



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

**TEMA: ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN
INTELIGENTE EN EL VEHÍCULO CORSA SPORT 1.4**

AUTOR: PILATAXI SANDOVAL CRISTIAN ANDRÉS

DIRECTOR: ING. RAMIRO ROSERO, MSc.

Ibarra, Junio 2018

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de Director del trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el trabajo de grado cuyo título es “Análisis e implementación del sistema de suspensión inteligente en el vehículo Corsa Sport 1.4”, presentado por el señor: Pilataxi Sandoval Cristian Andrés con número de cédula 1003253208, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 12 días del mes de junio del 2018

Atentamente,


MSc. Ramiro Andrés Rosero Añazco
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003253208		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Pilataxi Sandoval Cristian Andrés		
DIRECCIÓN:	Calle Piñan 4-35, Barrio "La Delicia", Priorato		
E-MAIL:	andcriss22@outlook.es		
TELÉFONO FIJO:	062580715	TELÉFONO MÓVIL:	0968262252

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Análisis e implementación del sistema de suspensión inteligente en el vehículo Corsa Sport 1.4
AUTOR:	Cristian Andrés Pilataxi Sandoval
FECHA:	12 de junio de 2018
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR/DIRECTOR:	ING. Ramiro Andrés Rosero Añazco, MSc.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, **Cristian Andrés Pilataxi Sandoval** con cédula de identidad Nro. **1003253208**, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días del mes de junio del 2018

AUTOR



Firma

Cristian Andrés Pilataxi Sandoval

Nombre completo

1003253208

C.C



CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **Cristian Andrés Pilataxi Sandoval** con cédula de identidad Nro. **1003253208**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado **Análisis e implementación del sistema de suspensión inteligente en el vehículo Corsa Sport 1.4**. Que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**, en la Universidad Técnica del Norte quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

AUTOR

Firma

Cristian Andrés Pilataxi Sandoval

Nombre completo

1003253208

C.C

Ibarra, a los 12 días del mes de junio de 2018.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios quien fue el encargado de guiarme por un buen camino, por darme el conocimiento para enfrentar la cantidad de obstáculos que se presentaron en el transcurso de esta carrera y no perder el rumbo de mis objetivos.

A mi familia que con su amor y comprensión han sabido guiar mi vida por el sendero de la verdad y el estudio, con el fin de engrandecer mis conocimientos universitarios, y me han sabido inculcar con valores y principios para poder lograr mis objetivos.

CRISTIAN ANDRÉS PILATAXI SANDOVAL

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica del Norte por el presente trabajo de grado, por brindarme la oportunidad de elevar mis conocimientos universitarios mediante docentes de calidad, quienes me permitieron y me incentivaron a ser mejor profesionalmente, mediante su tiempo y dedicación.

Un agradecimiento muy especial al director del trabajo, el ING. Ramiro Andrés Rosero Añazco, MSc, docente de la UTN, por su tiempo y dedicación, quien con su cantidad de conocimientos me supo guiar hasta culminar mi trabajo de titulación.

La cantidad de personas en el ámbito universitario y social fueron numerosas, quienes me motivaron con su optimismo a culminar una carrera profesional; compañeros y familiares quienes están presentes o vivirán en mis recuerdos, personas que admiro por su humildad y conocimientos, transmitidos para ser mejores personas en un campo profesional y laboral, por sus deseos de verme profesional, les envió bendiciones y les estaré muy agradecido siempre.

CRISTIAN ANDRÉS PILATAXI SANDOVAL

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁG.
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
CAPÍTULO I	1
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Formulación del problema	2
1.4 delimitación temporal y espacial	2
1.5 Objetivos	2
1.5.1 Objetivo General.	2
1.5.2 Objetivos específicos	2
1.6 Justificación	3
CAPÍTULO II	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Introducción	5
2.2 Historia de los sistemas de suspensión	5
2.3 Evolución de las Suspensiones	6
2.4 Descripción general de la Suspensión	6
2.5 Tipos de suspensiones mecánicas	7
2.5.1 Suspensión de Eje Rígido	7
2.5.2 Suspensión Semirrígida	8
2.5.3 Suspensión Independiente	10
2.5.4 Suspensión McPherson	11
2.5.4.1 Sistemas y componentes de la suspensión McPherson	12
2.5.5 Suspensión trasera de brazo inferior	12
2.5.6 Suspensión trasera de brazo semirrígida	13
2.5.7 Suspensión de paralelogramo deformable	13
2.5.8 Suspensión coilovers	14
2.6 Cotas y dimensiones de la carrocería	15
2.7 El peso soportado por los muelles	16
2.7.1 Oscilaciones del peso soportado por muelles	16
2.7.2 Oscilaciones del peso no suspendido por muelles	17
2.7.3 Dimensiones del vehículo	18
2.8 Geometría de la Suspensión y dirección	19

2.8.1	Centro de gravedad o baricentro (CG)	19
2.8.2	Centro de balanceo (Roll Center)	20
2.8.3	Sistema de dirección	21
2.8.3.1	Condición de Ackerman	21
2.8.3.1	Centro instantáneo de rotación (IC)	22
2.8.3.3	Fuerzas y momentos del sistema de dirección	23
2.8.3.4	Parámetros de la dirección	24
2.9	Dinámica del vehículo	25
2.9.1	Dinámica longitudinal	25
2.9.2	Dinámica lateral	28
2.9.3	Subviraje	28
2.9.4	Sobreviraje	28
2.10	Neumático	29
2.10.1	Nomenclatura del neumático	31
2.11	Simulación (CAE)	32
2.11.1	Vedyna CAE	32
2.11.2	Utilización de la simulación	32
2.12	Adquisición de datos	33
2.13	Instrumentación	33
CAPÍTULO III		35
3.	DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	35
3.1	Desarrollo de la propuesta	35
3.2	Parámetros geométricos del vehículo	36
3.2.1	Centro de gravedad	37
3.2.2	Anti-hundimiento (Anti-dive)	39
3.2.3	Anti-levantamiento (Anti-squat)	40
3.2.4	Geometría de la dirección	40
3.2.4.1	King pin angle (ángulo de inclinación)	41
3.2.4.2	Ángulo cámbor (o de caída)	41
3.2.4.3	Ángulo cáster o de avance	42
3.2.4.4	Ángulo toe	42
3.2.5	Coilovers	43
3.2.6	Sistema de frenos	43
3.2.7	Transferencia de peso longitudinal	45
3.2.8	Transferencia de peso lateral	46
3.2.9	Cálculo antivuelco	47
3.2.10	Neumáticos	48
3.2.11	Conclusión	48
3.3	Implementación del sistema de adquisición de datos.	49
3.3.1	Instalación y Configuración AIM-HALTECH-CAN-BUS	50
3.3.2	Distribución del sistema de adquisición de datos	51
3.3.3	Comunicación Haltech-AIM	52

