Tomando en cuenta requerimientos que tendrá el automotor para garantizar la fiabilidad del estudio, tales como:

- Las pruebas no son aplicables para vehículos que no superen los 25 km/h.
- No es aplicable para vehículos preparados para personas con capacidades diferentes.

- Parámetros de peso del vehículo
- Medición de presión de llenado de los neumáticos
- Posición del selector de marcha del vehículo.
- Apertura del automotor.
- Medición de la temperatura ambiente
- Medición de la velocidad del viento

De igual forma se establecen parámetros con relación a las dimensiones de las rutas o caminos, los cuales deben cumplir con las siguientes condiciones:

- La vía elegida para efectuar las pruebas de adherencia tendrá al menos una longitud de 3,5 km.
- El ancho de la ruta poseerá como mínimo 3,5 metros.
- El recorrido será lineal, sin curvas y/o montículos.
- La ruta tendrá que estar totalmente nivelada, caso contrario, la máxima inclinación corresponderá al 1% con relación al largo de la vía y el 2% al ancho de la misma.

Tomando en cuenta la normalización estipulada en la ECE-13H, con relación a la selección de las rutas de pruebas y conociendo que en el Ecuador la Red vial tiene vías asfaltadas, adoquinadas y empedradas (principalmente), se han buscado, encontrado y elegido las siguientes, basados en el cumplimiento de los requerimientos citados:

La ruta seleccionada con superficie asfáltica para las pruebas pertinentes en esta investigación ha sido la Vía Pisque - Puellaro ubicada en el Cantón Pedro Moncayo en la Provincia de Pichincha situada aproximadamente a 2800 metros sobre el nivel del mar. En la tabla 2.2 se especifica las dimensiones de la vía mencionada.

Tabla 2.4: Dimensiones de la vía con superficie asfáltica

PARÁMETRO	VALOR
Distancia aproximada de la vía de prueba	1810 metros
Ancho aproximado de la vía	7.20 metros
Inclinación longitudinal de la vía	0.8%
Inclinación transversal de la vía	0.6%

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

En la figura 2.5 se observa la ruta seleccionada en la vía Pisque – Puellaro, para las pruebas de frenado, así como la diferencia en la altitud entre el punto A y el punto B, de esta manera se cumple con la Norma ya que la inclinación longitudinal no supera el 1% de la distancia total.

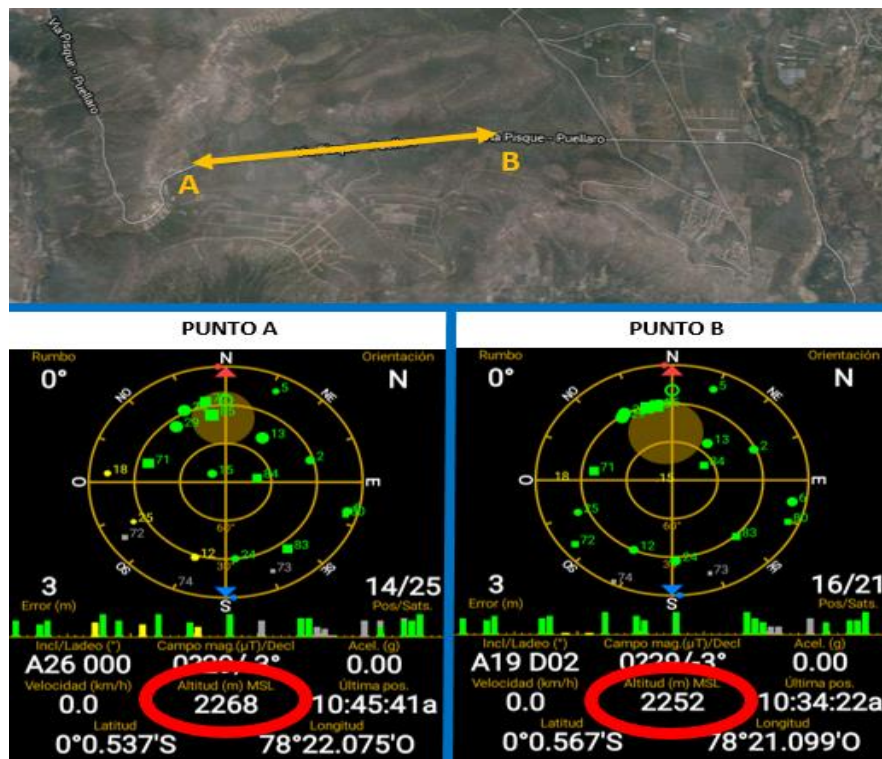


Figura 2.5: Trazado de la vía de prueba con superficie asfáltica

Fuente: Google Earth.

La figura 2.6 presenta la vía Asfaltada como parte de esta investigación, se aprecia también que cuenta con las condiciones necesarias para las pruebas de ruta y con el espacio suficiente como medida de seguridad.



Figura 2.6: Vía con superficie asfáltica
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

La prueba de ruta en superficie adoquinada será en el desvío hacia el sector de la Hacienda Tanda; Vía Guayllabamba –Tabacundo localizada en el cantón Pedro Moncayo de la Provincia de Pichincha, se registró una altitud aproximada de 2260 metros. Las características de la vía se las registra en la tabla 2.3.

Tabla 2.5: Dimensiones de la vía con superficie adoquinada

PARÁMETRO	VALOR
Distancia aproximada de la vía de prueba	850 metros
Ancho aproximado de la vía	6.20 metros
Inclinación longitudinal de la vía	1%
Inclinación transversal de la vía	0.8%

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

Con la ayuda de un GPS se ubican los puntos A y B, determinando de esta manera su altitud, tal como se indica en la figura 2.7, lo cual se proyecta en el mapa de la zona teniendo una idea clara de la geografía de la zona seleccionada.

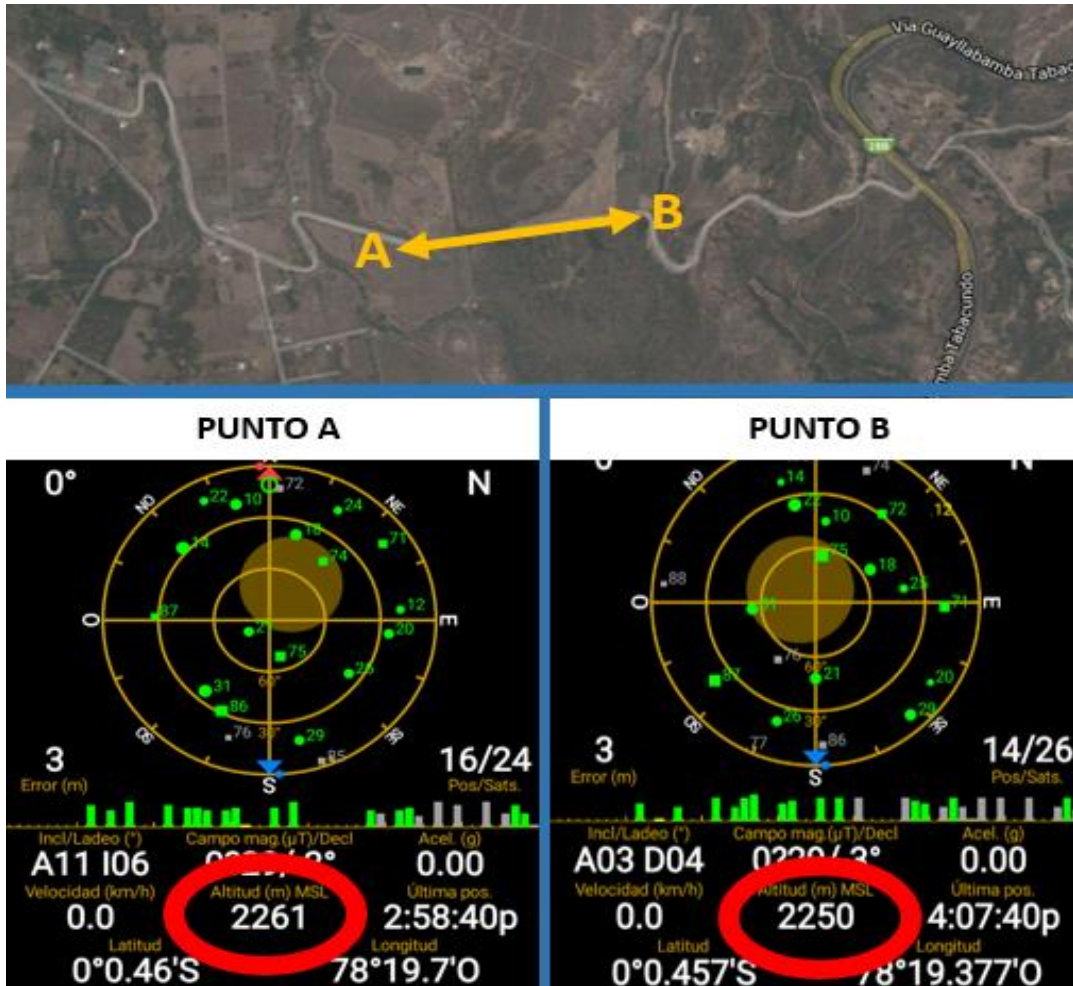


Figura 2.7: Trazado de la vía de prueba con superficie adoquinada
Fuente: Google Earth.

Es importante delimitar el trayecto en el cual se van a realizar los diferentes análisis y pruebas para determinar el coeficiente de frenado, también se debe considerar que las condiciones climáticas deben ser óptimas así como la calzada debe estar totalmente seca tal como se aprecia en la figura 2.8.



Figura 2.8: Vía con superficie adoquinada
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

En el trazado de la vía Antonio Tandazo en el Cantón Rumiñahui, de la Provincia De Pichincha se ha determinado la superficie de rodadura empedrada que cuenta con las especificaciones mínimas que la norma establece para este tipo de análisis, la cual se encuentra ubicada a 2650 metros; aproximadamente sobre el nivel del mar. La tabla 2.4 refleja las dimensiones de esta vía mientras que en la figura 2.9 y figura 2.10 se observa el trayecto de la prueba

Tabla 2.6: Dimensiones de la vía con superficie empedrada

PARÁMETRO	VALOR
Distancia aproximada de la vía de prueba	950 metros
Ancho aproximado de la vía	6.20 metros
Inclinación longitudinal de la vía	0.4%
Inclinación transversal de la vía	0.3%

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

En la figura 2.9 se observa el trayecto seleccionado, a través de una imagen real de la zona, con una distancia de 950 metros y una inclinación longitudinal inferior al 1%, de este modo garantizamos que la vía Antonio Tandazo se encuentra óptima para la obtención de datos reales y un posterior análisis de resultados.

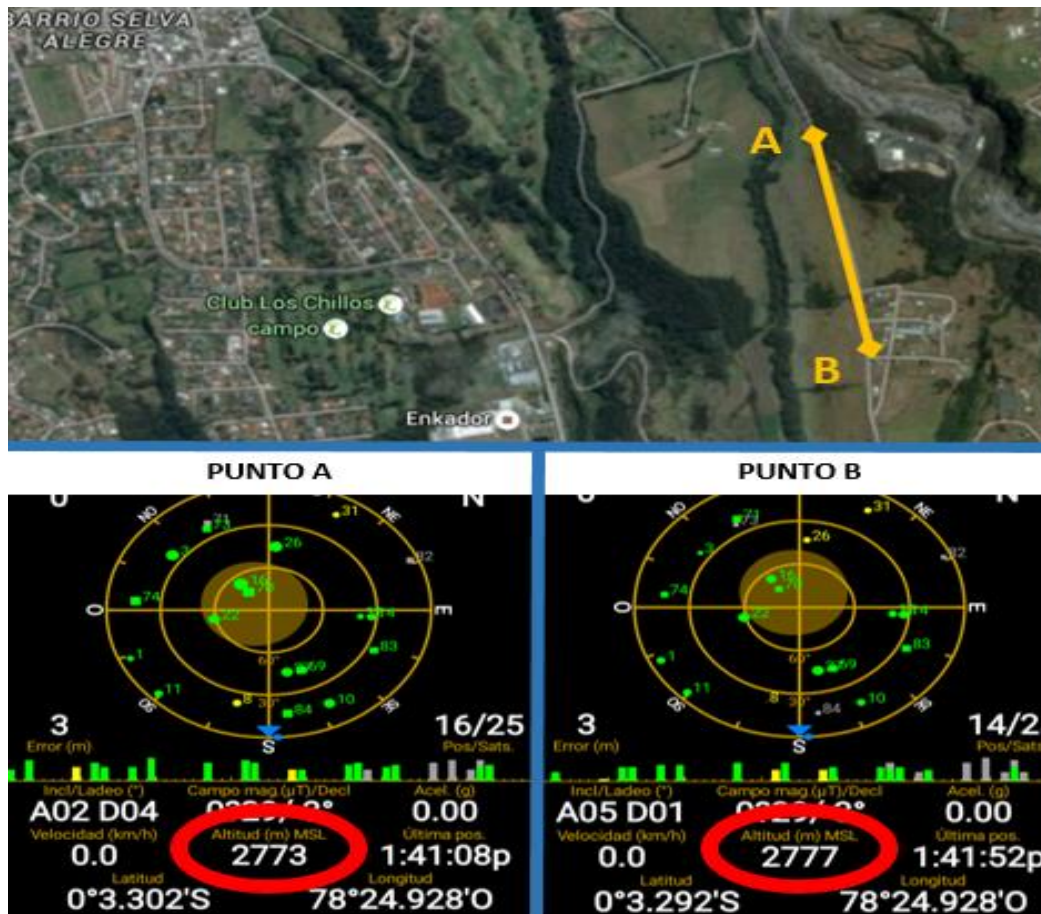


Figura 2.9: Trazado de la vía de prueba con superficie empedrada
Fuente: Google Earth.

En la figura 2.10 se observa el sentido de recorrido de la prueba y el entorno de la superficie empedrada cumpliendo con las condiciones mínimas que exige la norma en la cual se basa este estudio y requerimientos en el vehículo.



Figura 2.10: Vía con superficie empedrada
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

CAPÍTULO 3

CONDICIONES GENERALES PARA PRUEBAS DE ADHERENCIA

3.1 Equipos de medición

Para la obtención de datos precisos en esta investigación es indispensable contar con elementos y equipos de medición específicos que proporcionen valores que posteriormente serán analizados para cumplir con los objetivos al desarrollar las pruebas de campo. A continuación se detallan los instrumentos y dispositivos así como sus principales características.

3.1.1 Pirómetro Fluke serie 60.

Mediante este dispositivo se obtienen valores de temperatura con exactitud en puntos de difícil acceso a través de un rayo infrarrojo, las especificaciones son apreciadas en la tabla número 3.1

Tabla 3.1: Características del pirómetro Fluke serie 60

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Rango de medida	Desde -32 °C hasta 535 °C
Precisión	± 1 %
Distancia de medición	Max 2m

Fuente: Manual especificaciones técnicas pirómetro Fluke serie 60.

3.1.2 Calibrador Vernier.

Por medio del calibrador Vernier analógico de marca Truper se obtienen medidas externas, internas y de profundidad, en la tabla 3.2 se observan las características de esta herramienta de medición

Tabla 3.2: Características calibrador Truper

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Unidades de medida	Pulgadas / milímetros
Rango de medida	Desde 0.001”/0.02mm hasta 6”/150mm
Tolerancia	0.002”/ 0.05 mm

Fuente: Manual especificaciones técnicas calibrador Truper

3.1.3 Velocímetro.

La rapidez con la que circula el vehículo es un valor proporcionado por el velocímetro, es decir; la distancia que recorre el automotor en un tiempo determinado, este dispositivo se encuentra en el tablero de instrumentos, sus características se detallan en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Características del velocímetro del Chevrolet Sail

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Unidades de medida	Km/h
Rango de medida	0 Km/h – 200 km/h

Fuente: Manual de servicio Chevrolet Sail 2012

3.1.4 Acelerómetro.

Este dispositivo proporciona cifras de desaceleración, es decir; permite medir la variación o cambio de la velocidad en función del tiempo así como las fuerzas que actúan sobre el objeto; en este caso sobre el vehículo. En la tabla 3.4 se encuentran sus especificaciones.

Tabla 3.4: Características del acelerómetro 3D Cobra 4

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Rango de medida	-2g _ +2g / -6g _ +6g
Canales	X,Y,Z

Fuente: Manual especificaciones técnicas acelerómetro 3D Cobra

3.1.5 GPSeTrex 30.

Este equipo cuenta con una brújula electrónica de tres ejes, un altímetro barométrico que determina la variación de presión para obtener la altitud de manera precisa y rastrea satélites GPS y GLONASS para adquirir la posición de forma más rápida.

3.2 Procedimiento para pruebas de adherencia según norma ECE-13H.

Se refiere a los requisitos indispensables que serán cumplidos para ejecutar la prueba en mención, los cuales tienen que llevarse a cabo tal como se estipula en la norma con el fin de obtener resultados confiables que serán comparados entre sí con cada superficie de contacto elegida previamente para esta investigación; dichos procedimientos se detallan a continuación.

- Paso #1: Verificar estado de neumáticos:

Tomando en cuenta que el neumático es uno de los componentes principales del vehículo con relación a la seguridad, y conociendo que tiene una influencia directa a la respuesta del automóvil, se consideran ciertos factores que corresponden al mantenimiento

preventivo del mismo. Lo que para nuestro caso constituye una guía clara que permite garantizar que las pruebas de adherencia efectuadas arrojen resultados confiables.

Al encontrarse los neumáticos del vehículo en contacto directo con el suelo, es necesario inspeccionar periódicamente la profundidad del dibujo del mismo, para garantizar la seguridad y prestaciones; ya que cuando dicho dibujo no posee la profundidad recomendada se reduce la capacidad de evacuar el agua en condiciones de lluvia, lo cual incrementa considerablemente el efecto de aquaplaning, estabilidad del vehículo y capacidad de respuesta en el momento de frenado.

Un aspecto importante que se considera es que la profundidad del dibujo será la misma en todos puntos de la circunferencia de la banda de rodadura, ya que esto permite conocer si el desgaste evidenciado es uniforme; para ello se utiliza un profundímetro que para este caso es el calibrador Vernier; de tener un resultado en el que la diferencia de profundidades no es uniforme, es indispensable sustituir el neumático.

Para conservar un dibujo de la banda de rodadura regular, es necesario efectuar la rotación de los neumáticos cada 10000 km, tomando en cuenta la dirección de giro que se encuentra marcado en la llanta.

Fabricantes de neumáticos como Michelin, Continental, Dunlop, Hankook, entre otros, han incorporado en sus llantas indicadores de desgaste para facilitar su inspección; los cuales se encuentran en la superficie de dicha banda alertando la vida útil del neumático, como se puede observar en la figura 3.1.



Figura 3.1: Neumático Continental
Fuente: (Auto 10, s.f)

- Paso #2: Verificar presión de inflado de neumáticos:

Sabiendo que los fabricantes de los vehículos efectúan estudios para recomendar una presión específica de inflado de los neumáticos, en donde se toman en cuenta aspectos como adherencia de acuerdo a la presión, consumo de combustible, seguridad de agarre y peso de la carga que soporta el vehículo, es viable y factible acogernos a dicha recomendación para así cumplir con la eficiencia calculada por el fabricante en el desempeño del vehículo. Cabe recalcar que esta medición se realizará cuando los neumáticos se encuentren en frío.

- Paso #3: Verificar estado de sistema de frenos:

Este sistema permite la detención del vehículo, mediante el accionamiento de elementos de fricción que por efecto de rozamiento disminuyen la velocidad en cada una de sus ruedas. Para efectuar un control adecuado del estado de los frenos es imprescindible inspeccionar cada uno de sus componentes los cuales se los detalla a continuación.

- Estado de las pastillas de freno

En las pastillas de freno se verifican agrietamientos, uniformidad de desgaste, roturas y que se tenga un espesor adecuado de acuerdo con la especificación y diseño del fabricante; de encontrar una y/o varias de las anomalías antes nombradas, es indispensable el remplazo del componente.

En varias ocasiones se generan ruidos que son provocados por la calidad del material de fricción, indicando que la superficie de la pastilla de freno, que se encuentra en contacto con el disco o con los tambores de hierro atornillados a la rueda, poseen compuestos sumamente abrasivos como lo es la alta concentración de asbesto en su constitución.

De verificar que las pastillas poseen cualquiera de las anomalías anteriormente mencionadas, estas serán remplazadas inmediatamente para así garantizar que el vehículo podrá detenerse de manera efectiva sin generar riesgos para los tripulantes del automotor e incluso provocar el daño de otros componentes del sistema.

- Estado de mordazas de freno o Caliper:

Las mordazas de freno son las encargadas de transmitir la presión efectuada sobre el pedal por parte del conductor hacia los elementos de fricción de cada una de las ruedas que poseen frenos de disco; esto lo realiza mediante un sistema hidráulico que pone en funcionamiento el pistón del Caliper, que es el encargado de empujar contra el disco de freno a las pastillas. Se lo conoce también como freno de pinza flotante.

Dentro del mantenimiento que se lleva a cabo para estos componentes; se pondrá atención al estado de los guardapolvos de los pernos de mordaza, los cuales no tendrán roturas, ya que de ser así, existe gran probabilidad de que impurezas impidan su correcto desplazamiento;

provocando un desgaste desigual de las pastillas de freno. En cada intervención de chequeo es recomendable lubricar dichos pernos para garantizar su funcionamiento.

- Estado de discos de freno:

La revisión que se lleva a cabo al momento de verificar el estado de los discos de freno corresponde a la medición del espesor de los mismos, el cual estará dentro de la tolerancia estipulada por cada fabricante, teniendo por lo general una medida que oscila entre 18 milímetros y 21 milímetros. Es indispensable acudir a los manuales de la marca para conocer la dimensión mínima que debe poseer.

El disco de freno tiene señales de tolerancia que se encuentran ubicadas en 2 puntos específicos de su perímetro, las cuales permiten visualmente identificar el estado de dicho elemento.

De igual manera se verifica que el disco de freno no posea en su superficie de contacto agrietamientos, ondulaciones o canales generados por la fricción de elementos como pastillas de freno inadecuadas, por efecto de temperatura y/o cuando se ha descuidado su sustitución y se ha puesto en contacto directo la base de la pastilla contra el disco de freno. En estos casos existe la posibilidad, dependiendo del daño, de pulir o rectificar ambas caras de contacto de los discos de freno en un equipo específico para esta función; logrando así tener nuevamente una superficie completamente liza y sin pandeo evitando vibraciones anormales al aplicarlo.

- Estado de tambores de freno:

Los tambores de freno permiten el alojamiento de las zapatas, las cuales por medio de un cilindro hidráulico y el efecto logrado mediante resortes facilitan su contacto con el tambor reduciendo la velocidad de giro de la rueda y por ende la del vehículo.

Su mantenimiento consiste primeramente en la eliminación del material de fricción desgastado, el cual al no poseer ventilación alguna se queda aglomerado dentro de este componente. Luego de efectuar la limpieza correspondiente, la cual incluye a los resortes, cilindro y base de tambor, es necesario utilizar un reloj palpador para conocer si la circunferencia del tambor es perfecta o existe ovalamiento, de ser así es indispensable rectificar, pulir o sustituir dicho elemento tomando en cuenta la tolerancia máxima que corresponde a 3 milímetros con relación al diámetro original del tambor

- Estado de bomba de freno, cañerías y mangueras:

La bomba de freno se encarga de convertir la fuerza mecánica que ejerce el conductor al presionar en el pedal, en presión hidráulica, la cual es enviada por medio de las cañerías y/o mangueras del sistema de frenado hacia los Caliper y cilindros de cada rueda para provocar la fricción en los componentes y así detener el vehículo.

La inspección que se realiza corresponde primeramente a la verificación visual del estado de las mangueras y cañerías. Una vez que se ha comprobado que se encuentran en perfecto estado los elementos, se verifica el nivel del líquido de frenos, el cual estará en la señal de máximo de su reservorio; de no ser así y de encontrarse las pastillas de freno en buen estado, es preciso efectuar la prueba de estanqueidad que determinará la existencia de una fuga e ingreso de aire en el sistema.

De encontrarse una anomalía al efectuar la prueba de estanquidad se localiza la fuga y reemplazar los elementos necesarios. Paso seguido es vital purgar el sistema para eliminar el aire que haya ingresado en el mismo.

- Estado de válvula repartidora de freno:

El cilindro maestro de freno es el encargado de distribuir, de acuerdo al diseño, la fuerza hidráulica hacia cada una de las ruedas del vehículo, teniendo que ser esta igual para la rueda delantera izquierda como para la rueda delantera derecha y de igual forma para las posteriores.

Su único mantenimiento corresponde a la verificación de fugas, lo cual se lo realiza mediante la inspección visual y la ayuda de la prueba de estanqueidad. De encontrar fuga en alguna de las salidas para las cañerías de freno es indispensable sustituir el elemento.

- Paso # 4: Verificar estado de sistema de suspensión:

La función de la suspensión es absorber la reacción causada por la irregularidad de la superficie de contacto con el vehículo; para ello se utilizan varios elementos elásticos que sin topar el suelo conectan a las ruedas y ejes con la carrocería, mejorando la adherencia del automotor en condiciones de manejo.

Teniendo en cuenta la importancia de lo antes nombrado, es indispensable para este estudio comprobar que los elementos que la conforman se encuentren dentro de los parámetros de tolerancia estipulados; para tener un vehículo mecánicamente seguro.

Para ello hay que revisar de los amortiguadores del vehículo, los cuales no tendrán golpes y/o fugas, para comprobar que el funcionamiento de estos elementos sea el adecuado se llevará el automotor a un banco de pruebas para amortiguadores que indicara el estado real de dicho componente midiendo el número de oscilaciones al aplicar una fuerza contraria al peso del vehículo, tal como sucede con una calzada irregular.

La importancia de la inspección de rotulas, terminales y axiales de dirección radica en verificar que no existan juegos axiales que impidan mantener una alineación de ruedas adecuada. Cabe recalcar que es recomendable efectuar esta verificación cada 20000 kilómetros y sustituir dichos elementos, de ser el caso, cada 60000 kilómetros, según los manuales de mantenimiento de la mayoría de los fabricantes de vehículos turismo.

Con relación a los bujes de goma que se encuentran alojados en las mesas o soportes de suspensión, serán revisados visualmente para descartar roturas e incluso agrietamientos que reduzcan su capacidad de sujeción y absorción.

- Paso #5 y 6: Verificar nivel de combustible en tanque y verificar carga del vehículo:

Basados en la norma ECE 13-H, en la sección S6.3.1.1, para obtener el peso del vehículo, este estará con su tanque de combustible al 90% lleno de su capacidad, con una carga máxima de ocupantes de 168 kilogramos y un peso bruto del vehículo que no sea superior a los 4500 kilogramos; esto con el afán de obtener resultados en las condiciones especificadas en la norma que garantiza la confianza de los resultados.

- Paso #7: Verificar equipamiento de vehículo con sistema ABS:

Tomando en cuenta que según la norma, estipulada anteriormente, la prueba de adherencia será efectuada sin la actuación de ningún sistema electrónico de seguridad activa, tal como lo es el ABS; esto debido a que se pretende mostrar las condiciones propias de adherencia de cada una de las vías con relación al vehículo escogido para esta investigación. Conociendo que las nuevas regulaciones aprobadas en el Ecuador con relación a la seguridad y equipamiento de los vehículos que son comercializados en el país exigen la incorporación del sistema electrónico ABS, es indispensable que para el caso de la realización de la prueba éste sea desactivado. Cabe recalcar que el vehículo escogido debe poseer un sistema de frenos que

actúe sobre las cuatro ruedas al mismo tiempo que haya sido revisado y puesto a punto antes de llevarse a cabo la prueba en ruta.

- Paso# 8: Revisión del estado de la calzada:

Se refiere específicamente a que la vía de prueba no estará mojada; debido a que se podrían generar deslizamientos del vehículo que modificarían los resultados de adherencia que presentan cada una de las vías escogidas de la red vial del Ecuador. De encontrarse la vía mojada o húmeda, es preciso esperar a que ésta se encuentre completamente seca para efectuar las pruebas de adherencia requeridas para esta investigación.

- Paso #9: Medir velocidad del viento:

Considerando lo estipulado en la norma ECE 13-H, párrafo 4.1.2, la velocidad del viento no será superior a los 10 m/s; esto sabiendo que el vehículo vence la resistencia del aire para circular; y que mientras ésta es mayor, el automóvil experimenta una desaceleración que modificaría la adherencia real que se obtiene de acuerdo al tipo de calzada. Mediante la ecuación 3.1 que determina el valor de esta velocidad en función del ancho de la vía seleccionada y la altura encontrada del centro de gravedad del vehículo.

$$\text{Velocidad del viento} = \frac{T}{2*H_T} \quad \text{Ec. [3.1]}$$

Donde:

T Ancho de la vía

H_T Altura del centro de gravedad

- Paso #10: Medir temperatura ambiente:

La temperatura ambiente será medida con la ayuda de un pirómetro, teniendo que esta deberá encontrarse entre 0°C y 45°C según lo dice la norma ECE-13H; esto para garantizar que la banda de rodadura no se exponga a temperaturas superiores que modifiquen y generen valores que no se encuentran dentro de los parámetros normales de funcionamiento del neumático especificados por el fabricante.

- Paso #11: Medir temperatura inicial de discos de freno:

Para iniciar las pruebas de adherencia, se debe previamente alcanzar una temperatura inicial que va desde los 65°C hasta los 100°C para cada sesión de prueba. Para provocar la temperatura estipulada dentro de los procedimientos de la norma, se llevará a cabo el siguiente método.

- Con la ayuda del pirómetro hay que medir la temperatura a la que se encuentra el sistema de frenos.
- Si la temperatura es inferior a la indicada por la norma, se debe conducir el vehículo hasta llegar a una velocidad de 65 km/h para allí aplicar los frenos, de tal manera que la velocidad del automotor baje hasta los 15 km/h; generando así un incremento de la temperatura por efecto del rozamiento causado por los elementos del sistema. En este punto se requiere volver a realizar la medición con el pirómetro.
- Se repite el procedimiento detallado en el ítem anterior hasta alcanzar la temperatura óptima para la prueba.

En la tabla 3.5 se verifica el procedimiento, detallado y simplificado en pasos, para efectuar el calentamiento de los discos de freno; si la situación lo amerita para el cumplimiento de lo estipulado en la norma ECE-13H.

Tabla 3.5: Procedimiento para calentamiento de frenos según norma ECE-13H.

PROCEDIMIENTO PARA CALENTAMIENTO DE FRENOS SEGÚN NORMA ECE-13H	
PASOS	DETALLE
1	ACCELERAR EL VEHÍCULO HASTA ALCANZAR LOS 65 km/h
2	APLICAR EL FRENO HASTA LLEGAR A LOS 15 km/h
3	DETENER COMPLETAMENTE EL AUTOMOTOR
4	MEDIR DE LA TEMPERATURA DE LOS DISCOS DE FRENO
5	SI LA TEMPERATURA ES MENOR A 65°C; REPETIR ESTE PROCEDIMIENTO HASTA ALCANZAR TEMPERATURA REQUERIDA
6	SI LA TEMPERATURA ES MAYOR A 65°C; CONTINUAR CON LAS PRUEBAS DE ADHERENCIA

Fuente: Norma ECE-13H.

- Paso #12: Verificar posición de vidrios y puertas del vehículo:

A pesar de que en la norma ECE 13-H, no se encuentra especificado ningún requerimiento con relación a este punto, es importante tener las puertas y ventanas del automotor completamente cerradas, para de esta manera evitar pérdidas aerodinámicas que influyen en el resultado final de las mediciones de adherencia.

- Paso #13: Ubicar vehículo en área de pruebas:

El automotor tendrá que encontrarse ubicado en la parte central del carril con el fin de evitar posibles accidentes por efecto del deslizamiento del automotor. Además deberá encontrarse en esta posición para facilitar las mediciones y maniobrabilidad en cualquier situación que pueda suscitarse.

- Paso #14: Acelerar hasta alcanzar velocidad requerida:

Para la ejecución de este análisis, según la norma ECE 13-H, el vehículo alcanzará una velocidad de 100 km/h; sin embargo esta velocidad se la obtendrá cuando el automóvil se encuentre rodando sin acción de la transmisión; por lo cual es necesario exceder la velocidad

indicada de 5 km/h a 10 km/h para llevar a cabo el paso de la transmisión a la posición neutral y así lograr mantener la velocidad apropiada para efectuar la desaceleración mediante la aplicación del freno.

- Paso #15: Colocar selector de marchas en neutro:

Según la norma ECE 13-H, en su párrafo 5.3, para la correcta ejecución de las pruebas de adherencia, la posición del selector de marcha del vehículo se debe encontrar en “neutro” debido a que en esta posición las mediciones no se ven influenciadas por efecto de la fuerza del motor y su transmisión de torque hacia las ruedas del vehículo con la ayuda de la relación de transmisión dada por la caja de cambios.

- Paso #16: Activar y desactivar acelerómetro:

Con el fin de registrar los datos de desaceleración, se activará el acelerómetro cuando se alcance la velocidad estipulada en la norma y el selector de marchas se encuentre en neutro. La desactivación, en cambio, será realizada inmediatamente después de haber detenido el vehículo.

- Paso #17: Aplicar freno para desacelerar vehículo:

El freno será aplicado cuando el vehículo haya alcanzado la velocidad indicada por la norma, para mediante el mismo llevar la aceleración a cero u obtener una desaceleración total.

- Paso #18: Verificar captura de tiempo de desaceleración:

Este procedimiento será revisado en el registro del acelerómetro para posteriormente descargar dichos datos a un ordenador y realizar los cálculos y análisis respectivos.

- Paso #19: Medir distancia de desaceleración:

Para este efecto, se utilizan cintas métricas, flexómetros o reglas. Las distancias de desaceleración se las obtiene con la medición de las huellas de desaceleración que deja el vehículo desde el momento en que se aplica el freno. Para facilitar la medición, colocar conos de advertencia en los puntos donde se inicia la desaceleración.

- Paso #20: Repetición de pruebas de adherencia:

Es recomendable repetir la prueba de adherencia, en cada una de las vías escogidas al menos seis veces para obtener un valor promedio y utilizarlo como resultado confiable. El intervalo entre cada una de las repeticiones depende directamente de la temperatura del sistema de frenos, por lo cual ésta debe ser medida al terminar cada fase.

- Paso #21 y 22: Tabular datos obtenidos y efectuar cálculo de desaceleración:

Se requiere descargar los archivos guardados en el acelerómetro de cada una de las pruebas de adherencia realizadas, promediar los datos obtenidos de distancia para cada una de las calzadas y efectuar los cálculos respectivos de desaceleración.

3.2.1 CHECK LIST /Procedimiento para pruebas de adherencia según ECE-13H.

Con el afán de generar un esquema con el procedimiento a realizarse para llevar a cabo las pruebas de adherencia, según la norma internacional ECE-13H, se muestra a continuación en la tabla 3.6 el Check list con los pasos a seguir; en donde además se encuentran especificados los parámetros de medición que se deben tomar en consideración para generar datos confiables y totalmente alineados a lo estipulado en dicha normativa. Consta de observaciones que indican con claridad los pasos que deben ser repetidos al inicio de cada nueva prueba. La tabla incluye datos del vehículo, lo cual tiene el fin de comprobar la

existencia del mismo; al igual que el historial de revisión técnica, al que se puede acceder con el número de placa e ingresando a la página oficial de la Agencia Metropolitana de Tránsito.

Tabla 3.6: Check list para ejecución de pruebas de adherencia.

DATOS DEL VEHÍCULO		
MARCA:		
MODELO:		
PLACA:		
AÑO:		
CHASIS:		
KILOMETRAJE:		
COLOR:		
PROCEDIMIENTO PARA EJECUCION DE PRUEBAS DE ADHERENCIA SEGÚN NORMA ECE-13H		
ITEM	DETALLE	PARÁMETRO
1	VERIFICAR ESTADO DE NEUMÁTICOS	PROFUNDIDAD DE LABRADO 1,6 mm
2	VERIFICAR PRESIÓN DE INFLADO DE NEUMÁTICOS	30 lb.
3	VERIFICAR ESTADO DE SISTEMA DE FRENOS	ESTADO OPTIMO
4	VERIFICAR ESTADO DE SISTEMA DE SUSPENSIÓN	ESTADO OPTIMO
5	VERIFICAR NIVEL DE COMBUSTIBLE EN TANQUE	90% DE CAPACIDAD
6	VERIFICAR CARGA DEL VEHÍCULO	168 Kg
7	VERIFICAR EQUIPAMIENTO DE VEHÍCULO CON SISTEMA ABS	DESACTIVAR SISTEMA
8	REVISIÓN DEL ESTADO DE LA CALZADA	CALZADA SECA
9	MEDIR VELOCIDAD DEL VIENTO	MENOR A 10 m/s ²
10	MEDIR TEMPERATURA AMBIENTE	ENTRE 0 °C Y 45 °C
11	MEDIR TEMPERATURA INICIAL DE DISCOS DE FRENO	ENTRE 65 °C Y 100 °C
12	VERIFICAR POSICIÓN DE VIDRIOS Y PUERTAS DEL VEHÍCULO	CERRADAS
13	UBICAR VEHÍCULO EN ÁREA DE PRUEBAS	CENTRO DEL CARRIL
14	ACCELERAR HASTA ALCANZAR VELOCIDAD REQUERIDA	EN 50 km/h
15	COLOCAR SELECTOR DE MARCHAS EN NEUTRO	EN 50 km/h
16	ACTIVAR Y DESACTIVAR ACELERÓMETRO	DESDE 50 km/h HASTA 0 km/h
17	APLICAR FRENO PARA DESACELERAR VEHÍCULO	DESDE 50 km/h HASTA 0 km/h
18	VERIFICAR CAPTURA DE TIEMPO DE DESACELERACIÓN EN ACELEROMÉTRO	COPIAR NÚMERO DE ARCHIVO
19	MEDIR DISTANCIA DE DESACELERACIÓN	MEDIANTE HUELLA DE FRENADO
20	REPETICION DE PRUEBAS DE ADHERENCIA	6 VECES PARA CADA SUPERFICIE
21	TABULAR LOS DATOS OBTENIDOS	GENERAR TABLAS Y GRÁFICAS
22	EFFECTUAR CÁLCULO DE DESACELERACIÓN (PRÁCTICA)	MEDIANTE DATOS OBTENIDOS
OBSERVACIONES:		
A	LOS ITEMS 5, 6 Y DEL 8 AL 19 DEBEN REPETIRSE EN CADA CALZADA Y PARA CADA UNA DE LAS PRUEBAS	
B	PARA CONOCER EL PROCEDIMIENTO DE CALENTAMIENTO DEL SISTEMA DE FRENOS, REVISAR LA TABLA 3.5	

Fuente: Norma ECE-13H.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS DE ADHERENCIA

4.1 Inspección del vehículo

Es indispensable la inspección del vehículo para efectuar las pruebas de adherencia, es decir, realizar una revisión mecánica del automotor basados en el procedimiento detallado en la tabla 3.6 desde el paso #1 hasta el paso #7, garantizando la seguridad de los ocupantes y el correcto desempeño del automóvil seleccionado para esta prueba y por ende que los datos obtenidos sean reales y precisos. Los pasos que se llevan a cabo para la preparación del vehículo se detallan a continuación.

- Paso #1 Verificar estado de neumáticos:

Se realiza primeramente una inspección visual del estado de los neumáticos, que en el caso del vehículo seleccionado la banda de rodadura supera las condiciones mínimas de seguridad según se verifica con la ayuda del calibrador vernier, obteniendo como profundidad del labrado 7 milímetros, tal como se observa en la Figura 4.1.

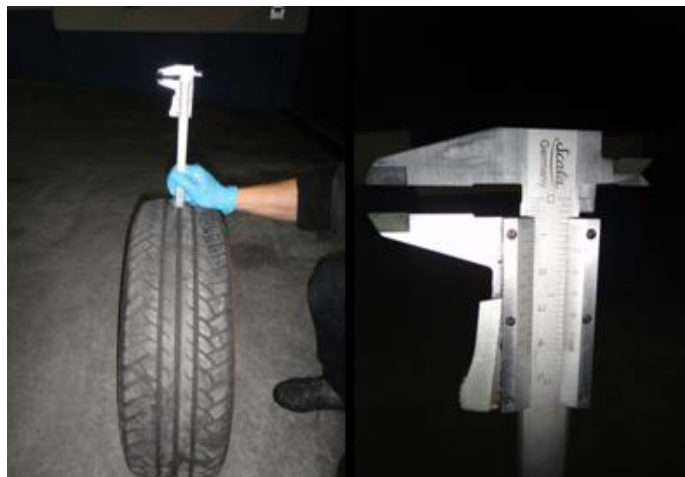


Figura 4.1: Medición de profundidad de labrado de neumático

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

- Paso #2 Verificar presión de inflado de neumáticos:

Se mide la presión de inflado de los neumáticos, que basados en la recomendación efectuada por el fabricante, en los adhesivos informativos colocados en la carrocería del automotor, la presión óptima para circular es de 30 libras; por lo cual se procede a verificar si las cuatro llantas del vehículo elegido poseen esta medida, tal como se verifica en la Figura 4.2.; esta medición es realizada con los neumáticos fríos, es decir, antes que el automotor haya entrado en circulación.



Figura 4.2: Medición de presión de inflado de los neumáticos
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

- Paso #3 Verificar estado de sistema de frenos:

Se desmonta las ruedas del automóvil para verificar el estado del sistema de frenos, evidenciando que los discos de freno delanteros, al igual que los tambores posteriores se encuentran en buen estado, sin ranuras, fisuras, etc. Paso seguido se desmontan las mordazas de freno delanteros constatando que las pastillas deben ser remplazadas, lo cual se lo hace luego de limpiar los componentes y comprobar que los guardapolvos de los pernos de

mordaza al igual que el pistón de apriete se encuentran en perfecto estado. Tal como se aprecia en la Figura 4.3.



Figura 4.3: Estado de discos y cauchos de mordazas de freno

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

Con relación a los frenos posteriores se efectúa el mismo procedimiento de chequeo y limpieza sin encontrar requerimientos de cambio, lo que se observa en la Figura 4.4. Cabe recalcar que no se encuentran fugas hidráulicas en ningún componente o elemento del sistema de frenos.



Figura 4.4: Limpieza y verificación de estado de componentes de frenos posteriores

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

- Paso #4 Verificar estado de sistema de suspensión:

Se lleva a cabo la verificación del sistema de suspensión y dirección, encontrando que es necesario reemplazar la rótula de mesa delantera derecha y el terminal de dirección del mismo lado; una vez que fueron reemplazados los elementos nombrados se procedió al montaje del

sistema de suspensión y dirección así como los neumáticos; generando la necesidad de llevar al automotor a alinear sus ruedas, tal como se muestra en la Figura 4.5.



Figura 4.5: Desmontaje de suspensión delantera y alineación de ruedas
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

- Paso #5 Verificar nivel de combustible en tanque:

El vehículo se encuentra listo para la ejecución de las pruebas, por lo cual es factible ejecutar los ensayos de adherencia en cada una de las vías elegidas para llevar a cabo esta investigación. Se lleva como abastecimiento adicional un recipiente con gasolina con el afán de antes de comenzar las pruebas, llenar el tanque de combustible al 90% de su capacidad tal como lo establece la norma ECE-13H.

- Paso #6 Verificar carga del vehículo:

Se verifica que la carga de los ocupantes es de 121kg por lo cual se continúa con el procedimiento de inspección para realización de pruebas de adherencia.

- Paso #7 Verificar equipamiento de vehículo con sistema ABS:

Se comprueba si el vehículo escogido para las pruebas de ruta tiene incorporado un sistema antibloqueo de frenos para desactivarlo y así cumplir con los requerimientos de la

Norma. Una vez chequeado el equipamiento del automotor de pruebas, se determina que, debido al año de fabricación que corresponde al 2013 en donde no era obligatorio, el automóvil no trae incorporado de fábrica este sistema de asistencia de frenado por lo cual obviamente no es necesario ni posible bloquear un sistema inexistente.

4.1.1 CHECK LIST/ Resultados inspección de vehículo para prueba

DATOS DEL VEHÍCULO					
MARCA:	CHEVROLET				
MODELO:	SAIL SEDÁN - 4P - 1.4L - 4X2 - TM - STD				
PLACA:	PPA-9608				
AÑO:	2012				
CHASIS:	8LAUY527XCO146045				
KILOMETRAJE:	119283				
COLOR:	PLATEADO				
INSPECCIÓN DE VEHICULO PARA PRUEBAS					
PASO #	NEUMÁTICOS				
	1)	PROFUNDIDAD DE LABRADO DE NEUMÁTICOS (mm)	DEL. LH 7	DEL. RH 7	POST. LH 7.3
	PROFUNDIDAD MINIMA DE LABRADO DE NEUMATICOS SEGUN NORMA (1,6 mm)	CUMPLE NORMA X	NO CUMPLE NORMA	OBSERVACIÓN Si no cumple con la Norma, cambiar neumáticos	
2)	PRESIÓN DE INFLADO DE NEUMÁTICOS (EN FRÍO) (lb.)	DEL. LH 30	DEL. RH 30	POST. LH 30	POST. RH 30
	NEUMATICOS (30 lb.)	CUMPLE NORMA X	NO CUMPLE NORMA	OBSERVACIÓN Si no cumple con la Norma, regular presión de neumáticos	
FRENOS					
3)	VERIFICACION DEL ESTADO DE:	OK	REPARACION	CAMBIO	
	PASTILLAS			X	
	MORDAZAS	X			
	DISCOS	X			
	TAMBORES	X			
	ZAPATAS	X			
	BOMBA, CANERIAS Y MANGUERAS	X			
SUSPENSIÓN					
4)	VERIFICACION DEL ESTADO DE:	OK	REPARACION	CAMBIO	
	AMORTIGUADORES	X			
	RÓTULAS			DELANTERA RH	
	TERMINALES	X			
	AXIALES DE DIRECCIÓN			DELANTERO RH	
BUJES DE GOMA	X				
NIVEL DE COMBUSTIBLE EN TANQUE					
5)	VERIFICACIÓN DE NIVEL DE LLENADO DE COMBUSTIBLE:	REQUIERE LLENADO	NO REQUIERE LLENADO	OBSERVACIÓN	
	NIVEL DE COMBUSTIBLE ENCONTRADO: <input type="text" value="90 %"/>		X	Debe encontrarse al 90% de su capacidad	
CARGA DEL VEHICULO					
6)	VERIFICACION DE:	CUMPLE NORMA	NO CUMPLE NORMA	OBSERVACIÓN	
	CARGA DE OCUPANTES (Máx. 168 kg): <input type="text" value="121 kg"/>	X		Si no cumple norma, reducir carga	
EQUIPAMIENTO DE VEHÍCULO					
7)	VERIFICACIÓN DE:	REQUIERE DESACTIVACIÓN	NO REQUIERE DESACTIVACIÓN	OBSERVACIÓN	
	INCORPORACIÓN DE ABS <input type="text" value="SI"/> <input type="text" value="NO: X"/>		X	De requerir desactivación, desconectar sensor de velocidad de una rueda o retirar fusible de sistema	

4.2 Cálculo del centro de gravedad

Luego de revisar que el vehículo cumple con los requerimientos de revisión que se estipula en la norma ECE-13H, es preciso efectuar ciertos cálculos como el centro de gravedad para demostrar de manera matemática su localización y ubicar en este punto el acelerómetro para obtener sus lecturas de distancia de frenado correctamente. Para ello es necesario tomar en consideración ciertas mediciones que serán cotejadas con los datos provistos por el fabricante del automotor. En la Tabla 4.1 se muestran las especificaciones técnicas que constan en el manual de servicio del usuario; en donde se detallan las medidas del automóvil al igual que su distancia entre ejes y peso en vacío que se refiere al peso del automotor sin ninguna carga extra como lo es el peso del conductor u ocupantes.

Tabla 4.1: Especificaciones técnicas.

Especificación	Medidas
Largo	4249 mm
Ancho	1690 mm
Alto	1505 mm
Distancia entre ejes	2465 mm
Peso Vacío	1070 kg

Fuente: Manual de servicio Chevrolet Sail, 2014.

Con el afán de sustentar los datos detallados anteriormente en la tabla 4.1, se procede a efectuar el pesaje de cada uno de los ejes del vehículo por medio de dos mediciones; de las cuales se obtiene un promedio que garantiza la fiabilidad de la pesa utilizada para este fin. Los pesajes mencionados han sido realizados en la balanza del centro de recolección y separación de desechos ubicado en la Zona Norte del Distrito Metropolitano de Quito sector Zámbriza, bajo previa autorización del coordinador del Centro en mención. En la Figura 4.6

se observan los datos obtenidos luego de realizar el pesaje respectivo y en la Tabla 4.2 el detalle de sus valores.



Figura 4.6: Pesaje del vehículo
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

Tabla 4.2: Detalle de mediciones y pesos obtenidos

Especificación	Medidas		Promedio
	1 ^{ra} Medición	2 ^{da} Medición	
Peso eje delantero	660 kg	670kg	665 kg
Peso eje Posterior	410 kg	410 kg	410 kg
Peso Total del Vehículo	1110 kg	1110 kg	1110kg
Angulo de inclinación	9,78°		

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

Los resultados son comparados con las especificaciones técnicas detalladas en el manual del usuario. Se puede verificar que el peso total del vehículo obtenido en el pesaje es superior al que se encuentra estipulado en la ficha técnica provista por el fabricante, esto se debe a que nuestra medición fue efectuada tomando en cuenta el peso del conductor; el cual como se demuestra matemáticamente con la Ec. [4.1] es restado, teniendo como resultado el mismo

valor que se encuentra especificado en la tabla técnica del automotor. En la Figura 4.7 se observa las fuerzas y distancia entre ejes que interactúan en este procedimiento.

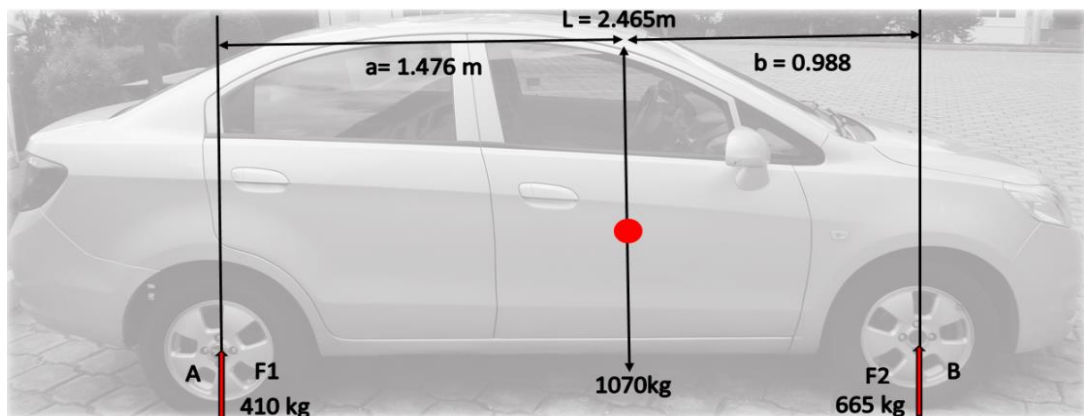


Figura 4.7: Fuerzas y distancias en el vehículo

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

$$F_T = F_1 + F_2$$

Ec. [4,1]

Donde:

F_T = Peso total del vehículo

F_1 = Peso de eje posterior

F_2 = Peso de eje delantero

A continuación se realiza la sumatoria de momentos para dejar como única incógnita (a) que corresponde a la distancia del eje posterior hacia el centro de gravedad, en función de los pesos y (L), que es la distancia entre ejes.

$$\sum M_A = 0$$

$$F_T(a) - F_2(L) = 0$$

$$a = \frac{F_2(L)}{F_T}$$

$$a = \frac{665 \text{ kg} (2.465 \text{ m})}{1110 \text{ kg}}$$

$$a = 1.476 \text{ m}$$

Se obtiene la distancia del eje delantero hacia el centro de gravedad con la diferencia entre la distancia entre ejes (L) y la distancia del eje posterior hasta el centro de gravedad.

$$b = L - a$$

$$b = 2.465 \text{ m} - 1.476 \text{ m}$$

$$b = 0.988 \text{ m}$$

Obtenidas las distancias hacia el centro de gravedad del vehículo se determinan las fuerzas que interactúan en el mismo de manera teórica, tal como se puede observar en la Figura 4.8, así se conocerá los pesos de cada uno de los ejes, a partir del peso del automotor el cual se encuentra detallado en la ficha técnica

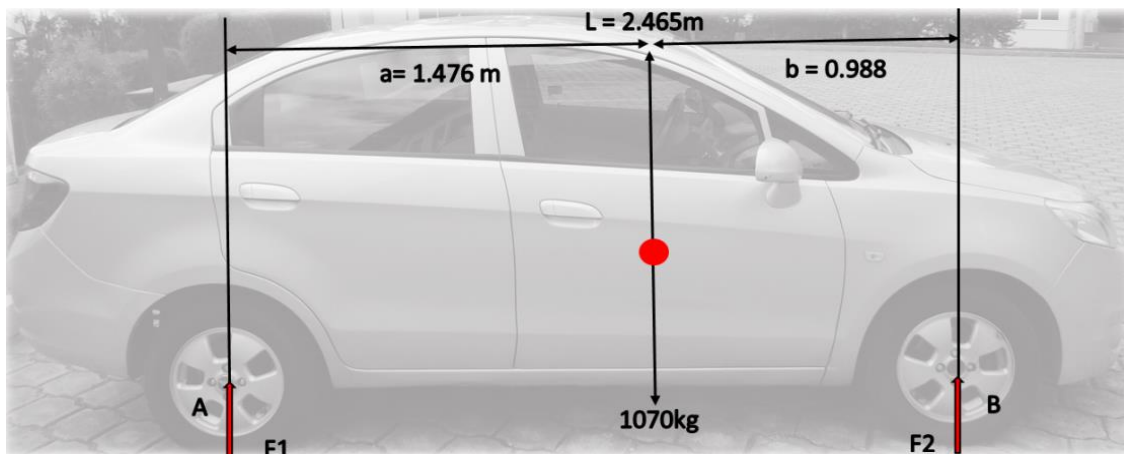


Figura 4.8: Fuerzas y distancias teóricas en el vehículo
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

$$\sum M_A = 0$$

$$F_T(a) - F_2(L) = 0$$

$$F_T(a) = F_2(L)$$

$$F_2 = \frac{F_T(a)}{L}$$

$$F_2 = \frac{1070 \text{ kg} (1.476 \text{ m})}{2.465 \text{ m}}$$

$$F_2 = 640.70 \text{ kg (Valor teórico)}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$F_T(b) - F_1(L) = 0$$

$$F_T(b) = F_1(L)$$

$$F_1 = \frac{F_T(b)}{L}$$

$$F_1 = \frac{1070 \text{ kg}(0.988 \text{ m})}{2.465 \text{ m}}$$

$$F_1 = 429.30 \text{ kg (Valor teórico)}$$

$$F_T = F_1 + F_2$$

$$F_T = 429.30 \text{ kg} + 640.70 \text{ kg}$$

$$F_T = 1070 \text{ kg}$$

Teniendo las distancias del centro de gravedad con relación al eje delantero y posterior al igual que el peso de cada eje, se procede a efectuar el cálculo de la altura del centro de gravedad H_T , que “se obtiene como resultado de la suma de H_1 y H_2 ” (Ingeniería de vehículos, 2005, pág. 41) como se demuestra a continuación. En la Figura 4.9 se observa claramente la distancia correspondiente a H_1 , misma que se proyecta hasta la línea entre ejes y que sumada a H_2 proporciona la altura hacia dicho punto tal como se plantea en la Ec. [4.2]



Figura 4.9: Distancia correspondiente a H_1
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

$$H_T = H_1 + H_2$$

Ec. [4.2]

$H_1 = \text{Radio Neumático} + \text{Altura de Perfil}$

Donde:

H_T Altura del centro de gravedad

H_1 Altura desde la línea del suelo hasta la línea entre ejes

H_2 Altura desde la línea entre ejes hasta el centro de gravedad

Basados en la Figura 4.10 se procede a elevar el eje delantero con el mismo ángulo de inclinación que se realizó los pesos de cada uno de los ejes, de esta manera se aplica la ecuación Ec. [4.3] para determinar H_2 en relación a los pesos especificados, pendiente θ y la distancia entre los ejes del automóvil.