3.3.4	Instalación EVO4/G-dash	53
3.3.5	Instalación de sensores Lineales	53
3.3.6	Instalación del sensor de giro del volante	54
3.3.7	Canal de expansión	55
3.3.8	TC Hub	55
3.3.9	Data Hub	56
3.3.10	Software Race Studio 2	57
3.3.11	Pasos para la instalación del software AIM	57
3.3.12	Puesta a punto de los equipos.	60
3.4	Desarrollo de protocolos de prueba	60
3.4.1	Dinámica longitudinal	61
3.4.2	Dinámica Lateral	62
3.4.3	Condiciones de seguridad para pruebas en pista	63
3.5	Simulación	63
3.5.1	Puesta a punto de VeDyna	63
3.5.2	Aceleraciones laterales	66
3.6	Pruebas en pista	66
3.6.1	Pruebas AIM cambio de carril o prueba del alce.	66
CAPÍTULO IV		67
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	67
4.1	Evaluación Comparativa de Resultados	67
4.2	Resultados de simulación en vedyna	67
4.2.1	Resultados de simulación a 40 km/h	67
4.2.1.1	Prueba del alce, simulación a 40 km/h	67
4.3.1	Resultados de simulación a 60 km/h	70
4.3.1.1	Prueba del alce, simulación a 60 km/h	70
4.3.1.2	Prueba de aceleración y frenado, simulación a 60 km/h	73
4.3.2	Resultados de simulación a 80 km/h	75
4.3.2.1	Prueba del alce, simulación a 80 km/h	75
4.3.2.2	Prueba de aceleración y frenado, simulación a 80 km/h	78
4.4	Resultados de adquisición de datos aim	80
4.4.1	Prueba del alce, aim	80
4.4.2	Prueba de aceleración y frenado, AIM	82
4.4.2.1	Prueba de aceleración y frenado, AIM a 60 km/h	83
4.4.2.2	Prueba de aceleración y frenado, AIM a 80 km/h	84
4.5	Comparación de resultados	85
4.5.1	Comparación de resultados a 40 km/h	85
4.5.1.1	Prueba del alce, comparación a 40 km/h	85
4.5.2	Comparación de resultados a 60 km/h	87
4.5.2.1	Prueba del alce, comparación a 60 km/h	87
4.5.2.2	Prueba de aceleración y frenado, a 60 km/h	90
4.5.3	Resultados a 80 km/h	92

4.5.3.1	Prueba del alce, a 80 km/h	92
4.5.3.2	Prueba de aceleración y frenado, a 80 km/h	94
4.6	Resultados de las pruebas	97
CAPÍTULO V		101
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	101
5.1	Conclusiones	101
5.2	Recomendaciones.	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		104
ANEXOS		106

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.	PÁGINA
Figura 2.1 Willys Overand 1909	6
Figura 2.2 Suspensión Convencional	7
Figura 2.3 Suspensión de Eje Rígido	8
Figura 2.4 Suspensión Semirrígida o “de Dion”	9
Figura 2.5 Eje Torsional	9
Figura 2.6 Suspensión Brazo Inferior	10
Figura 2.7 Suspensión Delantera SLA	11
Figura 2.8 Suspensión McPherson	11
Figura 2.9 Suspensión trasera de brazo inferior	12
Figura 2.10 Suspensión Trasera de Brazo Semirrígida	13
Figura 2.11 Paralelogramo Deformable	14
Figura 2.12 Coilovers	14
Figura 2.13 Movimientos de la carrocería.....	15
Figura 2.14 Peso soportado por los muelles y peso no suspendido.....	16
Figura 2.15 Efecto del peso soportado por muelles	17
Figura 2.16 Peso no suspendido	18
Figura 2.17 Batalla y ancho de vía	19
Figura 2.18 Centro de gravedad	20
Figura 2.19 Centro de balanceo.....	21
Figura 2.20 Geometría de Ackerman	21
Figura 2.21 Centro Instantáneo de Rotación	22
Figura 2.22 Centro Instantáneo	23
Figura 2.23 Fuerzas y Momentos	24
Figura 2.24 Parámetros geométricos de las ruedas	24
Figura 2.25 Angulo TOE.....	25
Figura 2.26 Aceleración y Frenado	26
Figura 2.27 Frenos delanteros y frenos traseros	27
Figura 2.28 Sobreviraje y Subviraje	29
Figura 2.29 Angulo de desplazamiento	30

Figura 2.30	Fuerzas generadas en los neumáticos.....	30
Figura 2.31	Nomenclatura del neumático	31
Figura 3.1	Metodología para la evaluación de la dinámica del vehículo	35
Figura 3.2	Dimensiones principales del vehículo.....	36
Figura 3.3	Calculo del centro de gravedad.....	37
Figura 3.4	Anti-levantamiento y anti-hundimiento	39
Figura 3.5	Ángulo King Pin	41
Figura 3.6	Geometría del Cámbor	41
Figura 3.7	Ángulo Cáster	42
Figura 3.8	Geometría del ángulo Toe.....	42
Figura 3.9	Kit de coilovers	43
Figura 3.10	Sistema de frenos mixto.....	44
Figura 3.11	Diagrama de cuerpo libre.....	47
Figura 3.12	OBD2-VeDyna.....	50
Figura 3.13	Distribución del sistema de adquisición de datos	51
Figura 3.14	Comunicación AIM.....	52
Figura 3.15	Comunicación AIM-Haltech.....	52
Figura 3.16	Diagrama de instalación EVO 4.....	53
Figura 3.17	Diagrama de conexión de Potenciómetros.....	54
Figura 3.18	Channel Expansion	55
Figura 3.19	TC HUB	56
Figura 3.20	DATA HUB	56
Figura 3.21	Software AIM	58
Figura 3.22	System Manager.....	59
Figura 3.23	Prueba de aceleración y frenado	61
Figura 3.24	Prueba del maniobra evasiva o prueba del alce	62
Figura 3.25	Configuración VeDyna	65
Figura 3.26	Configuraciones disponibles VeDyna.....	65
Figura 4.1	Trayectoria lateral vs trayectoria longitudinal (Simulación a 40 km/h)	68
Figura 4.2	Ángulo del volante vs tiempo (Simulación a 40 km/h)	68
Figura 4.3	Aceleración lateral vs tiempo (Simulación a 40 km/h).....	69
Figura 4.4	Ángulo de guiñada vs tiempo (Simulación a 40 km/h).....	70
Figura 4.5	Trayectoria lateral vs trayectoria longitudinal (Simulación a 60 km/h)	71

Figura 4.6	Ángulo del volante vs tiempo (Simulación a 60 km/h)	71
Figura 4.7	Aceleración lateral vs tiempo (Simulación a 60 km/h)	72
Figura 4.8	Ángulo de guiñada vs tiempo (Simulación a 60 km/h)	72
Figura 4.9	Velocidad vs tiempo (Simulación a 60 km/h)	73
Figura 4.10	Aceleración longitudinal vs tiempo (Simulación a 60 km/h)	74
Figura 4.11	Trayectoria lateral vs trayectoria longitudinal (Simulación a 80 km/h)	76
Figura 4.12	Ángulo del volante vs tiempo (Simulación a 80 km/h)	76
Figura 4.13	Aceleración lateral vs tiempo (Simulación a 80 km/h)	77
Figura 4.14	Ángulo de guiñada vs tiempo (Simulación a 80 km/h)	77
Figura 4.15	Velocidad vs tiempo (Simulación a 80 km/h)	78
Figura 4.16	Aceleración longitudinal vs tiempo (Simulación a 80 km/h)	79
Figura 4.17	Trayectoria lateral vs trayectoria longitudinal (AIM)	80
Figura 4.18	Ángulo del volante vs tiempo (AIM)	81
Figura 4.19	Aceleración lateral vs tiempo (AIM)	81
Figura 4.20	Ángulo de guiñada vs tiempo (AIM)	82
Figura 4.21	Extensión de potenciómetros en acelerada (AIM a 60 km/h)	83
Figura 4.22	Extensión de potenciómetros en frenada (AIM a 60 km/h)	83
Figura 4.23	Extensión de potenciómetros en acelerada (AIM a 80 km/h)	84
Figura 4.24	Extensión de potenciómetros en frenada (AIM a 80 km/h)	84
Figura 4.25	Trayectoria lateral vs trayectoria longitudinal (40 km/h)	85
Figura 4.26	Ángulo del volante vs tiempo (40 km/h)	86
Figura 4.27	Aceleración lateral vs tiempo (40 km/h)	86
Figura 4.28	Ángulo de guiñada vs tiempo (40 km/h)	87
Figura 4.29	Trayectoria lateral vs trayectoria longitudinal (60 km/h)	88
Figura 4.30	Ángulo del volante vs tiempo (60 km/h)	88
Figura 4.31	Aceleración lateral vs tiempo (60 km/h)	89
Figura 4.32	Ángulo de guiñada vs tiempo (60 km/h)	89
Figura 4.33	Velocidad vs tiempo (60 km/h)	90
Figura 4.34	Aceleración longitudinal vs tiempo	91
Figura 4.35	Trayectoria lateral vs trayectoria longitudinal (80 km/h)	92
Figura 4.36	Ángulo del volante vs tiempo (80 km/h)	93
Figura 4.37	Aceleración lateral vs tiempo (80 km/h)	93
Figura 4.38	Ángulo de guiñada vs tiempo (80 km/h)	94

Figura 4.39 Velocidad vs tiempo (80 km/h).....	94
Figura 4.40 Aceleración longitudinal vs tiempo (80 km/h)	96

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.	PÁGINA
Tabla 2.1 Fuerzas y Momentos en la dirección.	23
Tabla 2.2 Coeficientes de fricción	29
Tabla 3.1 Dimensiones generales del Vehículo.....	36
Tabla 3.2 Coilovers Blinsein B14	43
Tabla 3.3 Tabla de resumen para análisis y simulación	49
Tabla 3.4 Características del sensor de giro del volante.....	54
Tabla 4.1 Distancias de recorrido y frenado (Simulación a 60 km/h).....	74
Tabla 4.2 Aceleraciones longitudinales máximas (Simulación a 60 km/h)	74
Tabla 4.3 Distancias de recorrido y frenado (Simulación a 80 km/h).....	78
Tabla 4.4 Aceleraciones longitudinales máximas (Simulación a 80 km/h)	79
Tabla 4.5 Valores de distancia de la prueba de aceleración y frenado a 60 km/h.....	90
Tabla 4.6 Valores de aceleración de la prueba de aceleración y frenado a 60 km/h.....	91
Tabla 4.7 Valores de distancia de la prueba de aceleración y frenado a 60 km/h.....	95
Tabla 4.8 Valores de aceleración de la prueba de aceleración y frenado a 80 km/h.....	96
Tabla 4.9 Resultados de la simulación y pruebas en pista.....	97
Tabla 4.10 Prueba de aceleración y frenado	98

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.		PÁGINA
1.	Sensor Lineal	106
2.	Diagrama DATA HUB	107
3.	Conexión TC HUB	108

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

SLA: Suspensión de brazo cortó.

Wr: Peso dinámico en el eje trasero.

W: Peso del vehículo.

b: Parámetros de rigidez en los neumáticos.

L: Base de la rueda.

ax: Aceleración en la dirección.

g: Gravedad.

R= Radio

h: Altura del centro de gravedad.

WB = Wheel Base (distancia entre ejes)

V_A : Vectores velocidad en el eje de las A.

V_B : Vectores velocidad en el eje de las B.

CI: Centro instantáneo de rotación.

Mfd : Pares de frenado en el eje d.

Mft : Pares de frenado en el eje t.

Ffd : Fuerza de frenado en el eje d.

Fft : Fuerza de frenado en el eje t.

Ff_{max} =Fuerza de frenado máxima.

μ = Coeficiente de rozamiento.

deg = Grados

s = Segundos

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- AIM:** Fabricante de equipos de precisión para la facilidad de la adquisición de datos.
- Anti-squat:** Anti hundimiento,
- Anti-dive:** anti levantamiento.
- Balanceo:** Operación realizada a las ruedas para el mejor equilibrio del automóvil.
- CAE:** Ingeniería asistida por computadora.
- Cámbier:** Angulo entre el eje vertical de las ruedas utilizado en la dirección de las ruedas.
- Cáster:** Inclinación de la rueda hacia adelante o atrás de una línea vertical que cruza entre el eje vertical del ángulo de pivotamiento.
- Deflexión:** Deformación que sufre un elemento por el efecto de las flexiones internas.
- ECU:** Unidad Electrónica de Control.
- Fluctuación:** Es la variación que experimenta una magnitud física respecto a un valor medio.
- Guiñada:** Distribución de las fuerzas centrífugas entre los ejes delanteros y traseros.
- Hyper-static:** Un enlace más que grados de libertad en el eje vertical de la suspensión.
- Inercia:** Fuerza que obliga a un elemento mantenerse en el estado de reposo.
- SAE:** Sociedad de Ingenieros Automotrices.
- Toe:** El ángulo convergente/divergente (toe) identifica la dirección exacta hacia la cual las ruedas apuntan comparándolas con una línea vertical en el vehículo.
la parte de arriba hacia abajo con respecto al pivote.
- Vaivén:** Movimiento alternativo de un cuerpo en dos sentidos opuestos.
- Vedyna:** Software para la simulación de suspensiones.

RESUMEN

El presente trabajo de grado está desarrollado con el objetivo de evaluar el comportamiento dinámico del sistema de suspensión y de la mayoría de elementos que componen el sistema de equilibrio elástico del automóvil, equipados en automóviles de competencia. Se demuestra la variación y fiabilidad de las suspensiones estándar en comparación con las suspensiones regulables de competencia, para considerar la elección del sistema de suspensión que se vaya a implementar en un vehículo de competencia, analizando prestaciones, estabilidad y mejor desempeño en una competencia. El análisis de los sistemas se ejecutó planteando protocolos de pruebas en pista, los cuales inicialmente fueron realizados mediante el software de simulación Vedyne, mismo que permite establecer valores límites de las suspensiones estándar y las de competencia, permitiendo conocer la variación de trabajo entre cada tipo de suspensión, modificando neumáticos y ángulos de referencia de la dirección. Las pruebas se realizaron en el Autódromo Internacional de Yahuarcocha “José Tobar Tobar” bajo condiciones de seguridad controladas de forma continua; mediante estas pruebas se pueden obtener los desplazamientos de la suspensión, trayectorias de las ruedas, giros de la dirección y el desempeño de la suspensión con diferentes neumáticos. En estas pruebas se instaló un sistema de adquisición de datos para el almacenamiento en tiempo real de los parámetros dinámicos del vehículo mediante un sistema de comunicación CAN-BUS. Finalmente se realiza un análisis comparativo de dichas pruebas, mediante los datos almacenados y la evaluación de los parámetros críticos de los sistemas de suspensión dentro de un entorno de competencia como es la pista asfaltada del autódromo.

ABSTRACT

The present work is developed with the aim of evaluating the dynamic behavior of the suspension system and the elements that infer in the balance of a racing vehicle. The variation and reliability of the standard suspensions in comparison with the adjustable racing suspensions is demonstrated, to consider the choice of the suspension system that is going to be implemented in a competitive vehicle, analyzing security, stability and better performance in a competition. The analysis of the systems was carried out developing test track protocols in the software VeDyna, in order to establish limit values of the standard suspension system versus racing suspension system, allowing to analyze various adjustments of steering reference angles and tires. The tests were carried out at the Yahuarcocha International Speedway "José Tobar Tobar" under continuously controlled safety conditions; Through these tests were obtained the displacements of the suspension, trajectories of the wheels, turns of the direction, lateral accelerations, speed, and parameters related to the dynamic behavior of the vehicle. In these tests, a data acquisition system was installed to store the dynamic parameters of the vehicle in real time through a CAN-BUS communication system. Finally, a comparative analysis of these tests is carried out, through the stored data and the evaluation of the critical parameters of the suspension systems.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En la actualidad existen varios tipos de suspensiones, donde destacan principalmente los sistemas de suspensión activa y McPherson, mismos que poseen algunas ventajas y por esta razón son los preferidos en el mercado global. Estos dos sistemas de suspensión proporcionan excelentes prestaciones, y han evolucionado a través de los años ofreciendo mayor eficiencia, razón por la que se ha vuelto indispensable su uso en los vehículos.

Hoy en día los vehículos de turismo con suspensiones McPherson superan notablemente en venta a los vehículos con suspensiones activas y semi-asistidas. Este fenómeno no es relativamente nuevo debido a que con el pasar del tiempo, los sistemas de suspensión McPherson han ido mejorando su tecnología a precios muy accesibles, mientras que los otros tipos de suspensiones son de prestaciones casi similares, pero de costos más elevados, por esto su implementación es requerida únicamente en automóviles de alta gama.