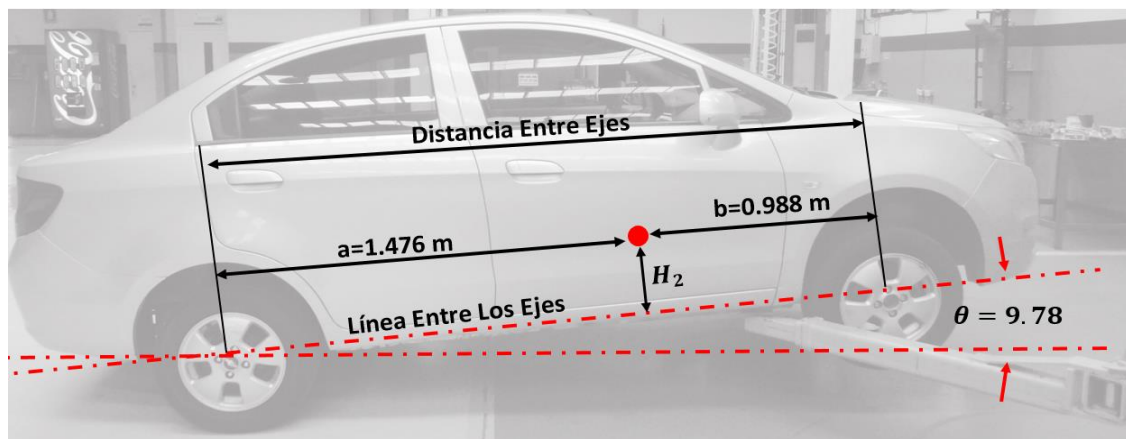


Figura 4.10: Distancia correspondiente a H_2 con el vehículo inclinado

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

$$H_2 = \frac{P(R \tan \theta + a) - F_2(a+b)}{P \tan \theta}$$

EC. [4.3]

Donde

P Peso neto del vehículo

R Diámetro del neumático

a Distancia desde el eje posterior al centro de gravedad

b Distancia del eje delantero al centro de gravedad

F_2 Peso del eje delantero inclinado (pesado previamente)

θ Ángulo de inclinación del vehículo

Datos:

Radio Neumático = 0.1778m

Altura de Perfil = 0.111m

$P = 1070$ kg

$R = 0.5776$ m

$a = 1.476$ m

$b = 0.988$ m

$F_2 = 665$ kg

$\theta = 9.78^\circ$

Desarrollo de ecuaciones para el cálculo de altura del centro de gravedad:

$$H_T = H_1 + H_2$$

$$H_1 = \text{Radio Neumático} + \text{Altura de Perfil}$$

$$H_1 = 0.1778m + 0.111m$$

$$H_1 = \mathbf{0.288}$$

$$H_2 = \frac{P(R \tan \theta + a) - F_2(a + b)}{P \tan \theta}$$

$$H_2 = \frac{1070 \text{ kg} (0.5776 \text{ m} \times \tan 9.78^\circ + 1.476 \text{ m}) - 665 \text{ kg} (1.476 \text{ m} + 0.988 \text{ m})}{1070 \text{ kg} \times \tan 9.78^\circ}$$

$$H_2 = \frac{1070 \text{ kg} (0.0995 \text{ m} + 1.476 \text{ m}) - 665 \text{ kg} (2.464 \text{ m})}{1070 \text{ kg} \times 0.17237}$$

$$H_2 = \frac{1.685.785 \text{ kg m} - 1638.56 \text{ kg m}}{184.436 \text{ kg}}$$

$$H_2 = \frac{47.225 \text{ kg m}}{184.436 \text{ kg}}$$

$$H_2 = 0.256 \text{ m}$$

$$H_T = 0.288 \text{ m} + 0.256 \text{ m}$$

$$H_T = 0.544 \text{ m}$$

Se obtiene como resultado que el centro de gravedad del vehículo Chevrolet Sail, equipado con neumáticos de numeración 185/60/R14 se encuentra a 54,4 centímetros medidos desde la línea del suelo a la línea del centro de gravedad; demostrando matemáticamente que dicho punto se halla localizado en la consola central del vehículo entre el asiento del conductor y el del pasajero. Basados en el análisis realizado previamente, es posible ubicar con certeza al acelerómetro en este punto para realizar las pruebas de adherencia en las rutas elegidas para este fin; lo que se muestra a continuación en la figura 4.11; además se ejecuta la calibración del acelerómetro por medio de la variación de la frecuencia dejando los valores de los ejes X, Y, Z en cero.



Figura 4.11: Captura de pantalla de acelerómetro
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

4.3 Ejecución de pruebas de adherencia

- a) Se inician los ensayos de adherencia en la vía asfaltada; en donde se revisa primeramente el estado de la calzada para determinar si es factible llevar a cabo las pruebas de adherencia. Una vez que se ha constatado que la calzada elegida cumple con las condiciones de humedad, es decir que no debe encontrarse mojada, se continúa con el cálculo necesario para obtener la velocidad del viento mediante la Ecuación 4.4 tal como se demuestra a continuación.

$$\text{Velocidad del viento} = \frac{T}{2 * H_T} \quad \text{Ec. [4.4]}$$

Donde:

T Ancho de la vía

H_T Altura del centro de gravedad

$$\text{Velocidad del viento} = \frac{10,5}{2 * 0,5448}$$

$$\text{Velocidad del viento} = \frac{10,5}{1,0896}$$

Velocidad del viento =9,636 m/s

Como se puede verificar en el cálculo anterior, la velocidad del viento se encuentra dentro de los parámetros exigidos por la norma ECE-13H; la cual nos dice que la velocidad del viento será superior a los 10m/s para aceptarla como adecuada. Lo que nos permite continuar con el procedimiento de ejecución de las pruebas de adherencia.

- b) El siguiente paso es medir la temperatura del ambiente, la cual se encontrará entre 0°C a 45°C para ser adoptada como aceptable según la Norma ECE-13H. Para lo cual se procede a efectuar la medición con la ayuda del pirómetro; teniendo como resultados valores que se encuentran entre 15°C y $19,9^{\circ}\text{C}$, lo que indica que es factible seguir con el desarrollo de las pruebas de ruta para el cálculo de la adherencia de la calzada con relación al neumático que viene incorporado de fábrica en el vehículo Chevrolet Sail. Esto se puede verificar en la figura 4,12 que se muestra a continuación.



Figura 4.12: Medición con pirómetro de temperatura ambiente
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

- c) Paso seguido verifica que el sistema de frenos se encuentre dentro del rango de temperatura de los 65°C a los 100°C para iniciar las pruebas de adherencia de acuerdo a la norma de referencia utilizada para esta investigación.

Se comprueba que la temperatura del sistema de frenos se encuentra por debajo de lo requerido; por lo cual se genera la necesidad de elevarla mediante el procedimiento descrito en la norma que consiste en conducir el automóvil hasta una velocidad de 65 km/h para en este punto aplicar el freno hasta llegar a los 15 km/h , de esta forma se genera un incremento en la temperatura de los frenos como se verifica en la Figura 4.13.



Figura 4.13: Calentamiento del sistema de frenos
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

- d) Se verifica que todos los vidrios, ventanas y puertas del vehículo se encuentren completamente cerrados para no influenciar en los resultados obtenidos. Y se acelera hasta alcanzar la velocidad requerida para las pruebas de adherencia que según la norma es de 100 km/h; sin embargo, tomando en cuenta la geografía de las vías de nuestro país y tomando como referencia las leyes de tránsito ecuatorianas con relación a la velocidad, se determina que para nuestro estudio se adoptan los 50 km/h para el desarrollo de las pruebas; sin que esto modifique la fiabilidad de los resultados obtenidos. Esta velocidad se la debe alcanzar cuando el vehículo se encuentra rodando sin acción de la transmisión, por lo cual es necesario aumentar la velocidad de 50 km/h de 5 km/h a 10 km/h para colocar en marcha neutral al vehículo y mantener la velocidad adoptada de 50 km/h y aplicar el freno obteniendo distancias y tiempos de la desaceleración.
- e) Se ejecutan seis pruebas de adherencia en cada una de las vías escogidas con el mismo procedimiento para sacar un valor medio, obteniendo los siguientes resultados.

4.4 Datos obtenidos en pruebas de frenado

A continuación se presentan los valores obtenidos a partir de la ejecución de las pruebas de adherencia efectuadas en las tres vías elegidas para este fin; las cuales cumplen con el

objetivo de esta investigación, que es la comparación y análisis de las diferencias de adherencia que genera un vehículo con relación al tipo de superficie de contacto con los neumáticos, que para nuestro caso son la vía asfaltada, la adoquinada y la empedrada que son las que conforman en su mayoría la Red Vial del Ecuador.

4.4.1 Datos obtenidos en superficie asfáltica.

En la tabla 4.3 se verifican los datos obtenidos de las pruebas de adherencia en superficie asfáltica luego de efectuar seis pruebas, lo cual permite generar un promedio en las mediciones para tener resultados confiables. De igual manera se tabulan las mediciones de la temperatura ambiente por medio del pirómetro evidenciando que se han ejecutado las pruebas de ruta cumpliendo con las condiciones que estipula la norma. Además, basados en los requerimientos de la norma ECE-13H, se toma en cuenta el parámetro de temperatura de los discos de freno en la rueda delantera izquierda y derecha, demostrando que se encuentran dentro del rango de 65°C y 100°C que exige la norma adoptada para aceptar los datos resultantes como fiables.

Tabla 4.3: Datos obtenidos en vía asfaltada

N° de Prueba	T° Ambiente	T° Inicial de discos de freno		Promedio	T° Final de los discos de freno	
		Derecho	Izquierdo		Derecho	Izquierdo
1	15	79,2	86,4	82,8	81,7	90,3
2	19,3	81,9	86,4	84,15	85,2	93,3
3	19,9	81,1	83,7	82,4	84,6	86,2
4	16,7	81,9	84	82,95	87,5	91
5	17,1	81	84,2	82,6	83,6	88,1
6	16,3	82	83,9	82,95	92,5	92,7

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

La tabla 4.4 muestra la distancia de desaceleración que se generó al presionar el pedal de freno con la fuerza que se lo haría en una situación de pánico luego de circular a una velocidad de 50 km/h. Cabe recalcar que esta medición de distancia se la realiza con la ayuda de una cinta métrica tomando como base las huellas dejadas por el neumático al bloquearse por efecto de la acción del pedal de freno; considerando que la totalidad de las pruebas de adherencia fueron realizadas por un mismo conductor, garantizando así que la presión efectuada sobre el pedal del freno fue la misma.

Se tabula el tiempo que tarda el vehículo en detenerse luego de alcanzar los 50 Km/h y aplicar el pedal de freno, esto se obtiene mediante la desaceleración captada por el acelerómetro en el eje Y en el archivo obtenido con la ayuda de un computador para su descarga respectiva.

Tabla 4.4: Distancia y tiempo de frenado, vía asfaltada

N° de Prueba	Distancia De Frenado (m)	Tiempo Registrado De Frenado (s)	Archivo
1	7,14	2,212478	105138
2	8,1	2,283173	110039
3	7,7	2,263814	110918
4	8,3	2,245283	111402
5	7,44	2,193932	111812
6	7,26	2,142078	112418
Promedio	7.66	2,22345967	

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

En la figura 4.14 se verifica la manera en que fueron tomadas las mediciones de las huellas de frenado, así como la ubicación de los conos utilizados como punto referencia para identificar el lugar aproximado en que el automotor alcanza los 50 km/h.



Figura 4.14: Medición de distancia de frenado en superficie asfaltada
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

Los datos recogidos por el acelerómetro durante las pruebas de campo permiten generar una gráfica en donde se evidencia la reducción de velocidad con relación al tiempo en que el vehículo se detiene. En la figura 4.15 se muestra que el vehículo alcanza inicialmente una velocidad constante, que para este caso es de 50 km/h y que al aplicar el pedal de freno se genera una variación que corresponde a la desaceleración paulatina que experimenta el automóvil hasta detenerse por completo. Cabe destacar que se genera una gráfica de tipo instantánea, ya que los valores son arrojados e interpretados por el acelerómetro de forma inmediata; al igual que se verifica que son datos absolutos debido a su precisión.

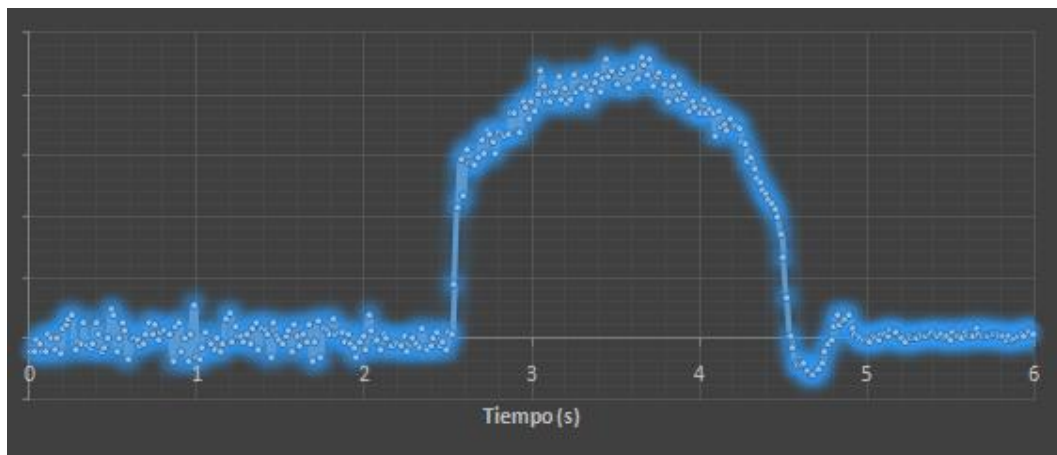


Figura 4.15: Oscilación vertical Vs. tiempo promedio, vía asfaltada
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

Para la obtención del tiempo promedio de desaceleración originado a partir de las seis pruebas efectuadas en superficie asfáltica, se marcó en la gráfica generada de cada prueba, el

punto más cercano al eje de las X en donde inicia la variación de la curva y el punto final en donde termina la misma.

Tomando en cuenta el principio de Pareto, se aplica una línea de tendencia con un período de 20 que representa el 20% de los resultados más relevantes de la curva; teniendo que la consecuencia de este porcentaje causa el 80% de la tendencia de la misma; lo cual se demuestra al comparar la curva inicial con la línea de tendencia en donde se eliminan aquellos valores irrelevantes, sin modificar drásticamente su comportamiento y mostrando una imagen más clara y didáctica que indica los cambios de aceleración experimentados por el automóvil al variar su velocidad por efecto de la aplicación del freno, es decir es una línea que representa de mejor manera al comportamiento real de la línea de desaceleración teórica , tal como se observa en la figura 4.16.

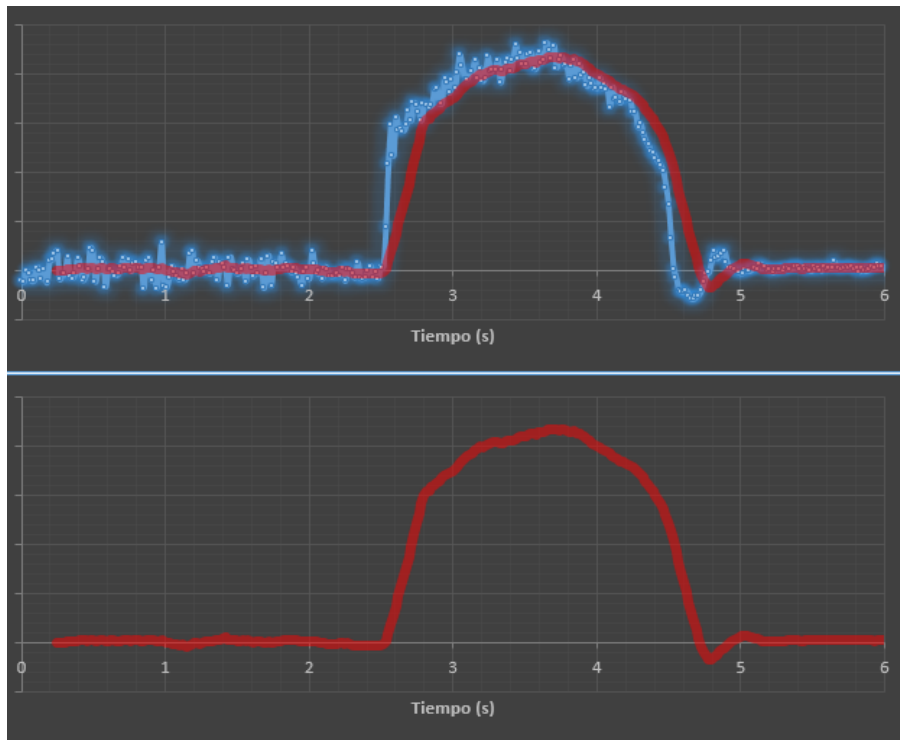


Figura 4.16: Línea de tendencia, oscilación vertical Vs. tiempo promedio, vía asfaltada
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

4.4.2 Datos obtenidos en superficie adoquinada.

El procedimiento efectuado para obtener los valores necesarios para el análisis de las pruebas de desaceleración en superficie adoquinada corresponde a los mismos llevados a cabo para la vía asfaltada; Presentando en la tabla 4.5 sus resultados.

Tabla 4.5: Datos obtenidos en superficie adoquinada

N° de Prueba	T° Ambiente	T° Inicial De Discos De Freno		Promedio	T° Final De Los Discos De Freno	
		Derecho	Izquierdo		Derecho	Izquierdo
1	17,3	74,9	78,2	76,55	83,5	85,7
2	17,2	75,4	81,2	78,3	82,6	84,3
3	17,8	75,8	79,8	77,8	81,4	87
4	16	76,7	78,4	77,55	79,6	84,2
5	16,3	77	79,3	78,15	86,1	87,5
6	16	74,6	78,7	76,65	87	89,4

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

Se evidencia en la tabla 4.6 la distancia y tiempo de desaceleración generado en la vía adoquinada, en donde, se observa un incremento en ambos parámetros, lo cual será analizado con detenimiento en el capítulo 5; de igual manera se expone en dicha tabla el número de archivo arrojado por el acelerómetro que sustenta la obtención del tiempo de frenado.

Tabla 4.6: Distancia y tiempo de frenado, vía adoquinada

N° de Prueba	Distancia De Frenado (m)	Tiempo Registrado De Frenado (s)	Archivo
1	10,7	2,550025	121145
2	10,9	2,335713	121705
3	10,6	2,333639	122052
4	10,55	2,352125	122419
5	10,58	2,404584	122726
6	10,55	2,460569	123240
Promedio	10,65	2,40610917	

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

En la figura 4.17 se observa las huellas dejadas por el neumático durante su desaceleración, lo cual permite tomar la distancia en la que el automotor logra detenerse por completo. Es importante identificar con la ayuda de una tiza, las huellas que ya han sido tomadas en consideración, para evitar obtener datos erróneos que no arrojen resultados reales.



Figura 4.17: Medición de distancia de frenado en superficie adoquinada
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

Se presenta como figura 4.18 a la gráfica generada por el acelerómetro a partir de los datos capturados por el mismo con relación a la oscilación vertical Vs el tiempo en que se detiene el vehículo de pruebas. Se observa la variante de la curva con relación a la figura obtenida en superficie adoquinada.

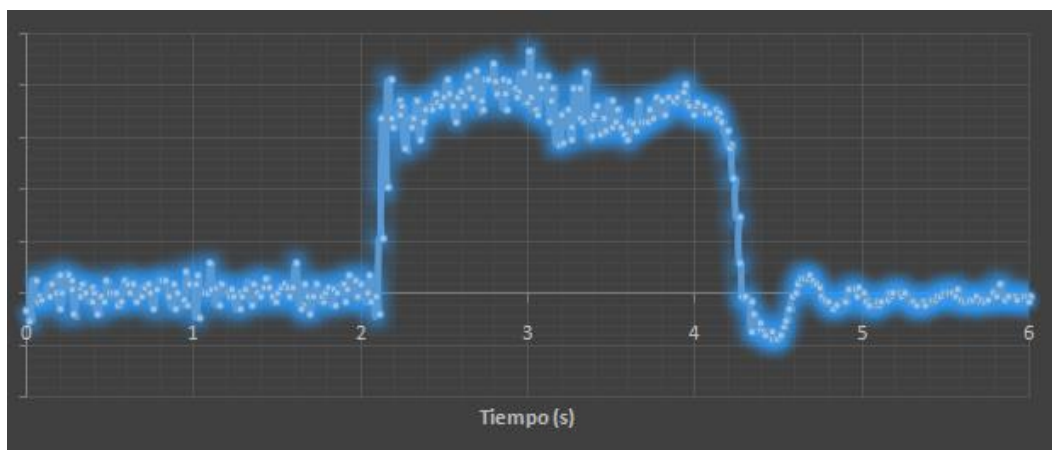


Figura 4.18: Oscilación vertical Vs. tiempo promedio, vía adoquinada
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

A partir de la figura 4.18 se genera la línea de tendencia de la curva para apreciar de mejor manera la trayectoria de la misma, lo cual se observa en la figura 4.19 que se presenta a continuación.

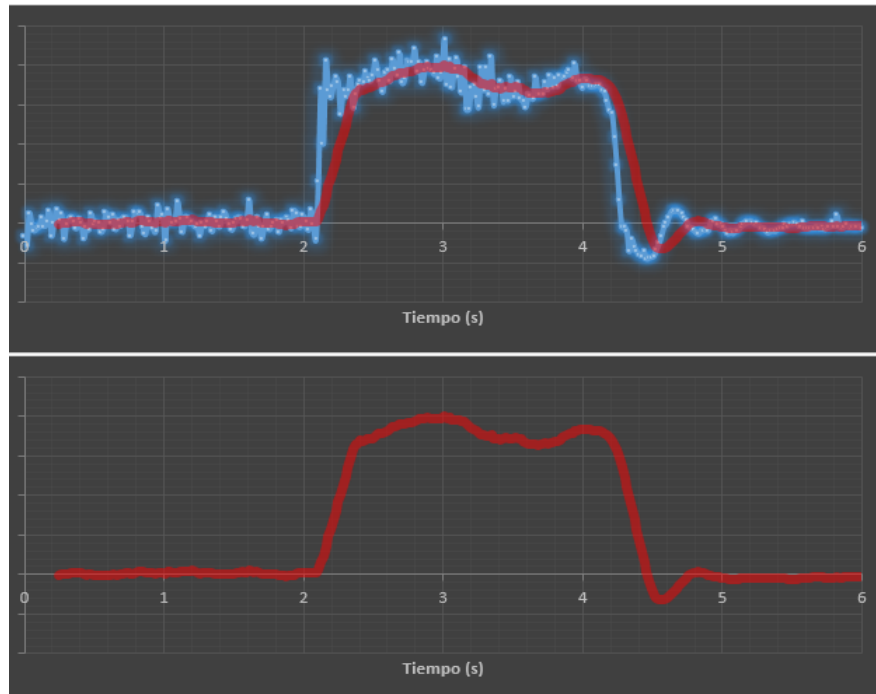


Figura 4.19: Línea de tendencia, oscilación vertical Vs. tiempo, vía adoquinada
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

4.4.3 Datos obtenidos en superficie empedrada.

Los resultados generados en las seis pruebas realizadas en esta vía, arrojan los resultados que se presentan en la tabla 4.7, en donde se verifica la temperatura ambiente y la de los discos de freno antes de hacer las pruebas de adherencia.

Tabla 4.7: Datos obtenidos en superficie empedrada

N° de Prueba	T° Ambiente	T° Inicial De Discos De Freno		Promedio	T° Final De Los Discos De Freno	
		Derecho	Izquierdo		Derecho	Izquierdo
1	19,2	63,6	66,9	65,25	70,2	71,3
2	20	64,1	69,9	67	76,8	83,5
3	17,2	64,5	68,5	66,5	81,3	84,4
4	17	65,4	67,1	66,25	71,2	75,6
5	16,2	65,7	68	66,85	70,4	73,1
6	17,4	63,3	67,4	65,35	71,9	76,9

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

En la tabla 4.8 se evidencia el tiempo y distancia que recorre el vehículo hasta que se detiene completamente, así como el número de archivo que facilitará la tabulación de datos.

Tabla 4.8: Distancia y tiempo de frenado, vía empedrada

N° de Prueba	Distancia De Frenado (m)	Tiempo Registrado De Frenado (s)	Archivo
1	12	2,210655	131948
2	12,5	2,478551	132331
3	12,08	2,68928	132617
4	13	2,778587	132856
5	12,1	2,706194	133200
6	12,12	2,638126	133547
Promedio	12,3	2,5835655	

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

En la figura 4.20 se percata de la medición realizada en las huellas dejadas por los neumáticos en la vía empedrada que facilitan la obtención de la distancia en que el vehículo se detiene totalmente, pudiendo evidenciar que requiere de una mayor distancia y un mayor tiempo para hacerlo con relación a la vía asfaltada y adoquinada.



Figura 4.20: Medición de distancia de frenado en superficie empedrada

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

Se puede notar en la figura 4.21 cómo la gráfica expone la irregularidad de la vía, generando oscilaciones en la tendencia del dibujo como resultado de la absorción de la

irregularidad de la vía por el sistema de suspensión; dicha irregularidad disminuye el tiempo constante de contacto que los neumáticos experimentan con relación a la vía de contacto, que en este caso es la empedrada.

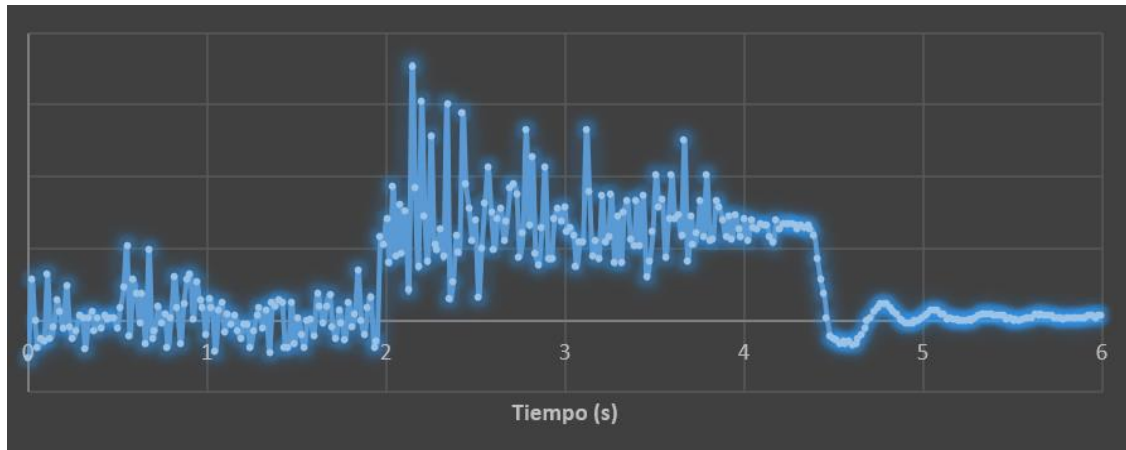


Figura 4.21: Oscilación vertical Vs. tiempo promedio, vía empedrada
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

La figura 4.22 muestra la línea de tendencia de la gráfica eliminando aquellos datos que son producto netamente de la oscilación del vehículo por efecto del tipo de vía de circulación, dejando una imagen más clara de la trayectoria real de la curva.

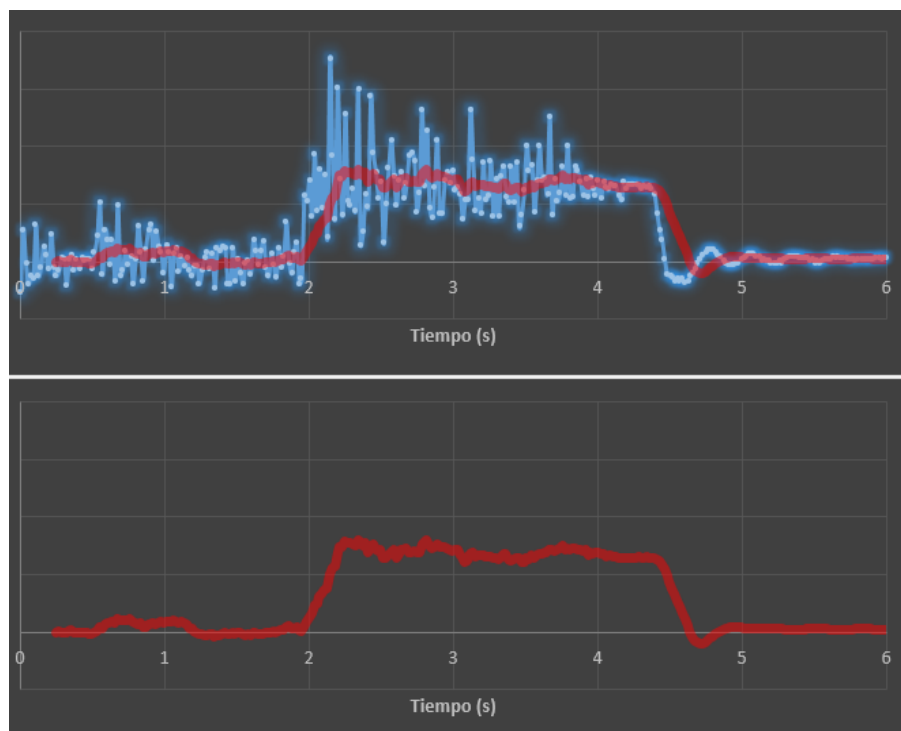


Figura 4.22: Línea de tendencia, Oscilación vertical Vs. tiempo promedio, vía empedrada
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

4.5 Cálculo de adherencia de la calzada

Una vez que se han analizado las distancias de frenado, expuestas anteriormente mediante gráficas y que se han determinado los tiempos de frenado en cada una de las vías seleccionadas, se procede a realizar el cálculo del coeficiente de adherencia con relación a la calzada; es decir, se obtiene el valor de adherencia en la vía asfaltada, en la vía adoquinada y en la vía con superficie empedrada, con el fin de un análisis y presentación de resultados como objetivo de esta investigación.

Es indispensable desarrollar las siguientes ecuaciones para obtener el coeficiente de adherencia, las mismas que son detalladas y especificadas a continuación. Como primer punto se aplica la EC. [4.5] identificando el coeficiente de frenado a través del tiempo de frenado (t) que difiere en relación a cada una de las superficies de rodadura investigadas.

$$Z_m = \frac{0.566}{t} \quad \text{EC. [4.5]}$$

Donde:

Z_m Coeficiente de frenado

t Tiempo de frenado (específico para cada superficie)

El valor de coeficiente de frenado calculado se lo reemplaza en la EC. [4.6] y EC. [4.7] que corresponden al coeficiente de adherencia tanto en el eje delantero como en el eje posterior del vehículo, así como los datos obtenidos anteriormente de fuerzas, y distancias.

$$K_2 = \frac{Z_m P g - 0.015 F_1}{F_2 + \frac{h}{(a+b)} Z_m P g} \quad \text{EC. [4.6]}$$

Donde:

K_2 Coeficiente de adherencia eje Delantero

Z_m Coeficiente de frenado

- P Masa del vehículo
- g Gravedad
- F_1 Fuerza en el eje Posterior
- F_2 Fuerza en el eje Delantero
- h Altura del centro de gravedad del vehículo
- a Distancia desde el eje posterior al centro de gravedad
- b Distancia del eje delantero al centro de gravedad

$$K_1 = \frac{Z_m P g - 0.015 F_2}{F_1 + \frac{h}{(a+b)} Z_m P g} \quad \text{EC. [4.7]}$$

Donde:

- K_1 Coeficiente de adherencia eje posterior
- Z_m Coeficiente de frenado
- P Masa del vehículo
- g Gravedad
- F_2 Fuerza en el eje Delantero
- F_1 Fuerza en el eje Posterior
- h Altura del centro de gravedad del vehículo
- a Distancia desde el eje posterior al centro de gravedad
- b Distancia del eje delantero al centro de gravedad

A continuación es indispensable definir el coeficiente de frenado máximo con la EC. [4.8] mediante el tiempo de frenado para cada una de las vías, de esta manera continuar con el cálculo de las fuerzas dinámicas.

$$Z_{AL} = \frac{0.849}{t} \quad \text{EC. [4.8]}$$

Donde:

- Z_{AL} Coeficiente de frenado máximo
- t Tiempo de frenado (específico para cada superficie)

Se procede a sustituir Z_{AL} en la EC. [4.9] y en la EC. [4.10] con el fin de conocer el valor de la Fuerza Dinámica en el eje Posterior y la Fuerza Dinámica en el eje Delantero, a continuación se detallan las ecuaciones respectivamente.

$$F_{2dym} = F_2 + \frac{h}{(a+b)} Z_{AL} P g \quad \text{EC. [4.9]}$$

Donde:

F_{2dym} Fuerza dinámica en el eje Delantero

F_2 Fuerza en el eje Delantero

h Altura del centro de gravedad del vehículo

a Distancia desde el eje posterior al centro de gravedad

b Distancia del eje delantero al centro de gravedad

Z_{AL} Coeficiente de frenado máximo

P Masa del vehículo

g Gravedad

$$F_{1dym} = F_1 - \frac{h}{(a+b)} Z_{AL} P g \quad \text{EC. [4.10]}$$

Donde:

F_{1dym} Fuerza dinámica en el eje Posterior

F_1 Fuerza en el eje Posterior

h Altura del centro de gravedad del vehículo

a Distancia desde el eje posterior al centro de gravedad

b Distancia del eje delantero al centro de gravedad

Z_{AL} Coeficiente de frenado máximo

P Masa del vehículo

g Gravedad

Obteniendo el coeficiente de adherencia en cada uno de los ejes es posible determinar el coeficiente de adherencia del vehículo tal como se lo detalla en la EC. [4.11] a través de la masa del automotor y la gravedad.

$$K_M = \frac{K_2 F_{2dym} + K_1 F_{1dym}}{P g} \quad \text{EC. [4.11]}$$

Donde:

K_M Coeficiente De Adherencia Del Vehículo

K_1 Coeficiente de adherencia eje posterior

F_{1dym} Fuerza dinámica en el eje Posterior

K_2 Coeficiente de adherencia eje Delantero

F_{2dym} Fuerza dinámica en el eje Delantero

P Masa del vehículo

g Gravedad

Finalmente los datos y cálculos obtenidos son aplicados en la EC. [4.12] por medio de los valores definidos a continuación.

$$\varepsilon = \frac{Z_{AL}}{K_M} \quad \text{EC. [4.12]}$$

Donde:

ε Coeficiente de adherencia de la calzada

Z_{AL} Coeficiente de frenado máximo

K_M Coeficiente De Adherencia Del Vehículo

Se procede a realizar los cálculos desarrollando las ecuaciones anteriormente definidas, con los datos obtenidos en la investigación y las pruebas de ruta aplicadas al vehículo Chevrolet Sail, con el objeto de demostrar y sustentar matemáticamente los procesos utilizados, cabe recalcar que esta demostración matemática se efectúa para cada una de las

superficies de rodadura, es decir, se obtendrán tres valores que corresponden a la superficie asfaltada, adoquinada y otro valor para la superficie empedrada.

4.5.1 Desarrollo cálculo de coeficiente de adherencia de la calzada.

Para continuar con el desarrollo de los cálculos de coeficiente de adherencia, en las diferentes calzadas, es indispensable enlistar los datos obtenidos anteriormente para la aplicación en cada una de las fórmulas y ecuaciones descritas, así es posible analizar las diferentes variables e incógnitas que se requiere obtener. Cabe señalar que la mínima variación en los valores a calcular, refieren a la cantidad de números decimales que se aplique en cada una de las fórmulas.

Datos

$$P = 1070 \text{ kg}$$

$$F_1 = 410 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4022.1 \text{ N}$$

$$F_2 = 665 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 6523.65 \text{ N}$$

$$a = 1.476 \text{ m}$$

$$b = 0.988 \text{ m}$$

$$h = 0.544 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

4.5.1.1 Vía asfaltada.

Una vez enlistados los datos obtenidos en las pruebas realizadas se aplican las diferentes ecuaciones, empezando por la vía con calzada asfaltada, para la cual el tiempo de frenado es específico $t_{Asfalto} = 2.225$.

Partiendo de la ecuación:

$$Z_m = \frac{0.566}{t_{Asfalto}} \quad \text{EC. [4.5]}$$

$$Z_m = \frac{0.566}{2.225}$$

$$\mathbf{Z_m = 0.254}$$

$$K_2 = \frac{Z_m P g - 0.015 F_1}{F_2 + \frac{h}{(a+b)} Z_m P g} \quad \text{EC. [4.6]}$$

$$K_2 = \frac{(0.254)(1070 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2}) - (0.015)(410 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})}{(665 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2}) + \frac{0.544 \text{ m}}{(1.476+0.988)m} (0.254)(1070 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})}$$

$$K_2 = \frac{2605.830 \text{ N}}{7112.2831 \text{ N}}$$

$$\mathbf{K_2 = 0.366}$$

$$K_1 = \frac{Z_m P g - 0.015 F_2}{F_1 + \frac{h}{(a+b)} Z_m P g} \quad \text{EC. [4.7]}$$

$$K_1 = \frac{(0.254)(1070 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2}) - (0.015)(665 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})}{(410 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2}) + \frac{0.544}{(1.476+0.988)} (0.254)(1070 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})}$$

$$K_1 = \frac{2568.307 \text{ N}}{4610.733 \text{ N}}$$

$$\mathbf{K_1 = 0.557}$$

$$Z_{AL} = \frac{0.849}{t_{Asfalto}} \quad \text{EC. [4.8]}$$

$$Z_{AL} = \frac{0.849}{2.225}$$

$$\mathbf{Z_{AL} = 0.381}$$

$$F_{2dym} = F_2 + \frac{h}{(a+b)} Z_{AL} P g \quad \text{EC. [4.9]}$$

$$F_{2dym} = (665 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2}) + \frac{0.544 \text{ m}}{(1.476 + 0.988)m} (0.381) (1070 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$\mathbf{F_{2dym} = 7406.599 \text{ N}}$$

$$F_{1dym} = F_1 - \frac{h}{(a+b)} Z_{AL} P g \quad \text{EC. [4.10]}$$

$$F_{1dym} = (410 \text{ kg}) (9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) - \frac{0.544 \text{ m}}{(1.476 + 0.988)\text{m}} (0.381) (1070 \text{ kg})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$F_{1dym} = 3139.150 \text{ N}$$

$$K_M = \frac{K_2 F_{2dym} + K_1 F_{1dym}}{P g} \quad \text{EC. [4.11]}$$

$$K_M = \frac{(0.366)(7406.599 \text{ N}) + (0.557)(3139.150 \text{ N})}{(1070 \text{ kg})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$K_M = \frac{4459.321 \text{ N}}{10496.7 \text{ N}}$$

$$K_M = 0.425$$

$$\varepsilon = \frac{Z_{AL}}{K_M} \quad \text{EC. [4.12]}$$

$$\varepsilon = \frac{0.381}{0.425}$$

$$\varepsilon = 0.896$$

4.5.1.2 Vía Adoquinada.

En la vía con superficie adoquinada el tiempo corresponde a $t_{Adoquin} = 2.406$ segundos, así se determina el coeficiente de frenado y coeficientes de adherencia en cada eje para finalmente obtener el coeficiente de adherencia de la calzada.

Partiendo de la ecuación:

$$Z_m = \frac{0.566}{t_{Adoquin}} \quad \text{EC. [4.5]}$$

$$Z_m = \frac{0.566}{2.406}$$

$$Z_m = 0.235$$

$$K_2 = \frac{Z_m P g - 0.015 F_1}{F_2 + \frac{h}{(a+b)} Z_m P g} \quad \text{EC. [4.6]}$$

$$K_2 = \frac{(0.235)(1070 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2}) - (0.015)(410 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})}{(665 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2}) + \frac{0.544 \text{ m}}{(1.476+0.988)m} (0.235)(1070 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})}$$

$$K_2 = \frac{2406.393 \text{ N}}{7068.251 \text{ N}}$$

$$K_2 = \mathbf{0.340}$$

$$K_1 = \frac{Z_m P g - 0.015 F_2}{F_1 + \frac{h}{(a+b)} Z_m P g} \quad \text{EC. [4.7]}$$

$$K_1 = \frac{(0.235)(1070 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2}) - (0.015)(665 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})}{(410 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2}) + \frac{0.544 \text{ m}}{(1.476+0.988)m} (0.235)(1070 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})}$$

$$K_1 = \frac{2368.869 \text{ N}}{4566.701 \text{ N}}$$

$$K_1 = \mathbf{0.518}$$

$$Z_{AL} = \frac{0.849}{t_{Adoquin}} \quad \text{EC. [4.8]}$$

$$Z_{AL} = \frac{0.849}{2.406}$$

$$Z_{AL} = \mathbf{0.352}$$

$$F_{2dym} = F_2 + \frac{h}{(a+b)} Z_{AL} P g \quad \text{EC. [4.9]}$$

$$F_{2dym} = (665 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2}) + \frac{0.544 \text{ m}}{(1.476 + 0.988)m} (0.352) (1070 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$F_{2dym} = \mathbf{7339.393 \text{ N}}$$

$$F_{1dym} = F_1 - \frac{h}{(a+b)} Z_{AL} P g \quad \text{EC. [4.10]}$$

$$F_{1dym} = (410 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2}) - \frac{0.544 \text{ m}}{(1.476 + 0.988)m} (0.352) (1070 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$F_{1dym} = \mathbf{3206.356 \text{ N}}$$

$$K_M = \frac{K_2 F_{2dym} + K_1 F_{1dym}}{P g} \quad \text{EC. [4.11]}$$

$$K_M = \frac{(0.340)(7339.393 \text{ N}) + (0.518)(3206.356 \text{ N})}{(1070 \text{ kg})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$K_M = \frac{4156.286 \text{ N}}{10496.7 \text{ N}}$$

$$K_M = 0.396$$

$$\varepsilon = \frac{Z_{AL}}{K_M} \quad \text{EC. [4.12]}$$

$$\varepsilon = \frac{0.352}{0.396}$$

$$\varepsilon = 0.888$$

4.5.1.3 Vía empedrada.

A continuación se realizan los cálculos correspondientes a la vía con superficie de rodadura empedrada, para la misma, el tiempo de frenado correspondiente es $t_{Empedrado} = 2.583$ segundos.

Partiendo de la ecuación:

$$Z_m = \frac{0.566}{t_{Empedrado}} \quad \text{EC. [4.5]}$$

$$Z_m = \frac{0.566}{2.583}$$

$$Z_m = 0.219$$

$$K_2 = \frac{Z_m P g - 0.015 F_1}{F_2 + \frac{h}{(a+b)} Z_m P g} \quad \text{EC. [4.6]}$$

$$K_2 = \frac{(0.219)(1070 \text{ kg})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) - (0.015)(410 \text{ kg})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}{(665 \text{ kg})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) + \frac{0.544 \text{ m}}{(1.476+0.988)\text{m}} (0.219)(1070 \text{ kg})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$K_2 = \frac{2239.254 \text{ N}}{7031.350 \text{ N}}$$

$$K_2 = 0.318$$

$$K_1 = \frac{Z_m P g - 0.015 F_2}{F_1 + \frac{h}{(a+b)} Z_m P g} \quad \text{EC. [4.7]}$$

$$K_1 = \frac{(0.219)(1070 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2}) - (0.015 \text{ kg})(665 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})}{(410 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2}) + \frac{0.544 \text{ m}}{(1.476+0.988)m} (0.219)(1070 \text{ kg})(9.81)}$$

$$K_1 = \frac{2201.730 \text{ N}}{4529.800 \text{ N}}$$

$$K_1 = 0.486$$

$$Z_{AL} = \frac{0.849}{t_{Empedrado}} \quad \text{EC. [4.8]}$$

$$Z_{AL} = \frac{0.849}{2.583}$$

$$Z_{AL} = 0.328$$

$$F_{2dym} = F_2 + \frac{h}{(a+b)} Z_{AL} P g \quad \text{EC. [4.9]}$$

$$F_{2dym} = (665 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2}) + \frac{0.544 \text{ m}}{(1.476 + 0.988)m} (0.3286156) (1070 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$F_{2dym} = 7285.201 \text{ N}$$

$$F_{1dym} = F_1 - \frac{h}{(a+b)} Z_{AL} P g \quad \text{EC. [4.10]}$$

$$F_{1dym} = (410 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2}) - \frac{0.544 \text{ m}}{(1.476 + 0.988)m} (0.328) (1070 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$F_{1dym} = 3260.548 \text{ N}$$

$$K_M = \frac{K_2 F_{2dym} + K_1 F_{1dym}}{P g} \quad \text{EC. [4.11]}$$

$$K_M = \frac{(0.318)(7285.201 \text{ N}) + (0.486)(3260.548 \text{ N})}{(1070 \text{ kg})(9.81 \frac{m}{s^2})}$$

$$K_M = \frac{3904.902 \text{ N}}{10496.7 \text{ N}}$$

$$K_M = 0.372$$

$$\varepsilon = \frac{Z_{AL}}{K_M} \quad \text{EC. [4.12]}$$

$$\varepsilon = \frac{0.328}{0.372}$$

$$\varepsilon = \mathbf{0.881}$$

4.6 Cálculo de la desaceleración del vehículo

Es importante tomar en cuenta el cálculo de la desaceleración que experimenta el vehículo en cada una de las calzadas, debido a que, permite tener una noción clara de la distancia y tiempo que requiere el automotor para detenerse luego de haber alcanzado una velocidad de 50 km/h. Técnicamente, la desaceleración se la define como la variación negativa de la velocidad con respecto al tiempo, que en este caso se considera el tiempo que tarda el vehículo, sujeto a pruebas, en detenerse a partir de que se presiona el pedal del freno a los 50 km/h en cada una de las superficies de rodadura de esta investigación. La EC. [4.13] plantea las variables que deben ser consideradas para desarrollar estos cálculos.

$$a = \frac{V_f - V_i}{t} \quad \text{EC. [4.13]}$$

Donde

a Aceleración y/o Desaceleración

V_f Velocidad Final del vehículo

V_i Velocidad Inicial del vehículo

t Tiempo transcurrido

Para el desarrollo de los cálculos que se detallan a continuación se considera la velocidad inicial como la velocidad alcanzada previa a la ejecución de la desaceleración y detención de automotor en relación al tiempo específico para cada una de las superficies seleccionadas

Datos:

$$V_o = 50 \frac{km}{h} = 13.888 \frac{m}{s}$$

$$V_f = 0 \frac{m}{s}$$

$$t_{Asfalto} = 2.225$$

$$t_{Adoquin} = 2.406$$

$$t_{Empedrado} = 2.583$$

$$a_{Asfalto} = \frac{V_f - V_i}{t_{Asfalto}}$$

$$a_{Asfalto} = \frac{0 - 13.888 \frac{m}{s}}{2.225 s}$$

$$a_{Asfalto} = (-) 6.241 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{Adoquin} = \frac{V_f - V_i}{t_{Adoquin}}$$

$$a_{Adoquin} = \frac{0 - 13.888 \frac{m}{s}}{2.406 s}$$

$$a_{Adoquin} = (-) 5.772 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{Empedrado} = \frac{V_f - V_i}{t_{Empedrado}}$$

$$a_{Empedrado} = \frac{0 - 13.888 \frac{m}{s}}{2.583 s}$$

$$a_{Empedrado} = (-) 5.376 \frac{m}{s^2}$$

4.7 Análisis de resultados obtenidos en pruebas

Mediante los resultados generados durante la ejecución de las pruebas de desaceleración, se obtienen datos específicos con relación al tiempo y la distancia de frenado en cada una de las vías escogidas, permitiendo compararlos objetivamente para sacar conclusiones claras de la adherencia encontrada de acuerdo a la superficie de contacto con el mismo vehículo y neumático. En la figura 4.23 se visualiza la distancia promedio de frenado para cada vía.

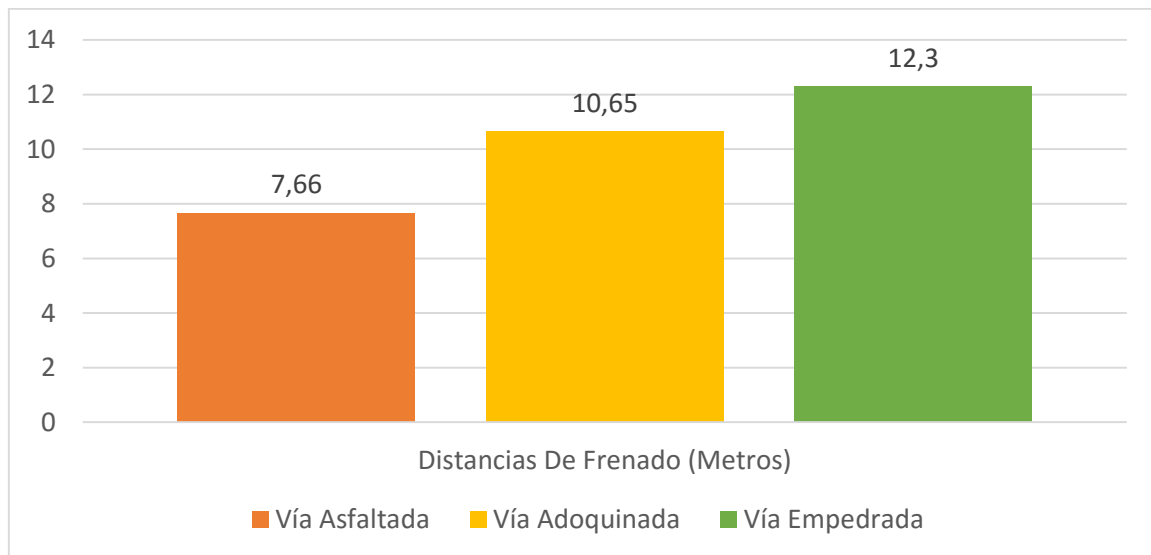


Figura 4.23: Distancias de frenado obtenidas en pruebas de adherencia
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

Tomando en cuenta las oscilaciones que experimenta el vehículo, como efecto de las irregularidades de la calzada y su influencia con el rozamiento necesario entre los neumáticos y la vía, se determina que mientras mayores son dichas oscilaciones, menor tiempo de contacto tienen los neumáticos con la superficie de rozamiento; incidiendo directamente en la distancia de desaceleración. Por esta causa se observa en la en la figura 4.23 que en la superficie empedrada existe un aumento considerable de la distancia de frenado con relación a la asfaltada y adoquinada.

En la figura 4.24 se muestra el tiempo promedio de desaceleración para cada una de las calzadas escogidas, en donde se demuestra que el vehículo Chevrolet Sail equipado con

neumáticos marca Continental 185/60/R14 logra un menor tiempo de frenado en la vía asfaltada y uno mayor en la empedrada; de igual manera como producto de la reducción o aumento del tiempo de contacto sin interferencias entre el neumático y la calzada.

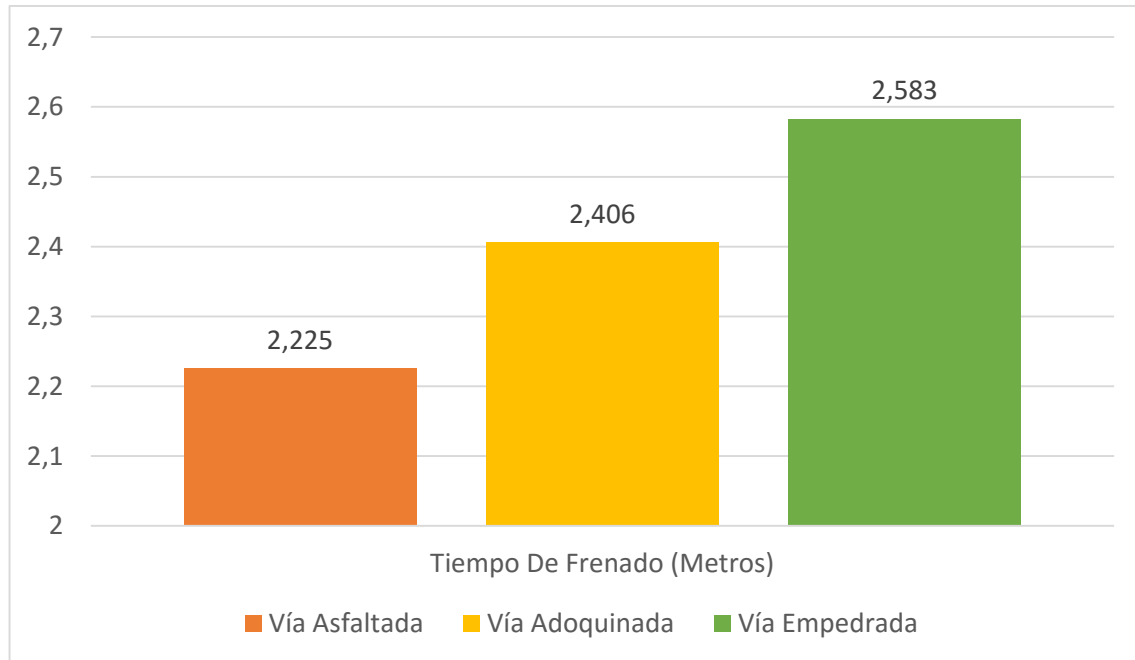


Figura 4.24: Tiempos de frenado obtenidos en pruebas de adherencia
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

Partiendo del concepto de coeficiente máximo de frenado, que se refiere a la medida de fricción entre el neumático y la calzada de contacto, cuando éste se encuentra en rotación; se determina que dicho valor representa a la fricción máxima que debe tener la vía para la ejecución de las pruebas de adherencia según la Norma ECE-13H; en la cual se estipula que para la vía asfaltada debe encontrarse en un valor nominal mínimo de 0,3 y máximo de 0,9.

En la figura 4.25 se observa el resultado final del coeficiente máximo de frenado en la vía asfaltada, adoquinada y empedrada, mostrando que las pruebas efectuadas han cumplido con lo que la Norma ECE-13H solicita para la calzada asfaltada. Cabe señalar que no existe parámetro de referencia para las otras dos vías analizadas, sin embargo, se observa que se encuentran de igual manera dentro del rango permitido.

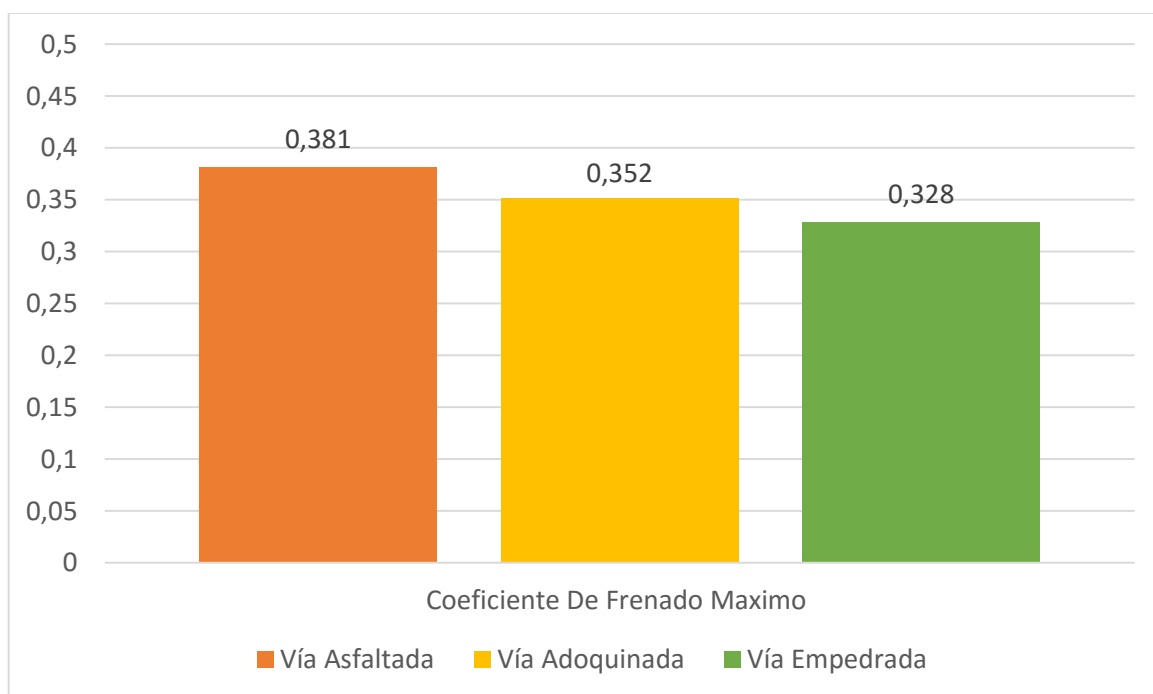


Figura 4.25: Coeficientes de frenado máximo obtenidos
Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

La tabla 4.9 es una comparativa de los valores establecidos en tablas de coeficiente de adherencia y los valores obtenidos mediante las pruebas de ruta realizadas en las vías que conforman la red vial del Ecuador de la zona Andina, basados en la norma ECE -13H.

Tabla 4.9: Comparativa de los valores de coeficientes de adherencia

COEFICIENTES DE ADHERENCIA	
VALORES ESTABLECIDOS EN TABLAS	
Superficie	Valores
Asfalto o alquitrán	
Nuevo, liso	0.8 – 1.20
Usado	0.60 – 0.80
Adoquín	
Nuevo, liso	0.75 – 0.95
Pulimentado por el tráfico	0.60 – 0.80
Piedra compacta	
Nuevo, liso	0.75 – 1.00
Pulimentado por el tráfico	0.50 – 0.70
VALORES DETERMINADOS EN PRUEBAS RED VIAL	
Superficie	Valores
Asfaltada	0.896
Adoquinada	0.888
Empedrada	0.881

Fuente: Cevallos C., Ruiz R.