La Universidad Técnica del Norte cuenta con un vehículo Corsa Sport 1.4 preparado para competencia con sistema de suspensión MacPherson tradicional de buen desempeño, que para propósitos de competencia es muy útil para la amortiguación de irregularidades encontradas en el camino.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los talleres de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte se observa que no existen proyectos innovadores con bases tecnológicas de la electrónica, mismos que podrían implementarse en varios de los sistemas que posee el vehículo Corsa Sport 1.4. Este vehículo no cuenta con un sistema de suspensión inteligente y por esta razón no se puede conocer su comportamiento en pista y proponer alguna sugerencia de prestación o manejo con base en su funcionamiento real.

Es importante contar con un sistema de suspensión inteligente para que los estudiantes conozcan sobre las prestaciones que ofrecen estos sistemas y su respectivo mantenimiento, mejorando los conocimientos en electrónica automotriz.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se analizará el sistema de suspensión del vehículo Corsa Sport 1.4, cuáles son las condiciones en que se analizará el sistema, porqué se utiliza el método determinado y cuáles son las ventajas de ejecutar el proyecto?

1.4 DELIMITACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL

Este proyecto se lleva a cabo en los talleres de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte y en el Autódromo Internacional de Yahuarcocha “José Tobar Tobar”, desde el mes de octubre de 2017 hasta enero de 2018.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL.

Simular e implementar un sistema de suspensión inteligente en el vehículo Corsa Sport 1.4.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los parámetros fundamentales que intervienen en el reglaje y comportamiento de un sistema de suspensión.
- Implementar el sistema de adquisición de datos, para medir los fenómenos físicos y eléctricos para el análisis de su comportamiento real.
- Desarrollar protocolos de prueba para evaluar el comportamiento de la suspensión.
- Evaluar el comportamiento dinámico del automóvil y del sistema de suspensión mediante simulación y pruebas en pista, ejecutando un análisis comparativo considerando reglajes diferentes.

1.6 JUSTIFICACIÓN

Una de las prioridades más importantes de los equipos de competición es registrar información acertada de los sistemas involucrados en el funcionamiento de su vehículo, mismos que permiten establecer rangos de estabilidad y maniobrabilidad cuando están sometidos a condiciones extremas. Para permitir el análisis de dichos sistemas se implementa un equipo de procesamiento y almacenamiento de datos.

Las suspensiones inteligentes se perfilan para dominar el mercado automotriz, debido a que sus prestaciones que generan mayor seguridad y confort de los ocupantes del vehículo.

El análisis de los sistemas de suspensiones se realizará utilizando todos los protocolos de seguridad para las pruebas establecidas, permitiendo recopilar los valores generados mediante el sistema de adquisición de datos AIM, para su posterior interpretación y aplicación en el reglaje del vehículo de competencia. Con el desarrollo de este trabajo será posible controlar el sistema con la ayuda de elementos electrónicos cuando el vehículo se encuentre en dificultades, tanto en pista dentro de una competencia, como en la carretera.

Los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz tendrán un sistema de suspensión Inteligentes con elementos electrónicos que permitirán su análisis y mantenimiento con la ayuda de sistemas de alerta en caso de existir la necesidad de sustituir los componentes móviles y fijos de la suspensión inteligente. Con la finalidad de verificar niveles de seguridad, confort y maniobrabilidad de los sistemas empleados para una tomar una elección conveniente que garantice seguridad y un desempeño satisfactorio en condiciones extremas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

La tecnología avanza a pasos agigantados permitiendo facilidades para el análisis de sistemas sometidos a cargas extremas mediante otros sistemas desarrollados a través de ingeniería dinámica e informática, obteniendo valores en tiempo real de los sistemas elásticos y giratorios del vehículo que interactúan con las fuerzas motrices. Estos sistemas permiten la obtención de información de gran valor que a la vez permite una elección precisa de los componentes que ofrezcan mejores prestaciones, teniendo en cuenta todos los protocolos de seguridad del vehículo y maniobrabilidad a velocidades programadas.

El presente proyecto investiga los modelos dinámicos en donde se encuentran las variables del sistema de suspensión como: guiñada, aceleraciones laterales, cabeceo, inclinaciones entre otros. Adicionalmente se describen los instrumentos empleados para el desarrollo del presente trabajo, que son el software CAE (Vedyna estudiantil) donde se realizaron simulaciones, y el sistema de adquisición de datos AIM compatible con la ECU del vehículo.

2.2 HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN

Inicialmente los primeros tipos de suspensión no preveían suspender cada rueda independientemente de la caja del vehículo, si no de dos en dos. De hecho, como el automóvil desciende del carruaje de los caballos, los primeros diseñadores transfirieron la técnica de la suspensión de los carruajes de caballos a los coches. Estos sistemas estaban diseñados a partir de dos ejes rígidos unidos a la caja de velocidades del vehículo, mediante ballestas longitudinales y transversales. Las ruedas eran elementos que estaban forrados con hierro y carecían de amortiguadores verdaderos, y únicamente mediante el rozamiento de las hojas de las ballestas brindaban cierta amortiguación al sistema.

El primer diseño de suspensión independiente apareció en 1903, la mayoría de constructores se orientó hacia soluciones estándar, por lo general ejes rígidos con ballestas, con notable cámbler positivo delantero como se muestra en la Figura 2.1. Estos sistemas estuvieron vigentes hasta los años treinta.



Figura 2.1 Willys Overland 1909

Fuente: (Historia del Automovil , 2003, pág. 87)

2.3 EVOLUCIÓN DE LAS SUSPENSIONES

Los 100 años de evolución y desarrollo de suspensiones se clasifican en 3 fases de mejoramiento:

De 1885 a 1920: El diseño de las suspensiones en estos años fue basada en la idea de los carruajes hacia técnicas más adecuadas, con prestaciones y principios de construcción para implementarlo a un vehículo con motor.

De 1920 a 1955: En la búsqueda de mejores prestaciones, sobre todo una mejor estabilidad que en poco tiempo se había convertido en una exigencia fundamental. En este periodo se produjo el diseño y mejoramiento de los esquemas de las suspensiones en función del tipo de auto (posición del motor, tipo de propulsión y condiciones de carga). En el sector de autos de alta gama y competición se produjo un desarrollo más sofisticado de nuevos esquemas, más complejos, en búsqueda de confort y fiabilidad para el piloto.

De 1955 a los años setenta: Implementación de soluciones ya formuladas teóricamente y consideradas de nuevo con esquemas de construcción adecuados, que brinden mayor fiabilidad, mejor mantenimiento y bajo costo.

2.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SUSPENSIÓN

La suspensión es un mecanismo que conecta la carrocería del vehículo con las ruedas, algunas de las funciones principales que desempeña este sistema son las siguientes:

Cuando el vehículo está en marcha la suspensión en conjunto con los neumáticos se encargan de absorber las oscilaciones generadas por las irregularidades de la superficie de la carretera, con el fin de brindar comodidad a los ocupantes y estabilidad de conducción. También se encarga de transmitir las fuerzas motrices y de frenado, generadas por las ruedas y la fricción con la carretera hacia el chasis y la carrocería.

Los componentes principales de la suspensión se muestran en la Figura 2.2

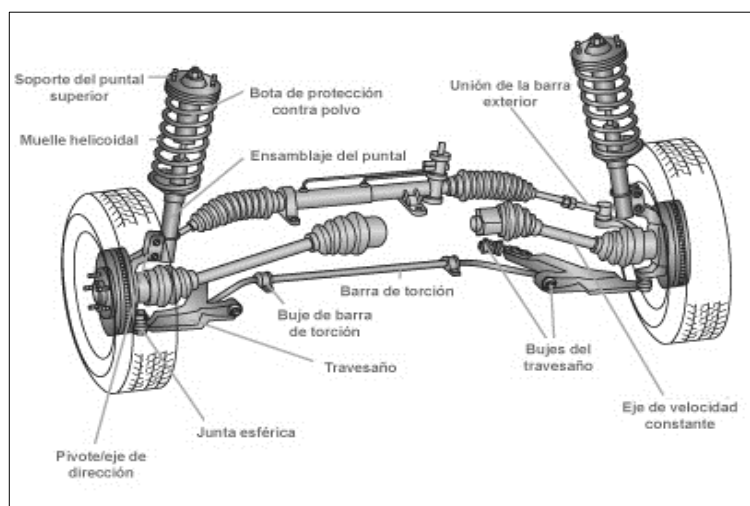


Figura 2.2 Suspensión Convencional
Fuente: (El Mundo del Automóvil, 2011, pág. 65)

2.5 TIPOS DE SUSPENSIONES MECÁNICAS

Según el tipo de elementos elásticos que funcionan en los sistemas de suspensión tradicionales, que están basados en el mismo principio de funcionamiento y tienen amortiguadores, barras estabilizadoras independientes de los ejes rígidos de los vehículos. Actualmente existe una variedad de diseños de suspensiones, con mayores prestaciones y ofrecer mayor comodidad y seguridad al conductor, teniendo como principio básico transmitir las irregularidades presentadas al conducir a los sistemas elásticos del automóvil y mejorando su rendimiento a continuación detallamos los tipos de suspensión más conocidos.