Se verifica que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango permitido en relación a las tablas de adherencia preestablecidas, las mismas que han sido desarrolladas bajo condiciones ideales, por esta razón se demuestra que los neumáticos instalados en los vehículos Chevrolet Sail con relación a las vías de nuestro entorno cumplen con los estándares internacionales ya que poseen un valor de coeficiente de adherencia de 0.8 aproximadamente en cada una de las superficies estudiadas. La normativa ECE- 13H indica que dicho coeficiente debe ser mayor a 0.75, siendo este valor directamente proporcional a la adherencia, es decir que un valor menor corresponde a superficies como: grava, tierra seca, piedra machada, nieve dura y hielo, superficies en las cuales los neumáticos corren el riesgo de deslizamiento.

Cabe mencionar que la variación de los valores de adherencia corresponden en gran medida a las condiciones de la vía por la cual se circula, esto quiere decir que se obtiene un valor máximo de coeficiente en una calzada seca y limpia, mientras que en una vía sucia o mojada este valor disminuye, también depende de la velocidad a la cual circula el automotor, ya que en una eventual emergencia, al presionar el pedal de freno, las ruedas podrían bloquearse y por ende perder la tracción necesaria para detener o controlar el automotor. Consideraciones como materiales utilizados para la vía o nivel de desgaste de acuerdo a una alta circulación y el porcentaje de desgaste de los neumáticos; son factores que marcan diferencia en los valores determinados, si bien es cierto que las variaciones son mínimas es de vital importancia analizar todos y cada uno de los elementos al momento de conducir.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La investigación realizada, que se basa en la puesta en práctica de la Normativa Europea adoptada como sustento teórico, ha permitido que mediante las pruebas llevadas a cabo con el cumplimiento a cabalidad de los procedimientos y exigencias de la Norma ECE-13H, en los tres tipos de superficies de contacto que conforman mayoritariamente a la Red Vial del Ecuador, se generen resultados analizables matemáticamente, de los cuales se obtienen los coeficientes de rozamiento que permiten identificar que el mayor coeficiente de adherencia del vehículo Chevrolet Sail equipado con neumáticos de serie Continental General Tire se lo obtiene cuando éste tiene como superficie de contacto a la calzada asfaltada; lo que quiere decir que las ruedas de este vehículo tienden a girar menos veces desde el momento en que se oprime el pedal del freno hasta que se detiene en la superficie asfaltada vs. la adoquinada y empedrada. Lo cual, basados en el análisis de resultados, es por la incidencia directa del coeficiente máximo de frenado y el tiempo de contacto que tienen los neumáticos del automotor con la calzada de prueba, ya que, en la vía adoquinada y empedrada, se experimentan mayores oscilaciones que no son absorbidas en su totalidad por el sistema de suspensión del vehículo y se convierten en intervalos irregulares y no consecutivos de rozamiento entre la vía y los neumáticos.
- Se concluye que los resultados obtenidos con relación a la adherencia presentada por los neumáticos en las diferentes superficies de contacto, es directamente proporcional a varios factores tales como a la presión de llenado de las llantas, debido a que el neumático dependiendo de su presión, experimenta un mayor o un menor ángulo de deriva; el cual

influye directamente en la dinámica vehicular y en la cantidad de superficie de contacto de la banda de rodadura con relación al suelo. Otro factor importante es el estado de los neumáticos en cuanto a la profundidad de su dibujo, ya que mientras éste más se acerca a la condición mínima recomendada por los fabricantes, menor es su capacidad de detenerse, aumentando considerablemente la distancia de desaceleración porque se disminuye paulatinamente la propiedad de eliminar adecuadamente elementos como tierra, grava, agua, entre otros que perjudican la adherencia al situarse entre la banda de rodadura y la vía de contacto. Partiendo de que en la calzada empedrada al igual que en la adoquinada se encuentra una mayor presencia de tierra suelta, propia de las condición geográfica del Ecuador, se determina que es de igual manera uno de los factores principales que influyen en la disminución de adherencia y aumento de distancia de frenado.

- Se concluye durante la investigación que existe una incidencia indiscutible de la resistencia a la rodadura del neumático con relación a los valores obtenidos de distancia de desaceleración, ya que dicha fuerza negativa con relación al sentido de giro del neumático, aporta con un aumento de la resistencia al giro y por ende con una disminución de la distancia de desaceleración, la cual aumenta progresivamente en relación a la temperatura de la banda de rodadura y sus partes adyacentes; sin embargo es perjudicial para la eficiencia del vehículo en cuanto a su consumo de combustible, debido a que los neumáticos consumen energía de acuerdo a la temperatura que alcanzan, lo cual se convierte en una pérdida energética irre recuperable.

- Los datos arrojados en relación a los coeficientes de adherencia registrados para el eje delantero (K_2) y para el eje trasero (K_1), muestran valores diferentes, es decir mayor adherencia en el eje posterior, lo cual al analizarlo se determina que ocurre debido a la distribución de la fuerza de frenado para cada uno de ellos, ya que en la parte posterior tenemos una fuerza aproximada del 40 % y en la parte delantera un 60 %, de este modo se compensa el peso del motor situado en la parte frontal y se evita el bloqueo de las ruedas posteriores durante la desaceleración. Junto a este valor obtenido es indispensable considerar la carga del vehículo, que en esta investigación, basados mediante la normativa internacional, es de 121 kg, esto influye de manera directa sobre la superficie de contacto de la calzada debido a la diferencia del peso para cada eje. Un análisis de la altura del centro de gravedad corresponde a la dinámica del vehículo, de este modo un centro de gravedad más bajo se traduce en una mayor fuerza de atracción hacia el suelo y por ende mayor adherencia y estabilidad. Esta conclusión es corroborada matemáticamente mediante la norma ECE -13H, en la cual estos elementos son parte de las ecuaciones descritas teniendo una incidencia directa en los resultados.
- Analizados y comparados todos y cada uno de los diferentes factores que influyen en la desaceleración, en condiciones normales o durante una emergencia, se concluye que es indispensable que los vehículos cuenten con un sistema de asistencia ABS, debido a que éste al evitar el bloqueo de las ruedas del vehículo, mediante un control electrónico debidamente interpretado por el módulo del ABS gracias a las señales enviadas por los sensores de giro que se encuentran localizados en las ruedas del automotor, permite reducir considerablemente la distancia de frenado al evitar el patinamiento o deslizamiento incontrolado de los neumáticos y pérdida de control del automotor. Es entonces que se verifica que esta investigación respalda el proyecto promovido por el

Gobierno Ecuatoriano llamado “vehículos más seguros” en donde se exige su implementación para los vehículos nuevos que vayan a ser comercializados en el país; garantizando así la mejora de la seguridad para los usuarios en general.

- Obtenidos los resultados de adherencia y comparados con la estandarización descrita en la norma en donde el coeficiente de adherencia de la calzada debe ser mayor a 0.75 se concluye que se cumple con la normativa internacional, ya que el coeficiente en la vía Asfaltada es de 0.896, en la vía Adoquinada es de 0.888 y finalmente en la vía empedrada es de 0.881; verificando que los neumáticos instalados de fábrica en el vehículo marca Chevrolet Sail se desempeñan adecuadamente si se toma como base a la norma internacional ECE-13H. Se observa incluso que, los valores de adherencia resultantes de este análisis superan ampliamente a los mínimos exigidos en condiciones viales adversas a las ideales en las que no se tiene presencia de tierra suelta como es natural encontrar en la Red Vial del Ecuador.
- Se genera como conclusión final que la incorporación de elementos de origen nacional, como lo son los neumáticos, superan los estándares internacionales con relación a la adherencia; lo que demuestra claramente que este producto ecuatoriano puede ser exportado a todos aquellos países que posean una red vial similar a la nuestra y presenten como una opción adquisitiva vehicular al Chevrolet Sail o similares.

5.2 Recomendaciones

- Efectuar la conducción del vehículo, en las pruebas de adherencia, una sola persona para ejercer la misma presión de apriete sobre el pedal del freno y así garantizar los resultados.
- Calibrar el acelerómetro según Norma con una frecuencia superior a los 50HZ, para obtener mayor cantidad de datos y generar una curva de desaceleración con mayor exactitud.
- Garantizar que se cumpla con todas las estipulaciones de la Norma, con relación a las condiciones de las vías y manejo del vehículo; para efectuar el estudio basados en lo que dice la Normativa Internacional ECE-13H en la que se referencia la Norma INEN 034.
- Garantizar la seguridad de los ocupantes del vehículo durante el ensayo de pruebas de adherencia, así como la de los transeúntes y peatones. Para ello se recomienda, de ser necesario, solicitar a las autoridades competentes, el cierre temporal de las vías elegidas para las pruebas de adherencia, basados en el fin investigativo que al arrojar resultados y analizarlos, pueden contribuir con mejoras para toda la ciudadanía.
- Efectuar, antes de la ejecución de las pruebas, un reconocimiento de la vía en el que se identifiquen mediante conos guías, los lugares en donde se adquiere la velocidad estipulada por la Norma para iniciar la desaceleración.
- Se recomienda continuar con esta investigación, enfocando el análisis en la resistencia a la rodadura de las diferentes marcas de neumáticos que se encuentran disponibles en el mercado ecuatoriano; así como en las propiedades y constitución de las vías de la Red Vial, ya que son dos puntos fundamentales que inciden directamente en la adherencia y distancia de desaceleración del automotor

BIBLIOGRAFÍA

- Martín, H. J. J., & Pérez, B. M. Á. (2009). *Sistemas de seguridad y confortabilidad: grado medio*. España.
- Luque, P., & Alvarez, D. (2003). *Investigación de accidentes de tráfico “Estudio del Automóvil”*. Universidad de Oviedo. Oviedo, España.
- Mozota, A. (2011). *Gestión técnica del tráfico*. OEP.
- Post, W. (2003). *Sistemas de frenos convencionales y electrónicos*. Robert Bosch. Alemania.
- Dietsche, K. H. (2005). *Manual de la técnica del automóvil*. Robert Bosch. Alemania.
- Luque, P., & Alvarez, D. (2005) *Ingeniería del automóvil “Sistemas y comportamiento dinámico”*. Paraninfo. Magallanes, España.
- Calvo, J., & Miravete, A. (1997). *Mecánica del automóvil*. Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España.
- Águeda, E. (2012). *Sistemas de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje*. Paraninfo. España.
- Bosch, R. (2005). *Sistemas para la estabilización del vehículo*. Alemania.
- Domínguez, E. & Ferrer, J. (2012). *Sistemas de Transmisión y de frenado*. Editex. España.
- EUROMASTER. (2016). *Partes de un neumático*.
<http://www.euromaster-neumaticos.es/neumaticos/informacion/partes-de-un-neumatico>
- Aficionados a la mecánica. (2014). *Sistema ABS*.
http://www.aficionadosalamecanica.net/sistema_abs.htm
- Alvarez, J. L. (13 de 07 de 2015). *La seguridad pasiva* .

<http://es.slideshare.net/tuteorica/16-la-seguridad-pasiva>

- Auto 10. (s.f). *Nuevos coches, reportajes y pruebas.*
<http://www.auto10.com/>
- Autoslosan. (24 de 10 de 2011). *AIXAM GTO con sistema de frenos ABS.*
<http://www.autoslosan.com/coches-motos-las-palmas/aixam-gto-con-sistema-de-frenos-abs/>
- Autoverwertung. (2009). *ABS/ESP Hydraulic unit VW 6X0-614-517 1C0-907-379 Ate*
<http://www.tav-autoverwertung.de/shop/ABS-ESP-Hydraulic-unit-VW-6X0-614-517-1C0-907-379-Ate-10020402224-10094703073>
- CHW. (15 de 11 de 2005). *Como saber si un vehículo usado tiene ABS? .*
<http://www.chw.net/foro/automoviles/1147021-saber-si-vehiculo-usado-tiene-abs.html>
- Continental Neumáticos. (s.f). *Nociones básicas sobre neumáticos de turismo.*
<http://blobs.continental-tires.com/www8/servlet/blob/7/download-tire-basics-data.pdf>
- Diario el comercio. (2009). *Una llanta con buen labrado da seguridad.*
<http://www.elcomercio.com/actualidad/llanta-buen-labrado-da-seguridad.html>
- *El neumático.* (s.f).
<http://www.euromaster-neumaticos.es/neumaticos/informacion/partes-de-un-neumatico>
- Gutierrez Quispe, D. (2013). *Sistema de suspensión, dirección y frenos .*
<http://www.monografias.com/trabajos95/sistema-suspension-direccion-y-frenos/sistema-suspension-direccion-y-frenos2.shtml>
- Henríquez, E. (2014). *Cómo interpretar las luces testigo del tablero del vehículo .*
<http://es.slideshare.net/edgardoheriquezc/cmo-interpretar-las-luces-testigo-del-tablero-del-vehiculo>

- Ingeniería AutoAvance. (15 de 10 de 2015). *Tipos de Sensores ABS (Velocidad de Rueda)*.
<http://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/194-tipos-de-sensores-abs-velocidad-de-rueda/194-tipos-de-sensores-abs-velocidad-de-rueda>
- *Manual de Bosh*. (2003).
<http://www.slideshare.net>
- *Manual del automóvil*. (1999).
<http://repositorio.usfq.edu.ec/>
- Mi DSpace. (s.f). *Tesis institucionales*.
Obtenido de tesis.bnct.ipn.mx
- Multiservicio Automotriz 3H C.A. (24 de 08 de 2011). *Sistema antibloqueo de frenos (A.B.S), funcionamiento.* .
<http://multiservicioautomotriz3h.blogspot.com/2011/08/sistema-antibloqueo-de-frenos-abs.html>
- Nigrinis, R. (s.f). *Sistema de frenos*.
http://www.carrosyclassicos.com/mecanica/15/sistema_de_frenos#.Vzxn
- *Sistema de Frenos*. (s.f).
<https://www.ro-des.com/mecanica/sistema-electronico-de-frenado-que-es/>
- Winter, A. (04 de 02 de 2011). *Dibujo, construcción y tipos de banda de rodadura*.
<http://www.oponeo.es/articulo/dibujo-construccion-y-tipos-de-banda-de-rodadura>

ANEXOS

ANEXO I

CIFRAS DE LOS MODELOS DE VEHÍCULOS VENDIDOS,

ANUARIO AEADE 2014

Modelos más vendidos

Automóviles

MARCA	MODELO	UNIDADES
CHEVROLET	SAIL	11.514
CHEVROLET	AVEO FAMILY	9.386
CHEVROLET	AVEO EMOTION	3.643
KIA	RIO R	2.469
HYUNDAI	ACCENT	2.444

Van's

MARCA	MODELO	UNIDADES
CHEVROLET	N300	1.183
HYUNDAI	H1	860
CHERY	CHERY PRACTMAN	648
KIA	CARNIVAL	476
DFSK	C37 CITY VAN	473

Camionetas

MARCA	MODELO	UNIDADES
CHEVROLET	D - MAX	10.657
MAZDA	BT-50	6.440
TOYOTA	HILUX	2.521
FORD	F - 150	1.076
NISSAN	NP 300 Frontier	1.021

Camiones

MARCA	MODELO	UNIDADES
CHEVROLET	NLR	1.458
HINO	FCO	640
CHEVROLET	NPR	564
HINO	XZU640	541
CHEVROLET	NMR	525

SUV's

MARCA	MODELO	UNIDADES
CHEVROLET	GRAND VITARA	9.507
KIA	SPORTAGE	4.277
HYUNDAI	TUCSON ix	2.928
TOYOTA	FORTUNER	1.979
NISSAN	X-TRAIL	1.218

Buses

MARCA	MODELO	UNIDADES
HINO	AKBJRSA	842
HYUNDAI	COUNTY	196
VOLKSWAGEN	17 210 00	30
YUTONG	ZK6120HE	30
FAW	CA6440A45	26

Fuente: Anuario “Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador”, 2014

ANEXO II

NORMATIVA ECUATORIANA RTE. INEN 034 “ELEMENTOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES”



NORMATIVA ECUATORIANA RTE. INEN 034

“ELEMENTOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES”

4.3. FRENOS

4.3.1. Los vehículos automotores que correspondan a la categoría L conforme a la norma NTE INEN 2656 deben contar como mínimo de dos sistemas de frenado, uno que actúe sobre la rueda o ruedas delanteras y otro que actúe sobre la rueda o ruedas posteriores.

4.3.2. Los frenos de los vehículos deben cumplir con lo establecido en la Reglamentación Técnica No. 13-H de la ONU - “UNIFORM PROVISIONS CONCERNING THE APPROVAL OF PASSENGER CARS WITH REGARD TO BRAKING”- “Disposiciones uniformes sobre la aprobación de los vehículos automóviles de pasajeros en lo relativo al frenado” vigente en su última versión para el cual fue homologado el modelo en un laboratorio acreditado para certificar el reglamento técnico ONU mencionado. Este requisito afecta a las categorías de vehículos que la reglamentación mencionada indica en su texto.

4.3.3. Los vehículos automotores de cuatro ruedas deben disponer de frenos ABS, conforme con lo que establezca la Reglamentación Técnica No. 13-H de la ONU, aplicada a los vehículos que la regulación indica en su texto.

4.3.4. Los frenos de los vehículos deben cumplir con lo establecido en la Reglamentación Técnica No. 13 de la ONU – “UNIFORM PROVISIONS CONCERNING THE APPROVAL OF VEHICLES OF CATEGORIES M, N AND O WITH REGARD TO BRAKING” – “Disposiciones uniformes relacionadas con la aprobación de vehículos de categorías M, N Y O con relación al sistema de frenos” vigente en su última versión para el cual fue homologado el modelo en el o los laboratorio(s) acreditado(s) para certificar

el reglamento técnico ONU mencionado. Este requisito afecta a las categorías de vehículos que la reglamentación mencionada indica en su texto. Baquerizo Moreno E8-29 y 6 de Diciembre Edificio INEN www.normalizacion.gob.ec Quito – Ecuador Página 9 de 17

4.4. CONTROL ELECTRÓNICO DE ESTABILIDAD

4.4.1. Los vehículos automotores deben disponer de un Control electrónico de estabilidad conforme a lo establecido por el Reglamento Técnico Global GTR8 “ELECTRONIC STABILITY CONTROL SYSTEMS” – “Sistemas Electrónicos de Control de Estabilidad ESC” conforme a lo establecido por la Reglamentación Técnica No. 13–H de la ONU “UNIFORM PROVISIONS CONCERNING THE APPROVAL OF PASSENGER CARS WITH REGARD TO BRAKING” – “Disposiciones uniformes sobre la aprobación de los vehículos automóviles de pasajeros en lo relativo al frenado” vigente para el cual fue homologado el modelo en el o los laboratorio(s) acreditado(s) para certificar los reglamentos técnicos ONU mencionados. Este requisito es obligatorio para los vehículos a partir del año modelo 2018 y afecta a las categorías de vehículos que la reglamentación mencionada indica en su texto.

4.5. NEUMÁTICOS

Los neumáticos de vehículos automotores deben cumplir con lo establecido en

- a) Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE. INEN 011 “Neumáticos”, o;
- b) Reglamentación Técnica No 30 de la ONU “UNIFORM PROVISIONS CONCERNING THE APPROVAL OF PNEUMATIC TYRES FOR MOTOR VEHICLES AND THEIR TRAILERS” – “Disposiciones uniformes concernientes a la aprobación de neumáticos para vehículos motorizados y sus remolques” o;
- c) Reglamentación Técnica No 54 de la ONU “UNIFORM PROVISIONS CONCERNING THE APPROVAL OF PNEUMATIC TYRES FOR COMMERCIAL VEHICLES AND THEIR TRAILERS”. – “Disposiciones uniformes concernientes a la aprobación de neumáticos para vehículos comerciales y sus remolques”.

ANEXO III

REGULACIÓN ECE 13-H

ENSAYOS Y EFICACIA DE LOS SISTEMAS DE FRENADO

Braking tests and performance of braking systems

1. Braking tests

1.1. General

1.1.1. The performance prescribed for braking systems is based on the stopping distance and the mean fully developed deceleration. The performance of a braking system shall be determined by measuring the stopping distance in relation to the initial speed of the vehicle and/or by measuring the mean fully developed deceleration during the test.

1.1.2. The stopping distance shall be the distance covered by the vehicle from the moment when the driver begins to actuate the control of the braking system until the moment when the vehicle stops; the initial speed shall be the speed at the moment when the driver begins to actuate the control of the braking system; the initial speed shall not be less than 98 per cent of the prescribed speed for the test in question.

The mean fully developed deceleration (d_m) shall be calculated as the deceleration averaged with respect to distance over the interval v_b to v_e , according to the following formula:

$$d_m = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25.92(s_e - s_b)}$$

Where:

v_o	=	initial vehicle speed in km/h,
v_b	=	vehicle speed at 0.8 v_o in km/h,
v_e	=	vehicle speed at 0.1 v_o in km/h,
s_b	=	distance travelled between v_o and v_b in metres,
s_e	=	distance travelled between v_o and v_e in metres.

The speed and distance shall be determined using instrumentation having an accuracy of ± 1 per cent at the prescribed speed for the test. The d_m may be determined by other methods than the measurement of speed and distance; in this case, the accuracy of the d_m shall be within ± 3 per cent.

1.2. For the approval of any vehicle, the braking performance shall be measured during road tests conducted in the following conditions:

1.2.1. The vehicle's condition as regards mass shall be as prescribed for each type of test and be specified in the test report;

1.2.2. The test shall be carried out at the speeds prescribed for each type of test; if the maximum design speed of a vehicle is lower than the speed prescribed for a test, the test shall be performed at the vehicle's maximum speed;

1.2.3. During the tests, the force applied to the brake control in order to obtain the prescribed performance shall not exceed the maximum force laid down;

1.2.4. The road shall have a surface affording good adhesion, unless specified otherwise in the relevant annexes;

1.2.5. The tests shall be performed when there is no wind liable to affect the results;

- 1.2.6. At the start of the tests, the tyres shall be cold and at the pressure prescribed for the load actually borne by the wheels when the vehicle is stationary;
- 1.2.7. The prescribed performance shall be obtained without locking of the wheels at speeds exceeding 15 km/h, without deviation of the vehicle from a 3.5 m wide lane, without exceeding a yaw angle of 15° and without abnormal vibrations;
- 1.2.8. For vehicles powered completely or partially by an electric motor (or motors), permanently connected to the wheels, all tests shall be carried out with these motor(s) connected;
- 1.2.9. For vehicles as described in paragraph 1.2.8. above, fitted with an electric regenerative braking system of category A, behaviour tests shall be carried out on a track with a low adhesion coefficient (as defined in paragraph 5.2.2. of Annex 6) at a speed equal to 80 per cent of the maximum speed but not exceeding 120 km/h, to check that stability is retained.
- 1.2.9.1. Moreover, for vehicles fitted with an electric regenerative braking system of category A, transient conditions as gear changes or accelerator control release shall not affect the behaviour of the vehicle in condition described in paragraph 1.2.9. above;
- 1.2.10. In the tests provided in paragraphs 1.2.9. and 1.2.9.1. above wheel locking is not allowed. However, steering correction is permitted if the angular rotation of the steering control is within 120° during the initial 2 seconds and not more than 240° in all;
- 1.2.11. For a vehicle with electrically actuated service brakes powered from traction batteries (or an auxiliary battery) which receive(s) energy only from an independent external charging system, these batteries shall, during braking performance testing, be at an average of not more than 5 per cent above that state of charge at which the brake failure warning prescribed in paragraph 5.2.20.5. of this Regulation is required to be given.
- If this warning is given, the batteries may receive some recharge during the tests, to keep them in the required state of charge range.
- 1.3. Behaviour of the vehicle during braking
- 1.3.1. In braking tests, and in particular in those at high speed, the general behaviour of the vehicle during braking shall be checked.
- 1.3.2. Behaviour of the vehicle during braking on a road on which adhesion is reduced shall meet the relevant requirements of Annex 5 and/or Annex 6 to this Regulation.
- 1.3.2.1. In the case of a braking system according to paragraph 5.2.7. of this Regulation where the braking for a particular axle (or axles) is comprised of more than one source of braking torque, and any individual source can be varied with respect to the other(s), the vehicle shall satisfy the requirements of Annex 5, or alternatively, Annex 6 under all relationships permitted by its control strategy.¹

¹ The manufacturer shall provide the Technical Service with the family of braking curves permitted by the automatic control strategy. These curves may be verified by the Technical Service.

- 1.4. Type-0 test (ordinary performance test with cold brakes)
- 1.4.1. General
- 1.4.1.1. The average temperature of the service brakes on the hottest axle of the vehicle, measured inside the brake linings or on the braking path of the disc or drum, is between 65 and 100 °C prior to any brake application.
- 1.4.1.2. The test shall be conducted in the following conditions:
- 1.4.1.2.1. The vehicle shall be laden, the distribution of its mass among the axles being that stated by the manufacturer; where provision is made for several arrangements of the load on the axles the distribution of the maximum mass among the axles shall be such that the mass on each axle is proportional to the maximum permissible mass for each axle;
- 1.4.1.2.2. Every test shall be repeated on the unladen vehicle; there may be, in addition to the driver, a second person on the front seat who is responsible for noting the results of the test;
- 1.4.1.2.3. In the case of a vehicle equipped with an electric regenerative braking system, the requirements depend on the category of this system:
- Category A. Any separate electric regenerative braking control which is provided, shall not be used during the Type-0 tests.
- Category B. The contribution of the electric regenerative braking system to the braking force generated shall not exceed that minimum level guaranteed by the system design.
- This condition is deemed to be satisfied if the state of charge of the batteries is in one of the following conditions:
- (a) At the maximum charge level recommended by the manufacturer, as listed in the vehicle specification;
 - (b) At a level not less than 95 per cent of the full charge level, where the manufacturer has made no specific recommendation;
 - (c) At a maximum level resulting from automatic charge control on the vehicle; or
 - (d) When the tests are conducted without a regenerative braking component regardless of the state of charge of the batteries.
- 1.4.1.2.4. The limits prescribed for minimum performance, both for tests with the vehicle unladen and for tests with the vehicle laden, shall be those laid down hereunder; the vehicle shall satisfy both the prescribed stopping distance and the prescribed mean fully developed deceleration, but it may not be necessary to actually measure both parameters;
- 1.4.1.2.5. The road shall be level; unless otherwise specified each test may comprise up to six stops including any needed for familiarization.
- 1.4.2. Type-0 test with engine disconnected, service braking in accordance with paragraph 2.1.1.(A) of this annex.
- The test shall be carried out at the speed prescribed, the figures prescribed in this connection being subject to a certain margin of tolerance. The minimum performance prescribed shall be attained.
- 1.4.3. Type-0 test with engine connected, service braking in accordance with paragraph 2.1.1.(B) of this annex.
- 1.4.3.1. The test shall be carried out with the engine connected, from the speed prescribed in paragraph 2.1.1.(B) of this annex. The minimum performance prescribed shall be attained. This test is not run if the maximum speed of the vehicle is ≤ 125 km/h.

1.4.3.2. The maximum practical performance figures shall be measured, and the behaviour of the vehicle shall be in accordance with paragraph 1.3.2. of this annex. However, if the maximum speed of the vehicle is greater than 200 km/h, the test speed shall be 160 km/h.

1.5. Type-I test (fade and recovery test)

1.5.1. Heating procedure

1.5.1.1. The service brakes of all vehicles shall be tested by successively applying and releasing the brakes a number of times, the vehicle being laden, in the conditions shown in the table below:

<i>Conditions</i>			
v_1 (km/h)	v_2 (km/h)	Δt (sec)	n
80% v_{max} ≤ 120	0.5 v_1	45	15

Where:

v_1 = initial speed, at beginning of braking

v_2 = speed at end of braking

v_{max} = maximum speed of the vehicle

n = number of brake applications

Δt = duration of a braking cycle: time elapsing between the initiation of one brake application and the initiation of the next.

1.5.1.2. If the characteristics of the vehicle make it impossible to abide by the duration prescribed for Δt , the duration may be increased; in any event, in addition to the time necessary for braking and accelerating the vehicle, a period of 10 seconds shall be allowed in each cycle for stabilizing the speed v_1 .

1.5.1.3. In these tests, the force applied to the control shall be so adjusted as to attain a mean deceleration of 3 m/s² during every brake application; two preliminary tests may be carried out to determine the appropriate control force.

1.5.1.4. During brake applications, the highest gear ratio (excluding overdrive, etc.) shall be continuously engaged.

1.5.1.5. For regaining speed after braking, the gearbox shall be used in such a way as to attain the speed v_1 in the shortest possible time (maximum acceleration allowed by the engine and gearbox).

1.5.1.6. For vehicles not having sufficient autonomy to carry out the cycles of heating of the brakes, the tests shall be carried out by achieving the prescribed speed before the first braking application and thereafter by using the maximum acceleration available to regain speed and then braking successively at the speed reached at the end of each 45 second cycle duration.

1.5.1.7. For vehicles equipped with an electric regenerative braking system of category B, the condition of the vehicle batteries at the start of the test, shall be such that the braking force contribution provided by the electric regenerative braking system does not exceed the minimum guaranteed by the system design. This requirement is deemed to be satisfied if the batteries are at one of the state of charge conditions as listed in paragraph 1.4.1.2.3. above.

1.5.2. Hot performance

1.5.2.1. At the end of the Type-I test (described in paragraph 1.5.1. of this annex) the hot performance of the service braking system shall be measured in the same conditions (and in particular at a mean control force no greater than the mean force actually used) as for the Type-0 test with the engine disconnected (the temperature conditions may be different).

1.5.2.2. This hot performance shall not be less than 75² per cent of that prescribed, nor less than 60 per cent of the figure recorded in the Type-0 test with the engine disconnected.

1.5.2.3. For vehicles fitted with an electric regenerative braking system of category A, during brake applications, the highest gear shall be continuously engaged and the separate electric braking control, if any, not used.

1.5.2.4. In the case of vehicles equipped with an electric regenerative braking system of category B, having carried out the heating cycles according to paragraph 1.5.1.6. of this annex, the hot performance test shall be carried out at the maximum speed which can be reached by the vehicle at the end of the brake heating cycles, unless the speed specified in paragraph 2.1.1.(A) of this annex can be reached.

For comparison, a later Type-0 test with cold brakes shall be repeated from this same speed and with a similar electric regenerative braking contribution, as set by an appropriate state of battery charge, as was available during the hot performance test.

Following the recovery process and test, further reconditioning of the linings shall be permitted before the test is made to compare this second cold performance with that achieved in the hot test, against the criteria of paragraphs 1.5.2.2. or 1.5.2.5. of this annex.

The tests may be conducted without a regenerative braking component. In this case, the requirement on the state of charge of the batteries is not applicable.

1.5.2.5. In the case of a vehicle which satisfies the 60 per cent requirement specified in paragraph 1.5.2.2. of this annex, but which cannot comply with the 75² per cent requirement of paragraph 1.5.2.2. of this annex, a further hot performance test may be carried out using a control force not exceeding that specified in paragraph 2. of this annex. The results of both tests shall be entered in the report.

1.5.3. Recovery procedure

Immediately after the hot performance test, make four stops from 50 km/h with the engine connected, at a mean deceleration of 3 m/s². Allow an interval of 1.5 km between the start of successive stops. Immediately after each stop, accelerate at maximum rate to 50 km/h and maintain that speed until making the next stop.

1.5.3.1. Vehicles equipped with an electrical regenerative braking system of category B may have their batteries re-charged or replaced by a charged set, in order to complete the recovery procedure.

The procedures may be conducted without a regenerative braking component.

1.5.4. Recovery performance

² This corresponds to a stopping distance of $0.1 v + 0.0080 v^2$ and a mean fully developed deceleration of 4.82 m/s².

At the end of the recovery procedure, the recovery performance of the service braking system shall be measured in the same conditions as for the Type-0 test with the engine disconnected (the temperature conditions may be different), using a mean force on the control, which is not more than the mean control force used in the corresponding Type-0 test.

This recovery performance shall not be less than 70 per cent, nor more than 150 per cent, of the figure recorded in the Type-0 test with the engine disconnected.

- 1.5.4.1. For vehicles equipped with an electrical regenerative braking system of category B, the recovery test shall be made with no regenerative braking component, i.e. under the conditions of paragraph 1.5.4. above.

After the further reconditioning of the linings, a second repeat Type-0 test shall be made from the same speed and with no electric regenerative braking contribution as in the recovery test with the engine/motors disconnected, and comparison shall be made between these test results.

The recovery performance shall not be less than 70 per cent, nor more than 150 per cent of the figure recorded in this final repeat Type-0 test.

2. Performance of braking systems

- 2.1. Service braking system

- 2.1.1. The service brakes shall be tested under the conditions shown in the following table:

(Type-0 test A) with engine disconnected	v s ≤ d _m ≥	100 km/h 0.1 v+0.0060 v ² (m) 6.43 m/s ²
(Type-0 test B) with engine connected	v s ≤ d _m ≥	80% v _{max} ≤ 160 km/h 0.1 v+0.0067 v ² (m) 5.76 m/s ²
	f	6.5 - 50 daN

Where:

- v = test speed, in km/h
s = stopping distance, in metres
d_m = mean fully developed deceleration, in m/s²
f = force applied to foot control, in daN
v_{max} = maximum speed of the vehicle, in km/h

- 2.1.2. In the case of a motor vehicle authorized to tow an unbraked trailer, the minimum Type-0 performance of the combination shall not be less than 5.4 m/s² in both the laden and unladen conditions.

The combination performance shall be verified by calculations referring to the maximum braking performance actually achieved by the motor vehicle alone (laden) during the Type-0 test with the engine disconnected, using the following formula (no practical tests with a coupled unbraked trailer are required):

$$d_{M+R} = d_M \cdot \frac{P_M}{P_M + P_R}$$

Where:

- d_{M+R} = calculated mean fully developed deceleration of the motor vehicle when coupled to an unbraked trailer, in m/s^2
- d_M = maximum mean fully developed deceleration of the motor vehicle alone achieved during the Type-0 test with engine disconnected, in m/s^2
- P_M = mass of the motor vehicle (laden)
- P_R = maximum mass of an unbraked trailer which may be coupled, as declared by the motor vehicle manufacturer.

2.2. Secondary braking system

2.2.1. The performance of the secondary braking system shall be tested by the Type-0 test with the engine disconnected from an initial vehicle speed of 100 km/h and a force applied to the service brake control not less than 6.5 daN and not exceeding 50 daN.

2.2.2. The secondary braking system shall give a stopping distance not exceeding the following value:

$$0.1 v + 0.0158 v^2 \text{ (m)}$$

and a mean fully developed deceleration not less than $2.44 m/s^2$ (corresponding to the second term of the above formula).

2.2.3. The secondary braking effectiveness test shall be conducted by simulating the actual failure conditions in the service braking system.

2.2.4. For vehicles employing electric regenerative braking systems, the braking performance shall additionally be checked under the two following failure conditions:

2.2.4.1. For a total failure of the electric component of the service braking output.

2.2.4.2. In the case where the failure condition causes the electric component to deliver its maximum braking force.

2.3. Parking braking system

2.3.1. The parking braking system shall be capable of holding the laden vehicle stationary on a 20 per cent up or down gradient.

2.3.2. On vehicles to which the coupling of a trailer is authorized, the parking braking system of the motor vehicle shall be capable of holding the combination of vehicles stationary on a 12 per cent up or down gradient.

2.3.3. If the control device is manual, the force applied to it shall not exceed 40 daN.

2.3.4. If it is a foot control device, the force exerted on the control shall not exceed 50 daN.

2.3.5. A parking braking system which has to be actuated several times before it attains the prescribed performance is admissible.

2.3.6. To check compliance with the requirement specified in paragraph 5.2.2.4. of this Regulation, a Type-0 test shall be carried out, with the engine disconnected, at an initial test speed of 30 km/h. The mean fully developed deceleration on application of the control of the parking brake system and the deceleration immediately before the vehicle stops, shall not be less than $1.5 m/s^2$. The test shall be carried out with the laden vehicle. The force exerted on the braking control device shall not exceed the specified values.

3. Response time

3.1. Where a vehicle is equipped with a service braking system which is totally or partially dependent on a source of energy other than the muscular effort of the driver, the following requirements shall be satisfied:

3.1.1. In an emergency manoeuvre, the time elapsing between the moment when the control device begins to be actuated and the moment when the braking force on the least favourable placed axle reaches the level corresponding to the prescribed performance shall not exceed 0.6 seconds;

3.1.2. In the case of vehicles fitted with hydraulic braking systems, the requirements of paragraph 3.1.1. above are considered to be satisfied if, in an emergency manoeuvre, the deceleration of the vehicle or the pressure at the least favourable brake cylinder, reaches a level corresponding to the prescribed performance within 0.6 seconds.

Annex 6 - Appendix 2

Utilisation of adhesion

1. Method of measurement
 - 1.1. Determination of the coefficient of adhesion (k)
 - 1.1.1. The coefficient of adhesion (k) shall be determined as the quotient of the maximum braking forces without locking the wheels and the corresponding dynamic load on the axle being brakes.
 - 1.1.2. The brakes shall be applied on only one axle of the vehicle under test, at an initial speed of 50 km/h. The braking forces shall be distributed between the wheels of the axle to reach maximum performance. The anti-lock system shall be disconnected, or inoperative, between 40 km/h and 20 km/h.
 - 1.1.3. A number of tests at increments of line pressure shall be carried out to determine the maximum braking rate of the vehicle (z_{\max}). During each test, a constant input force shall be maintained and the braking rate will be determined by reference to the time taken (t) for the speed to reduce from 40 km/h to 20 km/h using the formula:

$$z = \frac{0.566}{t}$$

z_{\max} is the maximum value of z; t is in seconds.

- 1.1.3.1. Wheel lock may occur below 20 km/h.
- 1.1.3.2. Starting from the minimum measured value of t, called t_{\min} , then select three values of t comprised within t_{\min} and $1.05 t_{\min}$ and calculate their arithmetical mean value t_m ,

$$z_m = \frac{0.566}{t_m}$$

then calculate:

If it is demonstrated that for practical reasons the three values defined above cannot be obtained, then the minimum time t_{\min} may be utilized. However, the requirements of paragraph 1.3. shall still apply.

- 1.1.4. The braking forces shall be calculated from the measured braking rate and the rolling resistance of the unbraked axle which is equal to 0.015 and 0.010 of the static axle load for a driven axle and a non-driven axle, respectively.
- 1.1.5. The dynamic load on the axle shall be that given by the formulae in Annex 5 to this Regulation.
- 1.1.6. The value of k shall be rounded to three decimal places.
- 1.1.7. Then, the test will be repeated for the other axle(s) as defined in paragraphs 1.1.1. to 1.1.6. above.

- 1.1.8. For example, in the case of a two-axle rear-wheel drive vehicle, with the front axle (1) being braked, the coefficient of adhesion (k) is given by:

$$k_f = \frac{z_m \cdot P \cdot g - 0.015F_2}{F_1 + \frac{h}{E} \cdot z_m \cdot P \cdot g}$$

The other symbols (P, h, E) are defined in Annex 5 to this Regulation.

- 1.1.9. One coefficient will be determined for the front axle k_f and one for the rear axle k_r .

- 1.2. Determination of the adhesion utilized (ε)

- 1.2.1. The adhesion utilized (ε) is defined as the quotient of the maximum braking rate with the anti-lock system operative (z_{AL}) and the coefficient of adhesion (k_M) i.e.,

$$\varepsilon = \frac{z_{AL}}{k_M}$$

- 1.2.2. From an initial vehicle speed of 55 km/h, the maximum braking rate (z_{AL}) shall be measured with full cycling of the anti-lock braking system and based on the average value of three tests, as in paragraph 1.1.3. of this appendix, using the time taken for the speed to reduce from 45 km/h to 15 km/h, according to the following formula:

$$z_{AL} = \frac{0.849}{t_m}$$

- 1.2.3. The coefficient of adhesion k_M shall be determined by weighting with the dynamic axle loads.

$$k_M = \frac{k_f \cdot F_{fdyn} + k_r \cdot F_{rdyn}}{P \cdot g}$$

where:

$$F_{fdyn} = F_f + \frac{h}{E} \cdot z_{AL} \cdot P \cdot g$$

$$F_{rdyn} = F_r - \frac{h}{E} \cdot z_{AL} \cdot P \cdot g$$

- 1.2.4. The value of ε shall be rounded to two decimal places.
- 1.2.5. In the case of a vehicle equipped with an anti-lock system of categories 1 or 2, the value of z_{AL} will be based on the whole vehicle, with the anti-lock system in operation, and the adhesion utilized (ε) is given by the same formula quoted in paragraph 1.2.1. of this appendix.

- 1.2.6. In the case of a vehicle equipped with an anti-lock system of category 3, the value of z_{AL} will be measured on each axle which has at least one directly controlled wheel. For example, for a two-axle rear-wheel drive vehicle with an anti-lock system acting only on the rear axle (2), the adhesion utilized (ε) is given by:

$$\varepsilon_2 = \frac{z_{AL} \cdot P \cdot g - 0.010F_1}{k_2 \left(F_2 - \frac{h}{E} \cdot z_{AL} \cdot P \cdot g \right)}$$

This calculation shall be made for each axle having at least one directly controlled wheel.

- 1.3. If $\varepsilon > 1.00$, the measurements of coefficients of adhesion shall be repeated. A tolerance of 10% is accepted.

Annex 6 - Appendix 3

Performance on differing adhesion surfaces

1. The prescribed braking rate referred to in paragraph 5.3.5. of this annex may be calculated by reference to the measured coefficient of adhesion of the two surfaces on which this test is carried out. These two surfaces shall satisfy the conditions prescribed in paragraph 5.3.4. of this annex.
2. The coefficient of adhesion (k_H and k_L) of the high- and low-adhesion surfaces, respectively, shall be determined in accordance with the provisions in paragraph 1.1. of Appendix 2 to this annex.
3. The braking rate (z_{MALS}) for laden vehicles shall be:

$$z_{MALS} \geq 0.75 \left(\frac{4k_L + k_H}{5} \right) \quad \text{and} \quad z_{MALS} \geq k_L$$

Annex 6 - Appendix 4

Method of selection of the low adhesion surface

1. Details of the coefficient of adhesion of the surface selected, as defined in paragraph 5.1.1.2. of this annex, shall be given to the Technical Service.

1.1. These data shall include a curve of the coefficient of adhesion versus slip (from 0 to 100 per cent slip) for a speed of approximately 40 km/h.

1.1.1. The maximum value of the curve will represent k_{peak} and the value at 100 per cent slip will represent k_{lock} .

1.1.2. The ratio R shall be determined as the quotient of the k_{peak} and k_{lock} .

$$R = \frac{k_{\text{peak}}}{k_{\text{lock}}}$$

1.1.3. The value of R shall be rounded to one decimal place.

1.1.4. The surface to be used shall have a ratio R between 1.0 and 2.0.³

2. Prior to the tests, the Technical Service shall ensure that the selected surface meets the specified requirements and shall be informed of the following:

Test method to determine R,

Type of vehicle,

Axle load and tyres (different loads and different tyres have to be tested and the results shown to the Technical Service which will decide if they are representative for the vehicle to be approved).

2.1. The value of R shall be mentioned in the test report.

The calibration of the surface has to be carried out at least once a year with a representative vehicle to verify the stability of R.




³ Until such test surfaces become generally available, a ratio R up to 2.5 is acceptable, subject to discussion with the Technical Service.

ANEXO IV

DATOS DEL VEHÍCULO CHEVROLET SAIL 4 PUERTAS

1.4 STD/AC

CHEVROLET 4 PUERTAS 1.4 STD/AC

DIMENSIONES EXTERNAS (mm)								
 <p>Dimensión (mm.) Largo: 4249 Ancho: 1690 Alto: 1505 Distancia entre ejes: 2465 Trocha delantera: 1462 Trocha posterior: 1457 Voladizo delantero: 808 Voladizo posterior: 806</p>								
								
MOTOR		CHASIS		TRANSMISION MANUAL		PESOS Y CAPACIDADES		
Tipo / Código	C14 DOHC	Dirección	- POWER - RACK & PINION - STEERING LOCK	Tipo / Código	MT SH63A	Peso Vacío (kg)	1070	
Disposición	Delantera	Suspensión delantera	Macpherson	Marchas	1°	3,727	Peso bruto vehicular (kg)	1435
Desplazamiento (cc.)	1398,4	Suspensión posterior	Twist		2°	2,050	Capacidad de carga (kg)	375
N° de cilindros	4	Frenos Delanteros	Disco ventilado 9"		3°	1,323	Capacidad del tanque (L)	42
N° de válvulas	16	Frenos Posteriores	Tambor		4°	0,943		
Potencia (HP @ RPM)	102 @ 6000	Freno de estacionamiento	Mecánico en ruedas posteriores		5°	0,743		
Torque (Nm @ RPM)	131 @ 4200	Cauchos	Radiales	Reversa	3,454			
Relación de compresión	10,2	Medidas	185/60 R14	Relación Final	4,118			
Diámetro y Carrera (mm.)	73.8 x 81.8	Rines	Acero (incluye repuesto)	Tipo de tracción	4x2			
Combustible	90 RON			Nota: Relacion final definitiva bajo desarrollo por SGM				

Fuente: Manual de servicio Chevrolet Sail, 2012

ANEXO V

CHECK LIST DE LA INSPECCIÓN DEL VEHÍCULO PARA PRUEBAS

DATOS DEL VEHÍCULO					
MARCA:					
MODELO:					
PLACA:					
AÑO:					
CHASIS:					
KILOMETRAJE:					
COLOR:					
INSPECCIÓN DE VEHÍCULO PARA PRUEBAS					
PASO #	NEUMÁTICOS				
1)	PROFUNDIDAD DE LABRADO DE NEUMÁTICOS	DEL. LH	DEL. RH	POST. LH	POST. RH
	(mm)				
	PROFUNDIDAD MÍNIMA DE LABRADO DE NEUMÁTICOS SEGÚN NORMA	CUMPLE NORMA	NO CUMPLE NORMA	OBSERVACIÓN	
	(1,6 mm)			Si no cumple con la Norma, cambiar neumáticos	
2)	PRESIÓN DE INFLADO DE NEUMÁTICOS (EN FRÍO)	DEL. LH	DEL. RH	POST. LH	POST. RH
	(lb.)				
	RECOMENDACIÓN DE FABRICANTE DE PRESION DE INFLADO DE NEUMÁTICOS	CUMPLE NORMA	NO CUMPLE NORMA	OBSERVACIÓN	
	(30 lb.)			Si no cumple con la Norma, regular presión de neumáticos	
FRENOS					
3)	VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE:	OK	REPARACIÓN	CAMBIO	
	PASTILLAS				
	MORDAZAS				
	DISCOS				
	TAMBORES				
	ZAPATAS				
	BOMBA, CAÑERÍAS Y MANGUERAS				
SUSPENSIÓN					
4)	VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE:	OK	REPARACIÓN	CAMBIO	
	AMORTIGUADORES				
	RÓTULAS				
	TERMINALES				
	AXIALES DE DIRECCIÓN				
	BUJES DE GOMA				
NIVEL DE COMBUSTIBLE EN TANQUE					
5)	VERIFICACIÓN DE NIVEL DE LLENADO DE COMBUSTIBLE:	REQUIERE LLENADO	NO REQUIERE LLENADO	OBSERVACIÓN	
	NIVEL DE COMBUSTIBLE ENCONTRADO: <input type="text"/> %			Debe encontrarse al 90% de su capacidad	
CARGA DEL VEHICULO					
6)	VERIFICACIÓN DE:	CUMPLE NORMA	NO CUMPLE NORMA	OBSERVACIÓN	
	CARGA DE OCUPANTES (Máx. 168 kg): <input type="text"/> kg			Si no cumple norma, reducir carga	
EQUIPAMIENTO DE VEHÍCULO					
7)	VERIFICACIÓN DE:	REQUIERE DESACTIVACIÓN	NO REQUIERE DESACTIVACIÓN	OBSERVACIÓN	
	INCORPORACIÓN DE ABS <input type="text"/> SI: <input type="text"/> NO: <input type="text"/>			De requerir desactivación, desconectar sensor de velocidad de una rueda o retirar fusible de sistema	

ANEXO VI

CHECK LIST DE PROCEDIMIENTO PARA EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE ADHERENCIA SEGÚN NORMA ECE-13H

DATOS DEL VEHÍCULO		
MARCA:		
MODELO:		
PLACA:		
AÑO:		
CHASIS:		
KILOMETRAJE:		
COLOR:		
PROCEDIMIENTO PARA EJECUCION DE PRUEBAS DE ADHERENCIA SEGÚN NORMA ECE-13H		
ITEM	DETALLE	PARÁMETRO
1	VERIFICAR ESTADO DE NEUMÁTICOS	PROFUNDIDAD DE LABRADO 1,6 mm
2	VERIFICAR PRESIÓN DE INFLADO DE NEUMÁTICOS	30 lb.
3	VERIFICAR ESTADO DE SISTEMA DE FRENOS	ESTADO OPTIMO
4	VERIFICAR ESTADO DE SISTEMA DE SUSPENSIÓN	ESTADO OPTIMO
5	VERIFICAR NIVEL DE COMBUSTIBLE EN TANQUE	90% DE CAPACIDAD
6	VERIFICAR CARGA DEL VEHÍCULO	168 Kg
7	VERIFICAR EQUIPAMIENTO DE VH. CON SISTEMA ABS	DESACTIVAR SISTEMA
8	REVISIÓN DEL ESTADO DE LA CALZADA	CALZADA SECA
9	MEDIR VELOCIDAD DEL VIENTO	MENOR A 10 m/s ²
10	MEDIR TEMPERATURA AMBIENTE	ENTRE 0 °C Y 45 °C
11	MEDIR TEMPERATURA INICIAL DE DISCOS DE FRENO	ENTRE 65 °C Y 100 °C
12	VERIFICAR POSICIÓN DE VIDRIOS Y PUERTAS DEL VEHÍCULO	CERRADAS
13	UBICAR VEHÍCULO EN ÁREA DE PRUEBAS	CENTRO DEL CARRIL
14	ACELERAR HASTA ALCANZAR VELOCIDAD REQUERIDA	EN 50 km/h
15	COLOCAR SELECTOR DE MARCHAS EN NEUTRO	EN 50 km/h
16	ACTIVAR Y DESACTIVAR ACELERÓMETRO	DESDE 50 km/h HASTA 0 km/h
17	APLICAR FRENO PARA DESACELERAR VEHÍCULO	DESDE 50 km/h HASTA 0 km/h
18	VERIFICAR CAPTURA DE TIEMPO DE DESACELERACIÓN EN ACELEROMÉTRO	COPIAR NÚMERO DE ARCHIVO
19	MEDIR DISTANCIA DE DESACELERACIÓN	MEDIANTE HUELLA DE FRENADO
20	REPETICION DE PRUEBAS DE ADHERENCIA	6 VECES PARA CADA SUPERFICIE
21	TABULAR LOS DATOS OBTENIDOS	GENERAR TABLAS Y GRÁFICAS
22	EFFECTUAR CÁLCULO DE DESACELERACIÓN (PRÁCTICA)	MEDIANTE DATOS OBTENIDOS
OBSERVACIONES :		
A	LOS ITEMS 5,6 Y DEL 8 AL 19 DEBEN REPETIRSE EN CADA CALZADA Y PARA CADA UNA DE LAS PRUEBAS	
B	PARA CONOCER EL PROCEDIMIENTO DE CALENTAMIENTO DEL SISTEMA DE FRENOS, REVISAR LA TABLA 3.5	

ANEXO VII

FOTOS DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACION



Pesaje de los ejes del vehículo de prueba



Pesaje Del Vehículo Chevrolet Sail



Desmontaje de los neumáticos para mantenimiento previo a pruebas de ruta



Limpeza de frenos y revisión de elementos mecánicos



Limpieza de frenos y revisión de elementos mecánicos



Medición de distancia entre ejes



Mediciones para el cálculo de centro de gravedad



Superficie Asfaltada para prueba de frenado



Obtención de datos de la vía asfaltada



Medición de la temperatura de los discos de freno



Vehículo Chevrolet Sail durante las pruebas en superficie asfaltada



Obtención de datos en la vía adoquinada



Vehículo Chevrolet Sail durante las pruebas en superficie adoquinada



Obtención de datos en la vía empedrada



Mediciones sobre la vía empedrada



Vehículo Chevrolet Sail durante las pruebas en superficie empedrada

ANEXO VIII

**EJEMPLO DE TABLA DE DESACELERACIÓN OBTENIDA
EN LA PRUEBA SOBRE SUPERFICIE DE RODADURA
ASFALTADA Y GRÁFICA RESPECTIVA**

estamp	AccelX	AccelY	AccelZ
0,000000	-0,264572	0,021347	-0,984009
0,017904	-0,045395	0,053787	-0,885117
0,035607	0,001007	-0,007156	-1,063538
0,053360	0,062515	0,005676	-1,057632
0,071064	0,145157	0,013687	-1,004211
0,088633	-0,055008	-0,008377	-1,175217
0,106453	0,030655	0,047852	-1,036728
0,124108	-0,076187	0,108566	-1,082520
0,141822	-0,061295	-0,056839	-1,162567
0,159576	0,073532	0,037323	-1,167648
0,177283	-0,100418	0,099075	-1,186035
0,194956	0,182266	-0,022598	-0,788345
0,212663	0,222580	-0,011032	-1,138702
0,230287	-0,056931	-0,062973	-1,071686
0,248155	-0,002670	0,053024	-0,886932
0,265847	-0,184402	-0,020065	-0,918900
0,283584	0,072128	0,052124	-0,907410
0,301332	0,063126	0,100296	-0,993088
0,319038	-0,216187	-0,025177	-1,043259
0,336703	-0,119080	0,008850	-1,036591
0,354419	-0,065353	0,001007	-0,894180
0,372236	0,102966	0,014801	-0,865234
0,389946	-0,007416	0,037704	-1,060379
0,407619	-0,071182	0,043243	-1,109024
0,425349	-0,061478	0,020004	-0,727737
0,443055	0,090775	-0,005646	-0,886627
0,460731	-0,040115	0,012482	-0,785767
0,478435	-0,052963	0,012344	-1,020630
0,496147	-0,016220	0,024506	-1,162796
0,513852	0,004822	-0,008820	-0,761566

0,531510	0,057343	-0,029938	-0,672226
0,549337	0,069702	-0,035370	-0,946411
0,566954	0,145905	-0,004013	-1,093689
0,584553	0,139069	-0,027084	-0,987747
0,602363	0,009460	-0,128952	-0,871048
0,620069	-0,157074	0,009338	-0,995285
0,637890	-0,119339	-0,013931	-0,857620
0,655594	0,068359	0,020233	-0,930557
0,673308	-0,089096	0,005463	-1,020630
0,691013	-0,041382	0,041763	-1,034912
0,708720	-0,003677	-0,073898	-1,115723
0,726434	0,046661	-0,014862	-1,139236
0,744152	-0,091049	0,015411	-1,225052
0,761858	0,044525	0,009842	-0,857437
0,779566	-0,003860	-0,024902	-0,924133
0,797272	-0,070389	0,019791	-0,968521
0,814976	-0,081543	0,052292	-1,134857
0,832720	-0,017319	-0,007019	-1,106033
0,850351	-0,022125	-0,030563	-1,028687
0,868062	-0,123154	-0,017700	-0,910843
0,885810	0,024445	0,031204	-0,772018
0,903534	0,075974	0,016891	-0,904831
0,921194	-0,049683	0,056076	-1,032196
0,938905	-0,078690	-0,020554	-0,867218
0,956620	-0,053375	0,071533	-0,962418
0,974328	-0,157349	-0,025696	-0,921677
0,992036	0,146545	-0,032211	-1,241211
1,009746	0,105560	-0,056976	-1,109726
1,027454	0,032776	0,063644	-0,948181
1,045164	-0,114716	-0,013733	-1,076660
1,062871	-0,009949	-0,022186	-0,815643

1,080572	0,011993	0,043472	-1,007126
1,098288	0,088898	0,014069	-1,020172
1,115996	0,100815	0,019165	-1,061661
1,133668	0,027603	-0,014740	-0,953796
1,151375	-0,041794	-0,022766	-1,184784
1,169121	0,004623	-0,036957	-1,250504
1,186787	-0,101761	-0,013245	-0,878281
1,204494	0,096024	-0,033417	-0,952271
1,222206	-0,057587	-0,039001	-0,950729
1,239809	0,010956	0,039612	-0,721909
1,257638	-0,089584	-0,040649	-0,983368
1,275335	-0,050888	0,002808	-0,848770
1,293042	0,057480	0,043503	-0,962570
1,310747	0,147858	-0,018387	-0,926682
1,328456	0,064774	-0,022781	-1,106476
1,346170	0,022034	0,015991	-1,055969
1,363873	0,006882	0,011566	-0,914841
1,381580	-0,100693	-0,019379	-0,961060
1,399296	-0,085068	-0,011963	-0,921677
1,416910	0,035080	-0,008331	-0,799957
1,434763	-0,013519	0,040558	-0,944992
1,452463	-0,154602	-0,050491	-1,093948
1,470130	-0,082214	0,046280	-0,978867
1,487874	0,029465	-0,041046	-1,160568
1,505586	0,004227	-0,021149	-0,987320
1,523252	-0,043823	0,038086	-0,910522
1,540961	0,011292	-0,017059	-1,030792
1,558667	-0,051819	-0,025284	-1,103867
1,576374	-0,047958	0,018265	-1,010849
1,594086	0,030197	0,002701	-0,996521
1,611826	0,040451	0,065308	-0,907745