2.5.1 SUSPENSION DE EJE RÍGIDO

Este tipo de suspensión es el modo más simple de unir dos ruedas con el vehículo al montarlas en los extremos de un eje sólido. El eje sólido se une con las hojas de resorte y estas a su vez con el chasis, las hojas absorben los movimientos de arriba hacia abajo que genera el eje rígido y la dirección, como se representa en la Figura 2.3.

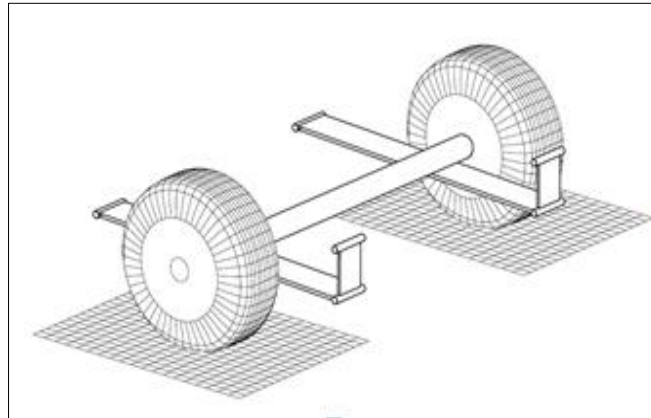


Figura 2.3 Suspensión de Eje Rígido

Fuente: (Jazar R. N., 2010, pág. 15)

En vehículos de tracción delantera se tiene algunas combinaciones referentes a elementos de suspensión. El método más simple para unir el eje a la mitad, es con dos hojas de resorte en sus extremos aseguradas con grilletes y unidas a la carrocería.

2.5.2 SUSPENSIÓN SEMIRRÍGIDA

Los diagramas de este tipo de suspensión son muy parecidos a los de tipo rígida, la diferencia principal es que se caracterizan porque las ruedas están unidas entre sí con el eje rígido y transmiten las oscilaciones e irregularidades del terreno de forma parcial. En diferentes casos de diseño se establece que esta suspensión no es rígida y tampoco independiente y la función motriz se separa de la función de la suspensión implementando un elemento más conocido como Eje de Dion (Aficionados a la Mecánica, 2014, pág. 56) .

La suspensión de “Eje de Dion”: El diseño de este tipo de suspensión presenta una configuración donde las ruedas van unidas mediante brazos articulados al grupo diferencial y la suspensión también es parte de la masa suspendida, es decir que va anclada al bastidor del automóvil. Mediante esta configuración de comunicación se transmite el giro a las ruedas que están unidas entre sí a través de un “Eje de Dion” como se muestra en la Figura 2.4.

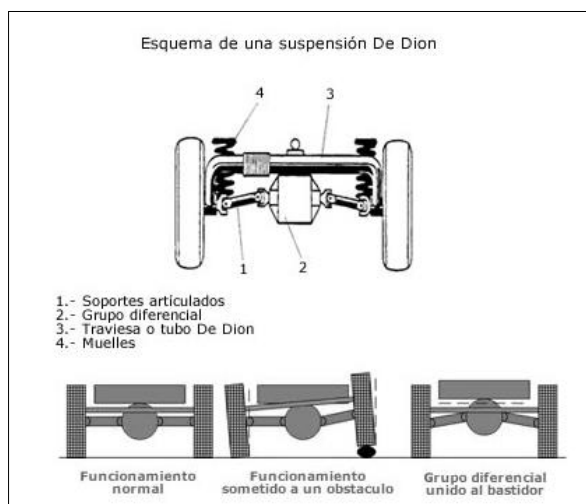


Figura 2.4 Suspensión Semirrígida o “de Dion”

Fuente: (Aficionados a la Mecánica, 2014, pág. 45)

La suspensión de Eje Torsional: Es otro tipo de suspensión semirrígida, más conocida como suspensión semi-independientes, común en automóviles que tienen tracción delantera utiliza un elemento en forma de tubo en forma de “U” que une a las 2 ruedas, este elemento es capaz de deformarse y regresar a la posición inicial debido a las propiedades elásticas del material que está constituido. Esta suspensión está unida por brazos longitudinales a un travesaño que se deforma en las sacudidas no simétricas permitiendo estabilidad al vehículo como se muestra en la Figura 2.5.

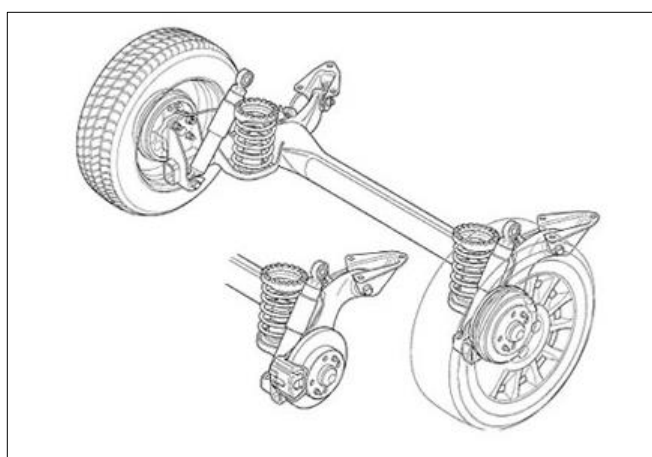


Figura 2.5 Eje Torsional

Fuente: (Automoción, 2018, pág. 10)

2.5.3 SUSPENSIÓN INDEPENDIENTE

Las suspensiones independientes permiten a cada rueda moverse verticalmente sin afectar con su movimiento a la rueda opuesta, ya que el movimiento se genera individualmente. Casi todos los automóviles de paseo usan suspensiones delanteras independientes, debido a las ventajas que posee, como una mayor resistencia y una buena direccionalidad facilitando prestaciones para un mejor confort y reducción de vibraciones.

Las primeras suspensiones independientes aparecieron en los ejes delanteros, mediante este sistema se reduciría el tambaleo y casi un 100% la dureza que generaba las suspensiones de eje rígido, permitiendo un mejor desempeño en competencias.

Suspensión de brazo inferior: Esta suspensión es el diseño más simple y de menos costo para la implementación en automóviles de las suspensiones independientes, fue utilizada a inicios de la segunda guerra mundial por Volkswagen y Porsche, permitía conectar los brazos en sus extremos delanteros a barras de torsión laterales ilustradas en la Figura 2.6.