1,629574	-0,027130	-0,001816	-1,020294
1,647362	0,003571	0,025040	-0,963425
1,665036	-0,050903	-0,011597	-0,968918
1,682804	-0,039246	-0,040543	-0,934845
1,700495	-0,108475	0,178833	-0,979187
1,717352	-0,026932	0,421188	-0,899109
1,735026	0,070892	0,456711	-1,090790
1,752734	0,205399	0,464890	-1,160507
1,770438	-0,095520	0,677155	-0,811859
1,788143	0,104965	0,601562	-0,716171
1,805866	0,077942	0,523087	-1,178711
1,823563	0,153152	0,607117	-0,857208
1,841274	-0,043503	0,586365	-0,893036
1,858991	-0,161880	0,619415	-0,933441
1,876696	0,073471	0,488754	-1,003494
1,894404	0,057770	0,586395	-0,981491
1,912108	-0,074066	0,669998	-0,905411
1,929818	0,005981	0,688156	-1,160980
1,947526	0,048233	0,636734	-0,878769
1,965230	-0,023224	0,555786	-1,132233
1,982894	0,208496	0,542953	-1,118378
2,000619	0,148926	0,657837	-1,193542
2,017302	0,048706	0,666214	-1,058823
2,035159	0,057053	0,666351	-0,938431
2,052762	-0,016586	0,690567	-1,066360
2,070477	-0,093353	0,647797	-1,144867
2,088218	-0,005585	0,705353	-1,040924
2,105900	-0,136124	0,704666	-0,924927
2,123623	0,017029	0,658356	-0,946335
2,141300	0,125015	0,627914	-0,975052
2,159047	-0,096268	0,662308	-1,016830

2,176714	0,077606	0,740112	-0,930710
2,194433	-0,030472	0,705521	-0,849594
2,212142	0,009842	0,706207	-0,995514
2,229850	-0,031876	0,788147	-0,876633
2,247560	0,050201	0,793396	-0,987946
2,265266	-0,015076	0,673050	-0,797699
2,282955	-0,181931	0,815201	-1,094681
2,300681	-0,116623	0,871292	-0,957260
2,318393	-0,201019	0,763199	-1,058350
2,336096	0,096481	0,792465	-0,888107
2,353839	0,154144	0,827530	-0,979279
2,371513	0,045425	0,863129	-0,986160
2,389264	0,204514	0,845200	-1,082031
2,406933	0,079941	0,834656	-1,101013
2,424639	-0,046310	0,795074	-0,856079
2,442392	0,132111	0,861328	-0,776642
2,460063	0,118332	0,798645	-0,982864
2,477772	0,067520	0,817871	-1,014938
2,495479	0,001053	0,841125	-0,973114
2,513196	-0,005371	0,821304	-0,958023
2,530907	0,019226	0,829529	-0,987656
2,548661	-0,034119	0,968018	-0,966476
2,566286	0,172760	0,939270	-0,924820
2,584029	0,021912	0,894424	-0,932510
2,601735	0,116928	0,790176	-0,917603
2,618694	-0,014008	0,926285	-0,956818
2,636425	0,112518	0,935486	-0,961487
2,654127	0,044785	0,940277	-0,996338
2,671875	0,132706	0,861038	-0,967087
2,689547	0,060272	0,872681	-0,989243
2,707374	0,037781	0,832306	-0,998489

2,725013	-0,034988	0,834854	-0,993851
2,742751	0,139236	0,892670	-1,192566
2,760421	0,044891	0,859543	-0,855850
2,778170	-0,009109	0,775925	-0,814194
2,795839	-0,125397	0,970520	-0,957947
2,813545	0,120392	0,869324	-0,982056
2,831253	0,052872	0,953018	-0,977783
2,848970	0,110626	0,913116	-0,870346
2,866697	0,150345	0,835953	-0,932068
2,884401	0,059998	0,907852	-0,884232
2,902106	-0,042511	0,887955	-0,898071
2,919739	0,027939	0,844299	-0,848755
2,937544	-0,127274	0,863220	-1,038071
2,955247	0,061264	0,833664	-1,040863
2,972950	-0,057831	0,862061	-0,901627
2,990657	0,058090	0,831848	-0,975739
3,008366	-0,062943	0,758911	-0,843689
3,026076	-0,056183	0,873840	-0,996552
3,043784	0,063858	0,825562	-1,012131
3,061490	0,047226	0,784821	-1,044052
3,079240	0,036118	0,851913	-0,910034
3,096972	0,016800	0,877899	-1,005249
3,114600	-0,042923	0,850113	-1,108612
3,132367	-0,058884	0,826965	-0,887253
3,150139	-0,037384	0,802948	-0,845322
3,167775	-0,068237	0,793655	-0,991318
3,185475	0,059708	0,817017	-1,007050
3,203181	0,010330	0,829300	-0,940323
3,220930	-0,006668	0,810883	-0,951920
3,238606	-0,022476	0,798904	-0,978409
3,256312	0,013016	0,850601	-0,981125

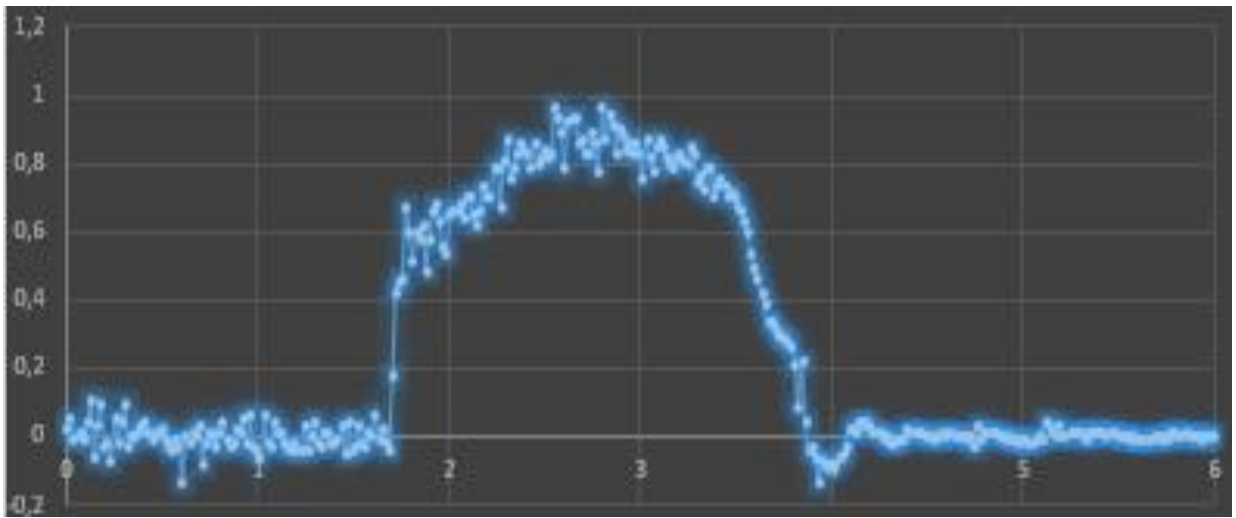
3,274018	0,047852	0,834763	-1,084351
3,291728	0,045853	0,752731	-0,906372
3,309435	0,016159	0,765930	-0,906677
3,327144	-0,039017	0,731049	-0,978317
3,344746	-0,099411	0,793945	-0,963791
3,362619	0,055237	0,789062	-1,079620
3,380277	-0,017212	0,711884	-0,988770
3,397986	-0,007874	0,736465	-0,948715
3,415731	0,069260	0,754501	-0,922104
3,433390	-0,027283	0,737259	-0,952728
3,451098	0,008850	0,707367	-0,981720
3,468803	0,022903	0,720535	-0,998672
3,486522	0,010925	0,711121	-0,985703
3,504225	0,023422	0,678558	-0,939743
3,521935	0,029129	0,669174	-0,988907
3,539617	0,046448	0,632294	-0,972443
3,557331	0,069229	0,604233	-1,061691
3,574933	-0,036072	0,541718	-0,881409
3,592093	0,023941	0,499588	-0,909134
3,609816	0,012283	0,461838	-0,937134
3,627489	0,046326	0,422607	-1,011368
3,645181	-0,027710	0,388855	-0,948898
3,662838	0,004776	0,343338	-0,883865
3,680133	0,037231	0,338684	-1,060303
3,697782	0,091782	0,314804	-1,020264
3,715569	0,013794	0,303802	-1,025269
3,733251	0,026398	0,302841	-1,031143
3,751019	0,000671	0,292206	-0,972824
3,768760	0,025558	0,277588	-0,998154
3,786425	0,013550	0,266159	-0,992096
3,804135	0,007446	0,219910	-1,016998

3,821847	-0,000427	0,086853	-0,977295
3,839554	0,079254	0,224030	-0,964508
3,857258	-0,033218	0,051895	-1,059708
3,874964	-0,003067	-0,036072	-0,965393
3,892674	-0,027969	-0,030457	-1,020813
3,910380	-0,025909	-0,053314	-0,961227
3,928087	0,013992	-0,128281	-0,774338
3,945792	-0,050323	-0,066147	-1,036087
3,963499	-0,096588	-0,076218	-0,936417
3,981207	-0,031235	-0,074127	-1,005310
3,998908	-0,030411	-0,075439	-0,969757
4,016692	0,012222	-0,080200	-0,983337
4,034409	-0,009537	-0,058029	-0,962082
4,052111	-0,005447	-0,049118	-0,945435
4,069819	-0,006546	-0,022751	-0,965607
4,087523	-0,045853	0,022827	-1,023743
4,105356	-0,028717	0,027390	-0,869827
4,123054	0,032135	0,015030	-0,887177
4,140768	-0,004700	0,048996	-0,898727
4,158480	-0,010361	0,040100	-1,029831
4,176191	-0,013062	0,050079	-1,002365
4,193861	-0,007721	0,036209	-0,977463
4,211570	-0,017029	0,015930	-0,988022
4,229279	-0,011230	0,017227	-0,970261
4,246986	-0,002548	0,014328	-0,974121
4,264705	-0,009964	-0,008896	-0,991516
4,282413	-0,024216	0,001495	-0,993698
4,300069	-0,017792	-0,013092	-1,012192
4,317774	-0,000275	-0,011978	-1,008209
4,335481	0,000854	-0,006180	-1,004364
4,353398	0,001053	-0,004059	-1,048798

4,370972	0,001862	-0,000748	-0,964966
4,388673	-0,005203	0,021805	-0,983124
4,406347	0,000565	0,020020	-0,977158
4,424006	-0,010208	0,017044	-0,982086
4,441779	-0,003494	0,015381	-0,969208
4,459482	-0,004532	0,012375	-0,977051
4,477153	0,003067	0,006760	-0,972992
4,494900	-0,006653	0,005600	-0,981873
4,512580	-0,017502	0,003143	-0,954239
4,530292	-0,002182	-0,007767	-0,984604
4,548038	-0,004623	0,009552	-0,974045
4,565707	-0,015396	0,005524	-0,983887
4,583426	0,013306	0,015854	-1,060913
4,601100	0,003204	0,004791	-1,033142
4,618712	0,000366	0,014496	-0,965225
4,636476	-0,011551	0,004700	-0,976944
4,654172	-0,007721	0,004044	-0,960159
4,671849	-0,013611	0,000885	-0,975891
4,689596	-0,018326	0,006729	-0,968109
4,707309	-0,012802	-0,004868	-0,977783
4,724984	-0,015259	0,010254	-0,986938
4,742657	-0,072601	-0,031113	-1,044647
4,760376	-0,049500	0,033737	-0,998291
4,777972	-0,022751	-0,004486	-0,893951
4,795831	-0,042206	0,017609	-0,994049
4,813508	-0,021698	0,020477	-1,000931
4,830364	-0,014145	0,012863	-1,001755
4,848220	-0,006454	0,014542	-0,960342
4,865964	-0,011383	0,009232	-0,990845
4,883653	0,004105	0,009598	-0,974014
4,901400	0,011612	-0,001083	-0,988617

4,918524	0,020477	0,005920	-0,971924
4,936099	0,008591	-0,003799	-0,977722
4,953764	-0,002151	-0,006836	-0,985611
4,971538	0,007324	-0,014389	-0,983490
4,989156	-0,003204	-0,008682	-0,980652
5,006863	-0,003189	-0,008698	-0,981628
5,024503	-0,005447	-0,019104	-0,976517
5,042166	-0,006180	-0,011475	-0,975662
5,059866	-0,008072	-0,009598	-0,977692
5,077351	-0,008621	0,006821	-0,965118
5,095181	-0,007828	-0,000916	-0,972900
5,112749	0,001297	0,042419	-1,009109
5,130628	-0,049011	0,040878	-1,085236
5,148287	-0,006210	0,016342	-1,025482
5,166052	0,067993	0,002289	-0,975632
5,183663	0,040726	0,032532	-0,986115
5,201369	0,018616	0,007660	-0,980835
5,218773	0,006027	0,008606	-0,976959
5,236439	-0,010254	0,015060	-0,987000
5,254148	-0,009277	0,013977	-0,993866
5,271853	-0,006439	0,011047	-0,999741
5,289564	-0,012253	0,010925	-1,004700
5,307269	-0,022232	0,005737	-0,968109
5,324985	0,048294	-0,005127	-0,956848
5,342691	-0,021744	0,015137	-1,034393
5,360396	-0,041107	0,015762	-1,048264
5,378102	-0,008102	0,020477	-1,004837
5,395808	-0,018112	0,012161	-0,985977
5,413526	-0,007233	0,017868	-0,989990
5,431135	0,013794	0,007568	-0,984787
5,448990	-0,015869	0,018204	-1,024567

5,466683	-0,002625	0,012558	-0,966202
5,484380	0,001999	0,000595	-0,999527
5,502131	-0,024109	0,007568	-0,973083
5,519795	-0,008667	0,003738	-0,977905
5,537506	0,004089	0,008606	-0,976959
5,555225	-0,013779	-0,005920	-0,983688
5,572928	-0,011536	0,004562	-0,985825
5,590643	-0,007935	-0,006989	-0,992523
5,608351	-0,007767	-0,000244	-0,988693
5,626060	-0,006821	-0,001205	-0,989670
5,643765	-0,010834	-0,003876	-0,976807
5,661479	-0,006851	-0,002151	-0,988663
5,679193	-0,007751	0,000809	-0,983780
5,696900	0,000275	0,010422	-0,980957
5,714607	-0,010773	-0,002029	-0,980789
5,732311	0,000107	0,003693	-0,983795
5,750039	-0,009781	-0,002106	-0,985703
5,767740	-0,007385	0,014297	-0,975128
5,785447	-0,005508	0,011261	-0,986908
5,803155	-0,011398	0,010422	-0,977051
5,820861	-0,003754	0,004593	-0,986786
5,838516	-0,006454	0,012222	-0,985947
5,856283	-0,003723	0,005478	-0,989761
5,874034	-0,005676	0,005524	-0,986801
5,891711	-0,001907	0,001770	-0,984756
5,909413	-0,009628	0,002625	-0,987762
5,927122	-0,004868	-0,000244	-0,989670
5,944830	-0,011597	0,002701	-0,982834
5,962533	-0,008743	0,000793	-0,983780
5,980239	-0,008759	0,000900	-0,976868
5,998034	-0,000809	0,006622	-0,979889



**Grafica de desaceleración en función de la fuerza de frenado y el tiempo sobre la vía
Asfaltada**

ANEXO IX

**EJEMPLO DE TABLA DE DESACELERACIÓN OBTENIDA
EN LA PRUEBA SOBRE SUPERFICIE DE RODADURA
ADOQUINADA Y GRÁFICA RESPECTIVA**

Timestam	AccelX	AccelY	AccelZ
0,000000	-0,034439	0,000015	-0,849670
0,017731	-0,100372	0,019852	-1,013016
0,035442	-0,028046	0,035736	-1,000229
0,053267	0,044327	-0,043671	-0,977921
0,070832	-0,058182	-0,072449	-1,067581
0,088704	-0,031845	0,076324	-0,969330
0,105743	-0,032181	0,021408	-1,056229
0,123370	-0,038315	-0,050171	-0,997833
0,141402	0,067383	0,048019	-0,981354
0,158536	0,033844	0,036362	-0,925034
0,176119	-0,068298	-0,051315	-1,056122
0,193846	-0,087143	0,043304	-0,985733
0,210829	-0,036255	0,045746	-1,084274
0,228465	-0,055435	-0,002441	-0,989807
0,246277	-0,010056	0,016113	-1,038315
0,263925	0,015457	-0,029831	-0,939774
0,281734	0,048965	0,009827	-1,033081
0,299323	-0,135040	-0,007721	-1,053146
0,317045	-0,051483	0,056351	-0,784561
0,334728	0,051834	0,017990	-0,945389
0,352447	0,010468	0,063461	-0,951202
0,370125	0,003220	-0,015350	-0,925262
0,387828	0,028870	0,028061	-0,962402
0,405572	0,001465	-0,042984	-0,921829
0,423246	-0,008026	0,027847	-0,963501
0,440951	-0,134766	0,001877	-1,049362
0,458666	-0,057861	0,043808	-1,021164
0,476373	0,073151	-0,026123	-1,023514
0,494079	0,000839	-0,010651	-1,043747
0,511784	-0,101013	-0,021042	-1,177124
0,529492	-0,073837	0,075150	-0,911240
0,546606	-0,074585	0,037048	-1,021118
0,564315	-0,005615	-0,000351	-1,053802
0,582013	0,016357	0,032944	-0,952652
0,599721	-0,171478	0,028427	-0,875275
0,617431	-0,072662	-0,087433	-0,931213
0,635147	-0,032654	-0,019272	-0,977600
0,652850	-0,004684	-0,041168	-0,810394
0,670561	-0,023300	0,002899	-0,967072
0,688267	0,035675	-0,017395	-0,772156
0,705973	-0,040131	-0,007614	-0,962051

0,723680	0,008148	-0,045837	-0,924728
0,741308	-0,095261	-0,002655	-0,989944
0,759098	-0,048050	0,002151	-0,830994
0,776803	0,001999	0,018478	-0,840973
0,794527	-0,139389	0,041687	-1,065811
0,812231	0,156403	-0,032867	-0,996475
0,829942	-0,096039	0,041916	-0,950226
0,847646	0,075195	-0,016602	-0,967407
0,865351	0,091431	-0,028320	-0,988876
0,883057	-0,050354	0,008621	-0,958405
0,900761	-0,135437	-0,014313	-0,989899
0,918468	-0,020264	0,022400	-0,827301
0,936174	0,062912	-0,006500	-0,986374
0,953879	-0,023026	0,021301	-1,180511
0,971593	-0,118515	0,032425	-0,997528
0,989300	-0,144440	0,033951	-1,069672
1,007014	-0,089691	0,003174	-1,158737
1,024720	-0,048187	0,027344	-1,154068
1,042481	-0,090607	0,014053	-1,077042
1,060186	-0,082123	-0,007675	-0,894104
1,077900	0,103226	0,032150	-1,086548
1,095607	-0,076721	0,008194	-0,918030
1,113314	-0,139969	0,044922	-1,156662
1,130754	0,014816	-0,075333	-1,150177
1,148570	-0,061661	0,049927	-0,996628
1,166272	0,021194	0,017303	-1,091507
1,183980	0,038055	-0,026718	-0,989090
1,201689	0,077789	-0,002563	-1,041641
1,219396	-0,155075	-0,022171	-0,997711
1,237105	-0,060364	0,071518	-0,904236
1,254812	-0,156052	0,034576	-1,085510
1,272526	-0,074997	-0,023865	-0,838547
1,290264	0,008682	0,045685	-1,160110
1,308044	-0,098312	-0,048782	-1,067123
1,325660	0,031479	-0,017929	-0,975418
1,343336	-0,144211	0,022629	-0,946136
1,361043	-0,110123	-0,012192	-0,985886
1,378746	-0,177979	0,032043	-1,231567
1,396236	-0,240845	0,016724	-1,154556
1,413935	0,050659	-0,044510	-1,145630
1,431601	-0,075607	-0,037292	-1,071198
1,449421	0,061661	-0,005005	-1,182770

1,467080	0,020462	-0,020874	-1,206314
1,484786	-0,056732	-0,024887	-0,791107
1,502539	-0,065643	-0,037308	-0,846191
1,520215	-0,072235	-0,047470	-0,708878
1,537920	0,025650	-0,008072	-0,896667
1,555658	-0,113495	0,100647	-1,029221
1,573365	-0,022018	0,064575	-1,105270
1,591146	-0,007401	-0,024597	-1,019852
1,608739	-0,120453	0,029327	-0,723145
1,626449	-0,011307	0,069992	-1,069809
1,644196	-0,120331	-0,085281	-1,188950
1,661906	-0,030777	0,029037	-0,826447
1,679576	0,040375	-0,024231	-0,782898
1,697283	-0,019775	-0,160721	-0,819305
1,714992	0,034973	0,074661	-0,631622
1,732687	-0,009872	0,014099	-0,814285
1,750359	0,005325	-0,015259	-0,977554
1,768054	-0,019623	-0,008118	-0,999451
1,785803	-0,048035	0,047684	-1,021194
1,803542	0,080536	0,026169	-1,036194
1,821198	0,005585	-0,019012	-1,088974
1,838909	-0,093307	0,027328	-1,024979
1,856621	-0,034210	0,004013	-1,183243
1,874335	-0,023026	0,002396	-1,054886
1,892046	-0,064224	-0,006577	-1,006546
1,909756	-0,131042	-0,020477	-0,902939
1,927460	0,049393	0,018509	-1,084534
1,945166	0,018311	-0,038330	-0,992905
1,962874	-0,014465	0,083557	-1,171677
1,980584	-0,163391	-0,028015	-1,175262
1,998055	-0,092896	-0,091873	-1,019012
2,015807	-0,045731	0,008881	-0,886337
2,033611	0,010376	-0,014023	-1,019974
2,051240	-0,098602	-0,024719	-1,054703
2,068976	0,097397	-0,020218	-0,962341
2,086653	-0,015121	0,007294	-1,050034
2,104361	0,000931	0,039948	-1,216263
2,122109	0,500183	0,767227	-0,699814
2,139777	0,108948	0,212189	-0,939560
2,157481	0,079315	0,279251	-1,087799
2,175076	0,356125	0,786972	-0,729248
2,192864	0,177475	0,616074	-0,786209

2,210566	0,162872	0,621582	-1,024170
2,228271	-0,078964	0,739456	-0,574051
2,245981	0,100937	0,835922	-0,973679
2,263689	-0,049362	0,601059	-0,754181
2,281397	0,015289	0,265289	-0,930893
2,299109	-0,004761	0,695053	-1,086151
2,316817	0,163498	0,641327	-1,042252
2,334534	-0,270645	0,747665	-0,993210
2,352139	0,090530	0,825470	-0,852188
2,370008	-0,028519	0,688583	-1,009155
2,387698	-0,085602	0,817261	-1,118073
2,405367	-0,047592	0,854691	-1,117569
2,423141	-0,032669	0,847244	-0,996033
2,440882	0,008179	0,735657	-1,117355
2,458521	-0,053024	0,796616	-1,163986
2,476232	-0,202011	0,860153	-1,083664
2,493938	-0,236282	0,887177	-1,054626
2,511641	-0,064438	0,823090	-1,003632
2,529344	-0,190735	0,784683	-0,744904
2,547129	-0,089554	0,700790	-0,944443
2,564824	-0,083664	0,763809	-1,001709
2,582495	0,019318	0,813568	-0,857132
2,600207	0,072357	0,744598	-1,061066
2,617915	-0,170731	0,715546	-0,946945
2,635622	-0,178040	0,670746	-0,883072
2,653335	-0,273315	0,821930	-1,004333
2,671040	-0,011703	0,684967	-0,829453
2,688758	0,086929	0,747940	-1,036407
2,706461	0,090759	0,719437	-0,971786
2,724171	0,023392	0,757675	-1,119659
2,741818	-0,064285	0,618210	-1,094940
2,759519	0,021515	0,613754	-0,931747
2,777230	-0,014282	0,642822	-1,009323
2,794941	-0,308975	0,773315	-0,931610
2,812647	-0,268005	0,694778	-0,787079
2,830359	0,052689	0,674484	-1,021469
2,848065	-0,110092	0,800476	-0,911652
2,865770	0,066650	0,786148	-1,028229
2,883478	-0,064163	0,748154	-0,859314
2,901187	-0,067444	0,622055	-0,978577
2,918891	-0,010391	0,603760	-1,063919
2,936596	-0,099564	0,732376	-1,165039

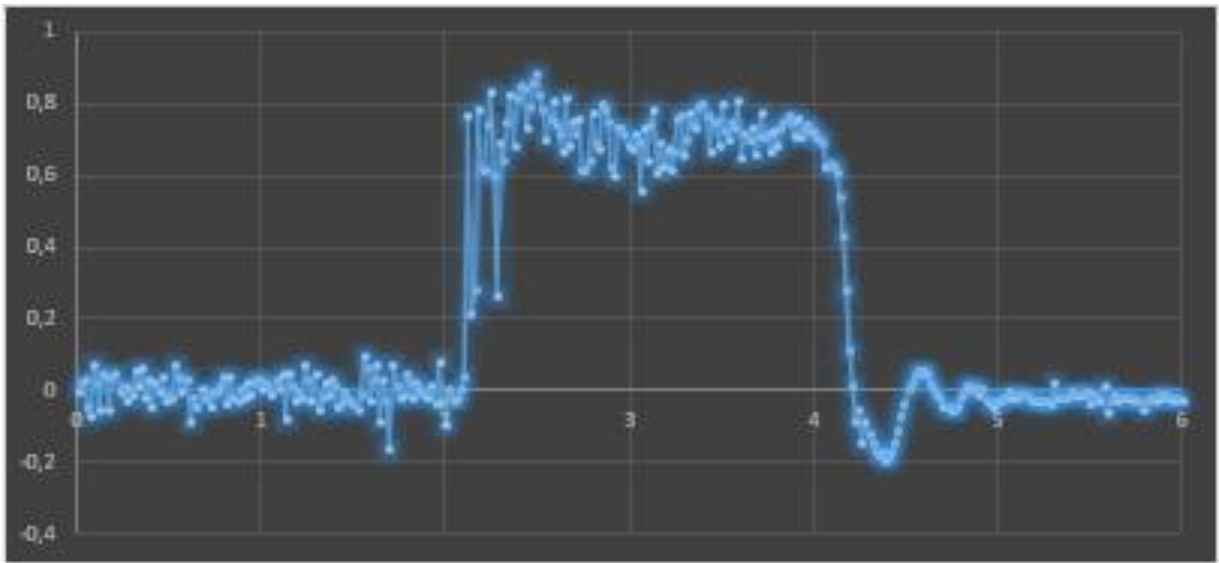
2,954238	-0,115326	0,731522	-0,808884
2,972026	-0,068298	0,717026	-1,065033
2,989797	-0,191132	0,683334	-0,926727
3,007494	0,110977	0,678238	-0,986786
3,025157	-0,195404	0,717590	-1,103943
3,042881	-0,010284	0,688995	-0,932129
3,060586	-0,013123	0,562866	-0,880707
3,078305	-0,135422	0,738327	-1,140594
3,096012	0,132660	0,643250	-0,802612
3,113717	-0,153290	0,740479	-1,004517
3,131469	0,135315	0,787186	-0,931305
3,149142	-0,011276	0,607849	-1,047211
3,166846	0,082138	0,696304	-0,925034
3,184459	-0,092606	0,623535	-0,995453
3,202336	-0,007980	0,679276	-0,828354
3,220034	-0,033737	0,616196	-0,939865
3,237741	-0,149765	0,669083	-0,935242
3,255494	0,043121	0,759552	-0,897614
3,273163	-0,056274	0,767487	-1,020432
3,290902	0,032990	0,657013	-1,090317
3,308701	-0,089096	0,701645	-0,776733
3,326385	0,011078	0,774796	-1,061783
3,344095	-0,147552	0,743301	-0,951279
3,361754	-0,107773	0,737152	-0,989502
3,379452	-0,049240	0,792923	-0,868881
3,397150	0,057968	0,799088	-0,935715
3,414820	-0,016541	0,770355	-0,974976
3,432569	-0,014084	0,668488	-0,842987
3,450287	-0,056839	0,750656	-0,998444
3,467956	0,081528	0,752258	-0,832245
3,485663	-0,122086	0,687729	-0,914734
3,503373	-0,017166	0,800583	-1,109665
3,520138	-0,104385	0,723251	-0,965607
3,537865	-0,025467	0,702454	-0,921555
3,555592	-0,053101	0,751556	-0,945175
3,573301	-0,012558	0,730789	-1,059143
3,591056	0,000214	0,812531	-0,970657
3,608711	-0,098846	0,654724	-1,185455
3,626393	-0,072861	0,722244	-0,806625
3,644154	-0,146164	0,705383	-0,820374
3,661713	-0,136139	0,736938	-0,936325
3,679404	0,025330	0,661850	-1,083511