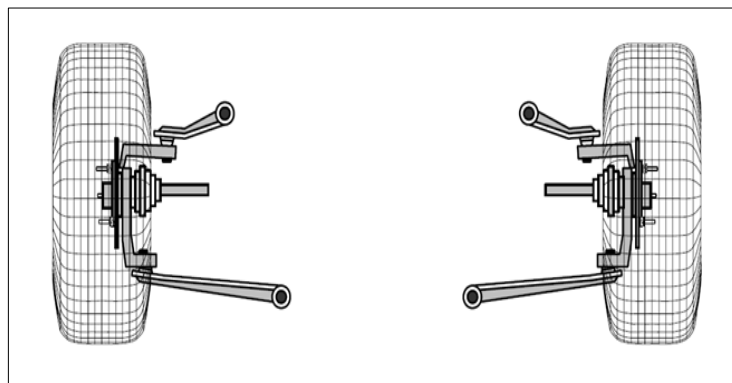


Figura 2.6 Suspensión Brazo Inferior

Fuente: (Jazar R. N., 2010, pág. 9)

Suspensión Delantera SLA: El diseño de las suspensiones delanteras fue evolucionando en todo el mundo después de la segunda guerra mundial, esta suspensión usaba dos brazos de mando laterales para sostener la rueda, los brazos de mando superiores eran de menor longitud y es así como nace su nombre suspensión SLA (short-long arm). Este diseño aparece debido al espacio que tenía el vehículo para este sistema orientado en la dirección longitudinal, adicional a esto satisface de una mejor manera a los vehículos para absorber las cargas de una manera más eficiente como se muestra en la Figura 2.7.

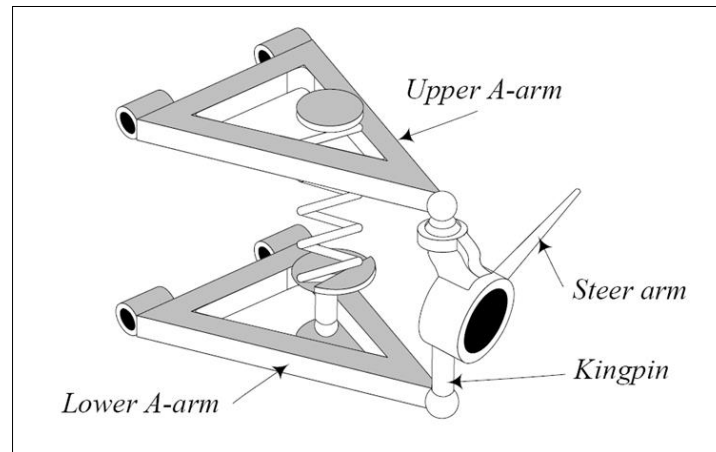


Figura 2.7 Suspensión Delantera SLA

Fuente: (Jazar R. N., 2010, pág. 22)

2.5.4 SUSPENSIÓN MCPHERSON

Earle S. McPherson desarrolló una suspensión con una geometría similar a la de brazo-desigual para las suspensiones delanteras. Mediante una excelente configuración de partes móviles y elásticas se diseña y perfecciona una de las suspensiones más comunes instaladas en automóviles de turismo. El diseño de estas suspensiones implementa brazos articulados en la parte inferior y la parte superior es fijada a la carrocería o chasis, y la parte inferior es localizada mediante fuerzas laterales y longitudinales con la finalidad de compensar las fuerzas generadas por la calzada, permitiendo que se absorban todas las irregularidades, mediante todos los cuerpos flexibles que absorberán fuerzas transversales y generaran menores cargas en la suspensión ilustrada en la Figura 2.8.

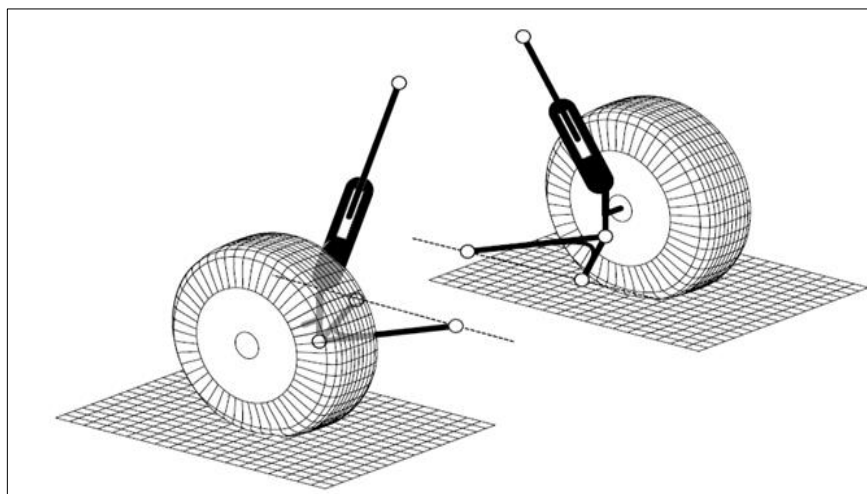


Figura 2.8 Suspensión McPherson

Fuente: (Jazar R. N., 2010, pág. 24)

2.5.4.1 SISTEMAS Y COMPONENTES DE LA SUSPENSIÓN MCPHERSON

Los elementos elásticos de esta suspensión son considerados de alta elasticidad para permitir el desempeño de esta suspensión. Con la instalación de estos sistemas se tiene un funcionamiento cerca del 96 % en la absorción de irregularidades en la calzada.

Considerando los elementos elásticos tenemos los muelles, amortiguadores, mesas inferiores, bujes elásticos, llantas. Los sistemas que intervienen en el funcionamiento adecuado del sistema de suspensión es el sistema de dirección, sistema de frenado.

Los resortes helicoidales son los principales elementos de esta suspensión para no generar rebote con ayuda de los amortiguadores, que mediante su diseño permiten que las fuerzas que actúan en la llanta y en el centro de gravedad del vehículo, sean absorbidos directamente por los elementos elásticos de la suspensión.

2.5.5 SUSPENSIÓN TRASERA DE BRAZO INFERIOR

La suspensión trasera posee brazos de control o arrastre, que son los encargados de absorber las fuerzas longitudinales y momentos de frenado, y los semi-ejes articulados en forma de “U” que sirven como un brazo de control lateral y superior con una barra puntual simple que sirve como el brazo lateral inferior. Configuración que se muestra en la Figura 2.9.

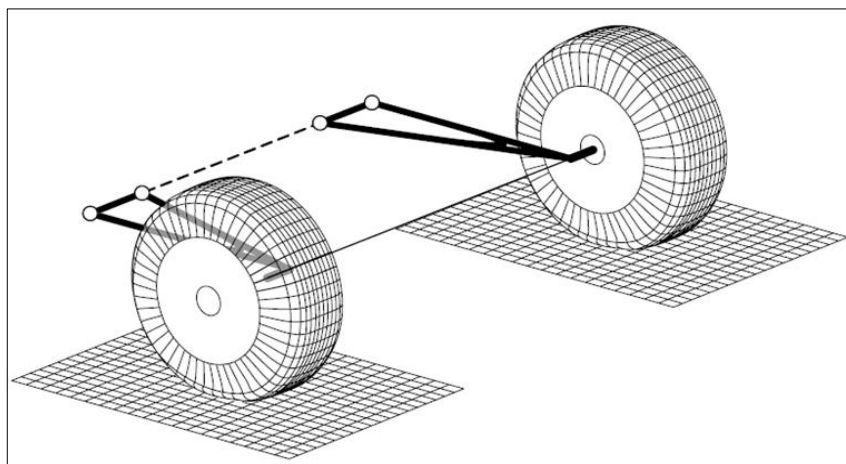


Figura 2.9 Suspensión trasera de brazo inferior
Fuente: (Rajamani, Vehicle Dynamics (6ta ed.), 2012, pág. 15)

2.5.6 SUSPENSIÓN TRASERA DE BRAZO SEMIRRÍGIDA

Esta suspensión fue generalizada por BMW y Mercedes Benz, este diseño permitió dar la curvatura de la rueda trasera (sin cambio de curva respecto al cuerpo) y un eje oscilante. Su eje de pivote es de unos 25 grados a la línea longitudinal del automóvil. El brazo semi-rígido produce efectos en la dirección a medida que las ruedas se mueven en salto y rebote.

La combinación dirección/cámbier en la rueda exterior actúa en contra de la dirección en las curvas generando así el subviraje en el eje trasero, pero la dirección de la fuerza lateral contribuirá en casos que no se controle el subviraje.

La configuración se muestra ilustrada en la Figura 2.10.