3,697152	-0,003815	0,706451	-0,975815
3,714828	-0,001938	0,778229	-0,907928
3,732538	0,007080	0,710831	-1,001511
3,750246	-0,067505	0,715927	-1,016647
3,767953	-0,057343	0,665527	-1,007889
3,785660	-0,020767	0,723358	-0,986023
3,803371	-0,058731	0,683487	-1,018051
3,821075	0,024567	0,733276	-1,094574
3,838785	-0,022903	0,751221	-0,974670
3,856500	-0,049728	0,766693	-0,954269
3,874206	-0,040482	0,749435	-0,961868
3,891919	0,008804	0,712097	-0,926529
3,909586	0,012009	0,758240	-1,196671
3,927292	0,036865	0,708389	-0,929352
3,944995	-0,040024	0,731201	-0,968475
3,961717	-0,112595	0,739120	-0,984619
3,979392	-0,071304	0,728806	-0,930054
3,997100	-0,038345	0,723846	-0,951553
4,014809	-0,045532	0,710480	-0,949387
4,032297	0,001801	0,701065	-0,957947
4,050002	-0,016861	0,691086	-0,976578
4,067712	-0,073395	0,623901	-0,921402
4,085418	-0,069427	0,633484	-0,863312
4,103140	-0,055664	0,622543	-1,010117
4,120849	-0,022980	0,609024	-1,030487
4,138556	-0,024078	0,541885	-0,990891
4,156186	-0,027924	0,435730	-1,059204
4,174029	-0,058670	0,285461	-1,013382
4,191642	-0,045929	0,116882	-1,052948
4,209411	-0,043915	0,017380	-1,065079
4,227158	-0,058716	-0,083801	-1,003265
4,244769	-0,037888	-0,051666	-1,145813
4,261701	-0,041092	-0,146820	-1,010025
4,279415	-0,046997	-0,086319	-1,043640
4,297120	-0,070557	-0,120728	-0,981964
4,314822	-0,047897	-0,143402	-0,974594
4,332573	-0,017700	-0,170471	-0,947388
4,350240	-0,034531	-0,180939	-0,940399
4,367950	-0,022476	-0,167770	-0,956329
4,385658	-0,029007	-0,190475	-0,941177
4,403365	-0,056122	-0,188812	-0,946228
4,421075	-0,049728	-0,168640	-0,941620

4,438784	-0,037399	-0,144592	-0,934082
4,456488	-0,049118	-0,110825	-0,909042
4,474197	-0,000275	-0,072098	-0,949982
4,491921	-0,054916	-0,038727	-0,877701
4,509626	-0,072937	0,009964	-0,869690
4,527330	-0,053894	0,025543	-0,915268
4,545040	-0,053238	0,045135	-0,943237
4,562776	-0,061737	0,053726	-0,940430
4,580526	-0,053085	0,047607	-0,966949
4,598197	-0,027573	0,055298	-0,971939
4,615904	-0,027725	0,046143	-1,005341
4,633619	-0,035233	0,021118	-1,014801
4,651336	-0,045242	0,010437	-1,023544
4,669038	-0,038162	-0,013412	-1,025085
4,686745	-0,052826	-0,018509	-1,039856
4,704453	-0,063217	-0,041367	-1,034576
4,722158	-0,038025	-0,045212	-1,043289
4,739867	-0,053864	-0,054855	-1,044189
4,757582	-0,053864	-0,050385	-1,004791
4,775327	-0,039291	-0,045883	-0,969284
4,793033	-0,167618	-0,014801	-0,950516
4,810736	-0,067810	-0,004013	-1,081589
4,828292	-0,066269	0,017258	-1,065155
4,846151	-0,052155	0,018921	-0,911224
4,863855	-0,057159	0,007492	-0,966293
4,881562	-0,075668	0,008759	-0,941711
4,899272	-0,050949	-0,013611	-0,974808
4,916982	-0,104950	0,005005	-0,928925
4,934648	-0,107529	-0,028137	-1,028046
4,952359	-0,061295	-0,031235	-0,941986
4,970061	-0,047974	-0,041809	-0,950638
4,987769	-0,061096	-0,028946	-0,976547
5,005477	-0,066864	-0,030518	-1,012070
5,023218	-0,064651	-0,018600	-0,984619
5,040921	-0,043411	-0,021149	-0,972687
5,058678	-0,064240	-0,005447	-0,995712
5,076390	-0,035446	-0,015442	-0,975708
5,094092	-0,025513	-0,006668	-0,966934
5,111801	-0,017059	-0,017227	-0,973633
5,129507	-0,026703	-0,013245	-0,960922
5,147214	-0,016861	-0,011627	-0,981628
5,164819	-0,045288	-0,019287	-0,973694

5,182684	-0,027954	-0,023834	-0,967636
5,200383	-0,037598	-0,024277	-0,990356
5,218051	-0,027084	-0,028900	-0,985321
5,235799	-0,041489	-0,024338	-0,993332
5,253513	-0,047302	-0,023331	-0,987457
5,271187	-0,037643	-0,026230	-0,993286
5,288839	-0,039764	-0,036514	-1,036545
5,306678	0,010437	0,023438	-1,004822
5,324349	-0,005341	-0,016327	-0,981506
5,342055	-0,155243	-0,018890	-0,914871
5,359774	-0,110291	-0,015701	-0,967072
5,377513	-0,103287	-0,010132	-0,978012
5,395181	-0,061417	-0,004990	-0,969070
5,412933	-0,041153	-0,010773	-0,979752
5,430642	-0,037247	-0,011765	-0,983673
5,448309	-0,046906	-0,007812	-0,972916
5,466025	-0,050812	-0,009949	-0,984726
5,483731	-0,076035	-0,002625	-1,224701
5,501440	-0,065247	-0,034103	-0,940948
5,519141	-0,085938	-0,013657	-0,967026
5,536876	-0,033569	-0,016174	-0,961884
5,554643	-0,035736	-0,027084	-0,987366
5,572311	-0,050064	0,013657	-0,999924
5,590019	-0,091461	-0,057678	-0,856796
5,607726	-0,027740	-0,023956	-1,031784
5,625421	-0,070145	-0,007263	-0,987808
5,643120	-0,078384	-0,023575	-0,991501
5,660829	-0,059799	-0,017426	-0,972794
5,678531	-0,043320	-0,017181	-0,962875
5,696243	-0,027771	-0,018158	-0,970703
5,713951	-0,044281	-0,018280	-0,972733
5,731660	-0,055954	-0,018326	-0,970795
5,749369	-0,055069	-0,023407	-0,989456
5,767080	-0,034760	-0,022751	-0,956833
5,784792	-0,051239	-0,055283	-0,957336
5,802500	-0,055649	-0,022461	-1,104904
5,820211	-0,037384	-0,022232	-1,039734
5,837922	-0,052994	-0,015320	-0,961975
5,855658	-0,040543	-0,027466	-1,009064
5,873365	-0,050827	-0,012039	-0,995560
5,891073	-0,038376	-0,014389	-0,968826
5,908752	-0,050903	-0,010529	-0,961044

5,926459	-0,049194	-0,020279	-0,975662
5,944163	-0,048233	-0,020248	-0,973694
5,961868	-0,048294	-0,023209	-0,979568
5,979579	-0,039536	-0,021133	-0,972672
5,997285	-0,033783	-0,025055	-0,980469
6,014993	-0,047272	-0,020187	-0,971710



**Grafica de desaceleración en función de la fuerza de frenado y el tiempo sobre la vía
Adoquinada**

ANEXO X

**EJEMPLO DE TABLA DE DESACELERACIÓN OBTENIDA
EN LA PRUEBA SOBRE SUPERFICIE DE RODADURA
ASFALTADA Y GRÁFICA RESPECTIVA**

Timestam	AccelX	AccelY	AccelZ
0,000000	-0,538910	-0,263077	-1,006836
0,017878	0,244888	0,288895	-1,136719
0,035570	-0,032181	0,000473	-0,649368
0,053266	-0,382904	-0,189865	-1,133835
0,070978	-0,033279	-0,125687	-0,832764
0,088687	-0,100311	-0,142563	-0,388687
0,106435	0,162598	0,321228	-1,231277
0,124110	-0,475739	-0,115128	-1,489639
0,141816	-0,227142	-0,038193	-1,076645
0,159523	-0,145416	0,136536	-0,755630
0,177231	-0,016769	0,056885	-0,994598
0,194937	0,435181	-0,054550	-1,186569
0,212648	0,486664	0,247543	-1,176651
0,230353	-0,071823	-0,042236	-1,083939
0,248081	-0,187332	-0,119705	-0,306473
0,265785	0,045715	-0,070389	-0,747574
0,283489	0,226990	0,032791	-1,204544
0,301196	0,298523	0,021790	-1,198166
0,318903	0,256165	-0,195175	-0,858246
0,336619	-0,262741	0,025787	-0,314102
0,354326	0,139374	0,061142	-1,192490
0,372041	-0,223831	-0,069534	-1,182678
0,389751	-0,018005	0,016739	-1,572159
0,407459	0,307816	-0,053192	-0,544678
0,425168	0,144241	0,037048	-0,517151
0,442876	-0,266342	0,014008	-0,505325
0,460586	0,589157	0,027954	-1,499222
0,478292	0,072617	0,020386	-1,037109
0,496002	0,152405	-0,053070	-0,544235
0,513604	0,641830	0,089859	-0,719589

0,531440	-0,377747	0,226288	-0,793427
0,549174	-0,187088	0,521851	-1,223999
0,566840	0,132828	-0,108322	-0,990356
0,584587	-0,392227	0,278198	-0,651276
0,602296	-0,162750	0,188217	-0,338165
0,619959	-0,109589	-0,016251	-0,885162
0,637579	0,009750	0,186203	-1,724869
0,655390	-0,109558	-0,159348	-1,282394
0,673091	-0,377289	0,491852	-0,955750
0,690796	0,005753	-0,116592	-0,815002
0,708502	-0,042847	-0,062576	-1,513702
0,726209	-0,016220	0,099182	-1,091995
0,743817	-0,122482	-0,015472	-1,696304
0,761636	-0,189362	0,049591	-0,859894
0,779336	-0,093903	-0,189270	-0,386887
0,797044	0,250610	0,022034	-1,398651
0,814758	-0,158630	0,315399	-1,362518
0,832462	-0,149429	0,088928	-1,436661
0,850171	0,233231	-0,155533	-1,222076
0,867878	0,512558	0,110687	-0,802277
0,885602	0,174637	0,280136	-1,123001
0,903309	0,259521	0,325195	-1,428375
0,921012	0,078033	0,011612	-0,992538
0,938722	-0,234802	0,270660	-1,042328
0,956430	-0,317368	0,136780	-0,742416
0,974138	-0,175385	0,088394	-1,230515
0,991788	-0,066696	-0,097214	-1,061264
1,009604	-0,004364	0,156158	-0,940979
1,027326	-0,264816	0,092453	-1,472641
1,045063	0,266388	-0,215393	-0,008301
1,062806	0,473114	0,081146	-1,189713

1,080484	0,202148	0,120667	-0,847916
1,098176	-0,032562	-0,076538	-0,919418
1,115882	-0,044296	0,043823	-1,313187
1,133629	-0,079330	-0,025314	-0,119232
1,151295	0,194839	0,041000	-1,101166
1,169006	0,114975	-0,064148	-1,083923
1,186710	0,051788	-0,124374	-1,011093
1,204418	0,148285	-0,030579	-0,569290
1,222124	0,066559	-0,027039	-0,500549
1,239785	0,014465	-0,188599	-0,554276
1,257566	0,183701	-0,072037	-0,777649
1,275274	-0,046570	0,039322	-0,950027
1,292989	0,121994	0,081711	-1,039948
1,310693	-0,110275	-0,050980	-0,389267
1,328400	-0,136429	0,078232	-1,049637
1,346106	0,647598	-0,222641	-0,800186
1,363826	0,052963	0,132523	-1,464325
1,381515	-0,057999	0,096619	-1,405884
1,399223	-0,345795	0,141632	-0,325211
1,416930	0,277344	0,129120	-0,592224
1,434637	0,198669	-0,181564	-1,283936
1,452349	0,036514	-0,186523	-1,644562
1,470052	0,060776	0,131088	-1,495865
1,487760	-0,201889	-0,164536	-0,414307
1,505466	0,266861	0,021698	-1,021667
1,523174	-0,137680	-0,090652	-1,274765
1,540889	-0,266647	-0,183716	-0,685577
1,558575	0,277222	0,002670	-0,791428
1,576435	0,089661	0,006195	-1,035828
1,594138	-0,210281	-0,104980	-1,481979
1,611799	0,014633	0,192017	-1,087540

1,629542	0,252884	0,099503	-1,102951
1,647180	0,100540	-0,022507	-1,044189
1,664931	-0,021835	0,100449	-0,841415
1,682635	0,046585	0,175934	-1,205566
1,700342	0,117920	-0,044083	-0,911545
1,718050	-0,074982	-0,121490	-0,221207
1,735754	-0,119461	0,079224	-0,880875
1,753461	0,389877	-0,013458	-1,225906
1,771170	-0,279572	-0,131760	-0,427963
1,788873	-0,303009	0,130203	-0,740265
1,806580	0,170593	-0,044662	-0,389389
1,824299	-0,283020	0,049194	-0,737854
1,841936	0,472183	0,347214	-1,206985
1,859773	-0,319534	0,001801	-1,280884
1,877476	0,142731	-0,100388	-0,975647
1,895185	0,288254	0,081604	-1,388672
1,912889	-0,038574	0,166962	-1,373459
1,930612	-0,076187	-0,188705	-1,048950
1,948270	0,190628	-0,152145	-1,233154
1,965979	0,199814	0,588699	-0,429474
1,983684	-0,315277	0,531082	-0,855545
2,001394	0,103287	0,716278	-1,568649
2,019025	0,005127	0,396637	-1,411682
2,036884	0,117676	0,939514	-0,719788
2,054577	0,279999	0,456879	-0,574997
2,072253	0,252991	0,808212	-1,083206
2,089997	0,932098	0,467651	-1,175827
2,107708	-0,259918	0,758820	-0,612473
2,125386	0,772583	0,221054	-0,623657
2,143099	0,653275	1,773926	-2,044235
2,160801	-0,645798	0,917450	-1,511414

2,178510	0,030838	0,376846	-2,035858
2,196219	-0,701431	1,517853	-1,440720
2,213964	-0,276688	0,723526	-2,042709
2,231654	-0,013306	0,416473	-1,245316
2,249396	-0,929504	1,291901	-0,830887
2,267069	-0,040710	0,533005	-0,140244
2,284810	-0,324997	0,485535	-0,664383
2,302481	-0,202621	0,629913	-0,861740
2,320189	-0,059235	0,449493	-0,564194
2,337898	-0,486679	1,503235	0,195206
2,355609	0,239151	0,152298	-1,484741
2,373314	0,426941	0,266968	-0,562439
2,391023	0,136948	0,592743	-1,373062
2,408733	-0,148849	0,473969	-0,268906
2,426440	-0,098038	1,447571	-0,927353
2,444154	0,598160	0,947510	-1,430695
2,461862	0,495621	0,775421	-1,010788
2,479570	-0,124405	0,561691	-1,030045
2,497288	0,221512	0,694611	-0,785400
2,514984	-0,132980	0,161118	-0,773758
2,532690	0,004517	0,502029	-0,582611
2,550395	0,419998	0,822937	-1,228912
2,568100	-0,214767	1,060165	-1,049561
2,585809	0,872711	0,754196	-1,262741
2,603523	0,183090	0,491257	-1,233063
2,621227	-0,165573	0,711914	-0,766296
2,638934	0,063843	0,778946	-0,828781
2,656626	-0,481766	0,559692	-1,378555
2,674411	-0,686340	0,684601	-0,975815
2,692109	0,250946	0,923599	-0,917404
2,709776	0,442581	0,951675	-1,646393

2,727521	-0,060074	0,888367	-0,867538
2,745119	0,304794	0,445923	-1,128296
2,762920	0,387070	0,605209	-0,818863
2,780630	-0,642334	1,321136	-1,061279
2,798326	-0,214539	0,654739	-0,858261
2,816030	-0,208099	1,139954	-1,190964
2,833735	-0,000839	0,461990	-1,383179
2,851339	0,360977	0,387558	-0,406815
2,868636	-0,073044	0,652023	-0,780762
2,886301	-0,088577	1,069580	-0,638794
2,904045	-0,035583	0,429688	-0,844040
2,921717	-0,234573	0,419952	-0,675812
2,939319	0,219849	0,716583	-0,668350
2,957147	-0,343018	0,783279	-1,124283
2,974851	0,290756	0,693222	-1,178848
2,992554	0,315201	0,795120	-0,915039
3,010256	-0,007553	0,620789	-1,189514
3,027988	-0,418747	0,647125	-0,560822
3,045690	0,185593	0,593246	-0,495697
3,063397	0,099686	0,368408	-1,475021
3,081152	-0,269989	0,541519	-0,644409
3,098822	-0,159439	0,540985	-0,598633
3,116529	0,493530	1,325165	-1,132462
3,134246	0,540054	0,890640	-1,099396
3,151947	-0,694702	0,455002	-1,346954
3,169656	-0,255875	0,558167	-1,257401
3,187361	0,142288	0,432175	-0,868118
3,205071	0,139282	0,865753	-1,144745
3,222774	0,186172	0,541611	-1,133240
3,240481	0,418564	0,587677	-0,791824
3,258187	-0,324356	0,876556	-1,551056

3,275897	0,810562	0,395218	-1,184906
3,293591	-0,332642	0,726212	-0,943726
3,311343	0,175903	0,394379	-1,085434
3,329032	0,188187	0,757523	-0,722427
3,346747	0,276398	0,834229	-1,479248
3,364480	-0,271439	0,570694	-0,842239
3,382168	-0,428818	0,523880	-1,252472
3,399885	-0,824783	0,832703	-0,691620
3,417591	-0,306534	0,519638	-1,259888
3,435297	0,434479	0,864838	-1,124985
3,453006	-0,256470	0,305527	-1,235413
3,470721	-0,237091	0,409409	-1,194656
3,488422	-0,883484	0,616425	-0,703995
3,506134	0,642548	1,015427	-1,035004
3,523850	-0,279633	0,786438	-1,472458
3,541555	-0,543427	0,847549	-0,753082
3,559261	0,008713	0,436676	-0,667374
3,576968	-0,614822	0,709641	-0,640518
3,594674	0,160217	1,010788	-1,213211
3,612378	-0,033859	0,709244	-0,970047
3,630086	-0,136093	0,733200	-1,275696
3,647823	-0,351807	0,593140	-1,016571
3,665533	0,207687	1,255157	-0,484985
3,683240	0,339508	0,419830	-0,986633
3,700943	0,033920	0,723267	-0,779617
3,718650	0,011581	0,525894	-1,045761
3,736369	0,034271	0,605515	-0,455002
3,753977	0,297653	0,826523	-0,915619
3,771788	0,121307	0,588028	-0,788895
3,789492	0,506271	1,013855	-1,257462
3,807200	0,033539	0,561340	-1,216980

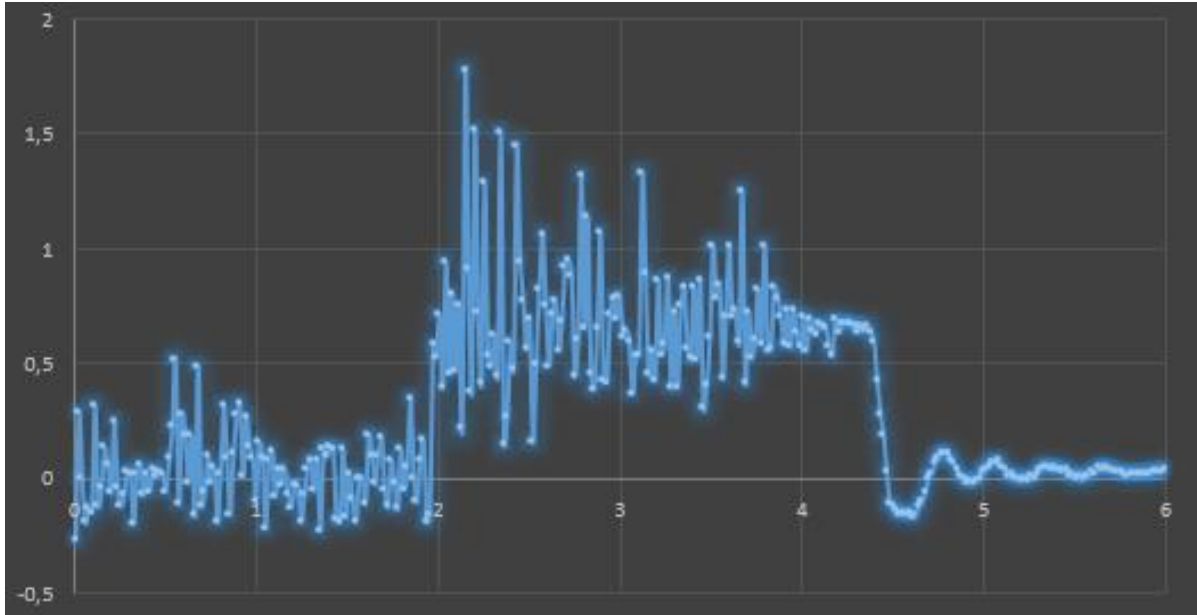
3,824905	0,334900	0,568787	-0,925995
3,842611	0,416733	0,831985	-0,739655
3,860318	0,375031	0,786499	-1,165298
3,877924	-0,089691	0,702423	-1,190155
3,895738	0,404297	0,582031	-1,242706
3,913444	0,177917	0,731583	-0,787155
3,931248	0,137085	0,573181	-0,998779
3,948895	-0,076599	0,735657	-1,032791
3,966633	0,063110	0,636169	-0,975388
3,984300	0,059753	0,578415	-1,060303
4,002008	0,079651	0,709595	-0,929214
4,019511	0,085510	0,554688	-0,831879
4,037381	0,077271	0,698792	-0,888596
4,055086	0,067352	0,646286	-1,000244
4,072803	0,036774	0,628677	-1,014847
4,090509	0,082809	0,680267	-0,971146
4,108216	0,102554	0,664169	-0,911606
4,125928	-0,011322	0,654892	-0,915787
4,143635	0,061417	0,577866	-0,978378
4,161343	0,006546	0,538010	-0,888107
4,179050	0,064682	0,699524	-0,897507
4,196765	0,048920	0,637100	-1,087952
4,214492	-0,232590	0,671036	-1,135864
4,231390	-0,058746	0,677979	-1,063354
4,249016	-0,067535	0,674881	-1,073196
4,266733	0,019928	0,679626	-1,046326
4,284433	-0,085602	0,662491	-1,009903
4,302091	-0,026077	0,637985	-1,010269
4,319798	-0,083435	0,662292	-1,078964
4,337548	0,012924	0,648499	-0,963943
4,355257	-0,020645	0,665924	-0,938690

4,372928	-0,023331	0,640137	-0,938263
4,390637	0,007523	0,593674	-0,986710
4,408344	-0,026276	0,431870	-1,003891
4,426051	-0,031677	0,281342	-0,982635
4,443767	-0,038193	0,189575	-0,989014
4,461478	-0,016708	0,026352	-0,993103
4,479187	-0,000076	-0,108887	-1,039169
4,496895	0,055206	-0,116058	-1,086197
4,514574	0,025482	-0,133987	-1,065292
4,531231	0,087906	-0,155106	-1,034119
4,549029	0,071579	-0,146286	-1,014603
4,566723	0,031448	-0,154694	-0,989914
4,584435	0,015137	-0,147186	-0,993073
4,602183	-0,002258	-0,169754	-0,908875
4,619892	0,015564	-0,156311	-0,911011
4,637564	0,014709	-0,121231	-0,924423
4,655266	0,018341	-0,097458	-0,931732
4,672979	0,013702	-0,055359	-0,924561
4,690687	0,024002	0,002533	-0,889969
4,708403	0,002319	0,025574	-0,873657
4,726109	-0,004242	0,067612	-0,869431
4,743816	0,004135	0,086411	-0,891449
4,761521	-0,005890	0,109238	-0,892838
4,779227	-0,009537	0,114578	-0,914642
4,796932	-0,005722	0,111633	-0,920502
4,814578	-0,002594	0,082611	-0,945663
4,831196	-0,011688	0,066666	-0,981934
4,848987	-0,002548	0,043304	-1,013077
4,866702	0,004425	0,014481	-1,026398
4,884404	0,023514	0,003052	-1,030075
4,902116	0,010483	-0,013611	-1,052551

4,919819	0,008606	-0,012772	-1,058487
4,937528	0,006500	-0,017426	-1,051529
4,955231	0,000000	-0,005798	-1,037903
4,972945	-0,003860	-0,002579	-1,015289
4,990649	0,001831	0,028259	-1,000977
5,008363	0,010849	0,040024	-0,985352
5,025974	0,018997	0,054550	-0,974701
5,043785	0,007782	0,073166	-0,942490
5,061487	-0,103912	0,069092	-0,977341
5,079202	-0,032990	0,079468	-1,181534
5,096908	0,018082	0,052048	-1,010193
5,114563	0,002151	0,045395	-0,946014
5,131317	0,020721	0,014603	-0,966156
5,148985	0,025726	0,017059	-0,991837
5,166690	0,016647	0,004517	-0,997574
5,184396	0,003113	0,006485	-0,988770
5,202106	0,017334	-0,004990	-0,995438
5,219811	0,010635	-0,002197	-0,997482
5,237431	0,019272	-0,004944	-0,992462
5,255260	0,016800	0,010254	-0,996704
5,272958	0,024292	0,000824	-0,992538
5,290707	0,023956	0,025116	-0,966309
5,308373	0,015640	0,040512	-0,957718
5,326083	0,007187	0,049820	-0,967758
5,343789	0,004349	0,051819	-0,960922
5,361496	0,005066	0,043060	-0,972595
5,379207	0,016006	0,051819	-0,965790
5,396913	0,022552	0,039795	-1,002090
5,414564	0,016541	0,038574	-0,959656
5,431314	0,018372	0,033630	-0,970428
5,448982	0,025421	0,041153	-0,978424

5,466688	0,016861	0,014465	-0,973083
5,484401	-0,014984	0,018784	-0,990036
5,502146	0,007828	0,002792	-0,983765
5,519823	0,017639	0,007797	-0,972946
5,537529	0,020264	-0,002838	-0,981644
5,555234	-0,010742	0,006729	-0,912842
5,572942	-0,017868	0,016342	-1,021561
5,590647	-0,002090	0,027283	-0,999985
5,608354	-0,006104	0,023605	-0,989090
5,626070	0,019791	0,047745	-0,982483
5,643775	0,010712	0,036346	-0,975433
5,661480	0,017838	0,047806	-0,977570
5,679256	0,018494	0,036377	-0,976379
5,696693	0,020493	0,038132	-0,987274
5,714479	0,014496	0,031433	-0,986176
5,731296	0,005600	0,027740	-0,974304
5,749049	0,007660	0,027145	-1,011795
5,766719	0,017929	0,018341	-0,970169
5,784425	0,002380	0,012894	-1,005661
5,802129	-0,001358	0,019806	-0,990005
5,819836	-0,000381	0,019821	-0,988998
5,837547	0,007263	0,017166	-0,980057
5,855254	0,015152	0,019913	-0,988953
5,872957	0,002609	0,024933	-0,970337
5,890564	0,004410	0,020081	-0,975174
5,908383	0,002441	0,019211	-0,970245
5,926089	0,009598	0,030563	-0,978287
5,943796	0,002777	0,029617	-0,976318
5,961504	0,006577	0,027649	-0,980225
5,979209	0,000946	0,033401	-0,977386
5,996917	0,003067	0,039062	-0,982407

6,014652	0,003891	0,033218	-0,989227
6,031279	0,010620	0,032364	-0,986206
6,049095	0,011719	0,037231	-0,980377



**Grafica de desaceleración en función de la fuerza de frenado y el tiempo sobre la vía
Empedrada**