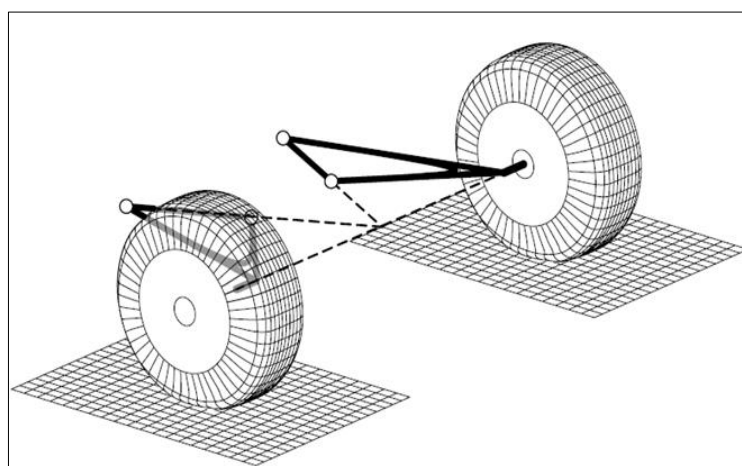


Figura 2.10 Suspensión Trasera de Brazo Semirrígida

Fuente: (Jazar, 2008, pág. 25)

2.5.7 SUSPENSIÓN DE PARALELOGRAMO DEFORMABLE

La suspensión de paralelogramo deformable al igual que la McPherson son las más utilizadas para automóviles de turismo ya que es el eje principal el que soporta las ruedas con direccionalidad necesaria para que las ruedas puedan girar. Esta suspensión también se denomina de trapecio articulado.

El paralelogramo está formado por un brazo superior y un brazo inferior anclado con pivotes al chasis, cerrando el paralelogramo por parte del chasis y del otro lado por el pivote de la rueda, la mangueta está articulada a los brazos mediante rotulas esféricas que ayudan con la orientación de la rueda y ayudadas de varios elementos elásticos como el espiral y amortiguador y coaxiales (Aficionados a la Mecánica, 2014, pág. 57).

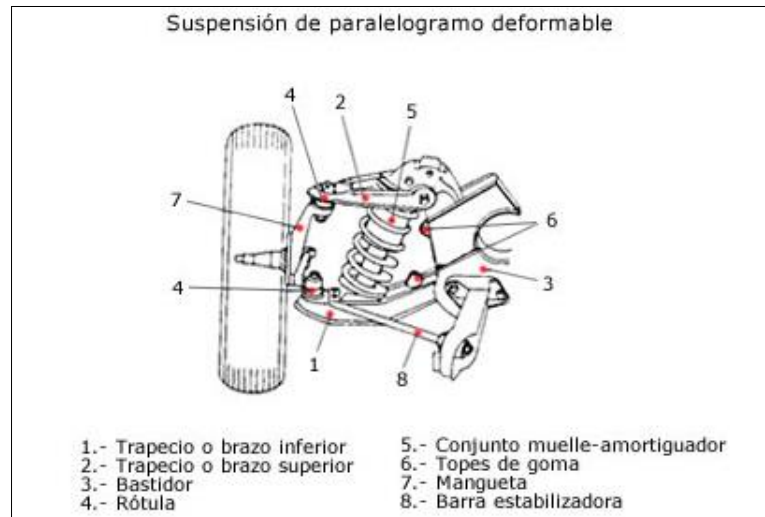


Figura 2.11 Paralelogramo Deformable

Fuente: (Automoción, 2018, pág. 26)

2.5.8 SUSPENSIÓN COILOVERS

La suspensión más conocida como “coilovers” es empleada en automotores deportivos y de competencia, es la misma combinación que tienen las suspensiones tradicionales como es la suspensión McPherson, con un amortiguador hidráulico y una base en el resorte que permite realizar el ajuste necesario para varias suspensiones y podemos modificar generalmente la altura, compresión y rebote etc. Esta suspensión permite modificar su reglaje, es más compacta y facilita una inclinación de hasta 30° grados gracias a las articulaciones esféricas que posee, como se representa en la Figura 2.12.



Figura 2.12 Coilovers

Fuente: (Diariomotor, 2007, pág. 5)

2.6 COTAS Y DIMENSIONES DE LA CARROCERÍA

Toda la problemática acerca de los movimientos de la carrocería se basa exactamente en la dinámica del vehículo. Todos los movimientos que se producen en la carrocería son producidos por efectos de aceleraciones, frenados, cambios de dirección, fuerzas que se aplican en las ruedas, los efectos de la gravedad y los arrastres aerodinámicos.

Los bandazos son provocados por las aceleraciones laterales, para evitar estos efectos influyen de muchas maneras la distribución del peso entre los ejes, los neumáticos y también la aerodinámica del vehículo. El diseño de las suspensiones es una solución técnica adoptada, para permitir el mejor desempeño, para corregir y disminuir las transferencias de fuerzas a la carrocería que genera las fuerzas de frenado y propulsión representadas en la Figura 2.13.

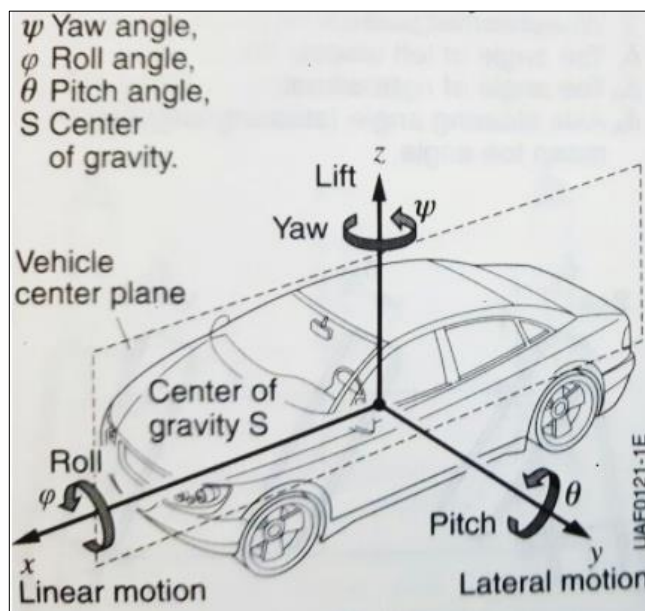


Figura 2.13 Movimientos de la carrocería

Fuente: (Bosch, 2014, pág. 180)

Balaceo (Roll): La carrocería percibe el efecto de las curvas, para mitigar esos efectos se tiene a los muelles (cuanto más duros sean la carrocería se inclinará menos) y las barras estabilizadoras.

Cabeceo (Pitch): El giro del eje transversal del vehículo al arrancar. Los cabeceos al arrancar y al frenar se reducen mediante la cinemática de ejes, el diseño de los brazos de suspensión son los encargados de eliminar este movimiento.

Guiñada (Yaw): Movimiento de rotación del vehículo, alrededor de su eje vertical que pasa por el baricentro. Además de una rotación sobre su eje, experimenta una traslación lateral.

2.7 EL PESO SOPORTADO POR LOS MUELLES

La carrocería está soportada, a esto se lo denomina peso soportado mediante muelles, por otra parte, las ruedas, ejes y demás elementos del automóvil que no están soportados por muelles, se lo conoce como peso no suspendido. Por lo general se conoce que entre más peso sea soportado por los muelles, menor será la tendencia de las carrocerías a sufrir sacudidas, en cambio si el peso no suspendido es muy grande, es muy probable que la carrocería sufra sacudidas. Las oscilaciones y sacudidas de los elementos suspendidos del vehículo tienen un efecto significativo en la comodidad de la conducción representados en la Figura 2.14.

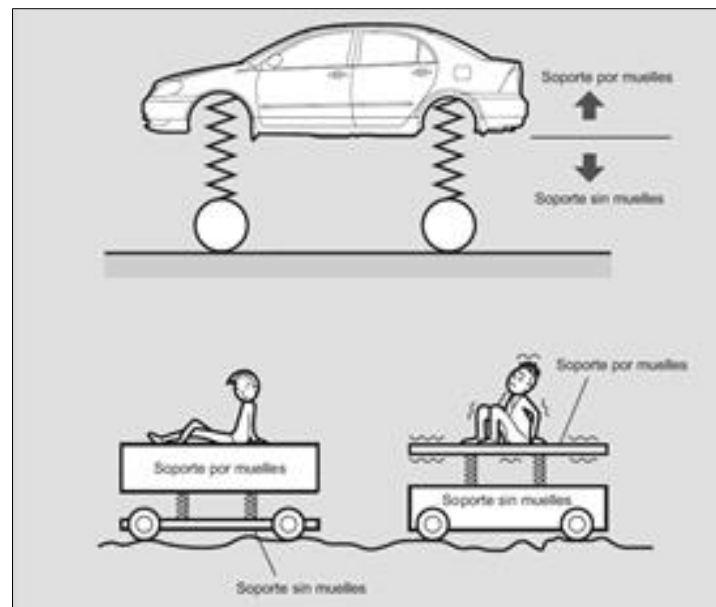


Figura 2.14 Peso soportado por los muelles y peso no suspendido
Fuente: (Jazar, 2008, pág. 89)

2.7.1 OSCILACIONES DEL PESO SOPORTADO POR MUELLES

Las oscilaciones del peso soportado por los muelles se expresan en las siguientes categorías: **Cabeceo:** Son las oscilaciones que se generan de la parte superior a la parte inferior con respecto al centro de gravedad de la parte delantera y posterior del vehículo. Esto sucede especialmente cuando el vehículo se encuentra atravesando baches y excesivas irregularidades de una carretera no asfaltada. Además, es más fácil que se genere el cabeceo en vehículos que poseen muelles más blandos, los cuales son muy fáciles de comprimir con respecto a los muelles más rígidos representados en la Figura 2.15.

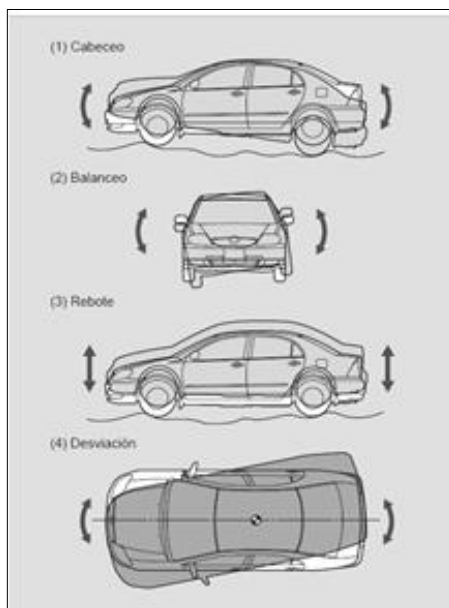


Figura 2.15 Efecto del peso soportado por muelles

Fuente: (Jazar, 2008, pág. 95)

Balanceo: Se produce al circular sobre curvas, al conducir en carreteras con baches y que tengan muchas irregularidades. Los muelles actúan de una forma muy precisa, logrando reducir la inestabilidad que produce una curva con irregularidades en la calzada. El muelle del lado al que se aplica la fuerza que genera la curva tiende a expandirse mientras que el muelle del otro lado tiende a contraerse, esto se debe a la diferencia de fuerzas aplicadas de ambos lados y depende también del centro de gravedad del vehículo.

Rebote: Es el movimiento de arriba hacia abajo de toda la carrocería del automóvil, ocurre cuando se conduce un automóvil a altas velocidades sobre superficies onduladas.

Desviación: Es el movimiento de la línea central longitudinal del vehículo hacia la izquierda o la derecha con respecto al centro de gravedad del vehículo. En las carreteras donde se produce cabeceo es muy probable que se genere desviación.

2.7.2 OSCILACIONES DEL PESO NO SUSPENDIDO POR MUELLES

Se clasifican en las siguientes:

Salto: Se producen cuando los neumáticos botean de arriba hacia abajo con una elasticidad controlada, la que permite controlar este efecto y se produce cuando se transita carreteras onduladas y con desfases en la calzada a una velocidad media o alta.

Bamboleo: Son las oscilaciones de arriba hacia abajo en direcciones opuestas a las de las ruedas y hace que las ruedas salten en las irregularidades de la calzada, este efecto es más frecuente que se ocurra en la suspensión de eje rígido.

Enrollado: Es un efecto que se produce por la fuerza de frenado y el par de aceleración que actúan en los muelles de las hojas. El efecto de enrollado tiene un efecto negativo con la conducción porque se produce inestabilidad en el manejo. Una de las medidas para evitar estos efectos es la implementación de muelles de hojas asimétricas que permiten que el efecto de enrollado se reduzca considerablemente desplazando así al eje trasero de forma que se encuentre ligeramente por delante del muelle de hojas. También se puede reducir el enrollado mediante la ubicación y montaje del amortiguador lejos del centro de enrollado, colocándolos oblicuamente es decir montando uno delante del eje y el otro detrás del eje.

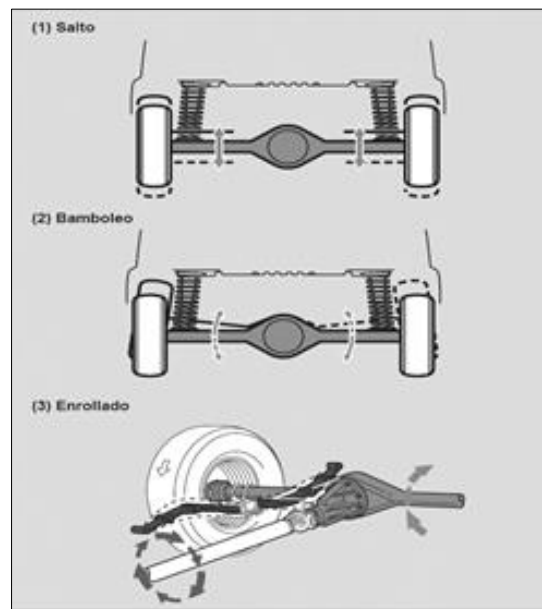


Figura 2.16 Peso no suspendido

Fuente: (Tyre and Vehicle Dynamics, 2006, pág. 102)

2.7.3 DIMENSIONES DEL VEHÍCULO

Distancia entre eje o batalla (wheel base): La distancia entre ejes o más conocida como batalla, es la distancia de eje a eje de los vehículos de 4 ruedas, se la utiliza para medir la distancia entre los pivotes, en términos de automoción se denomina “distancia entre ejes” esta medida influye directamente en la estabilidad del vehículo de modo que una batalla larga permite que el vehículo sea más estable a diferencia de uno de batalla corta. Representada en la figura 2.17.

Altura (height): Es la altura determinada desde la parte inferior del neumático, hasta la parte superior de la carrocería.

Ancho de carril o vía (lane width): Es la distancia de la parte delantera que es tomada entre las líneas centrales de los neumáticos.

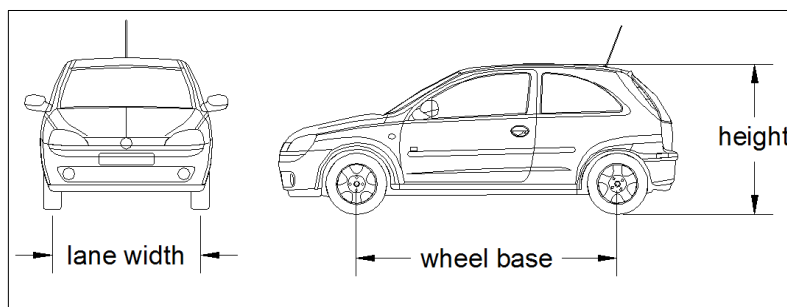


Figura 2.17 Batalla y ancho de vía

2.8 GEOMETRÍA DE LA SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN

Consiste en los conjuntos dimensionales, cinemáticos de los sistemas de conexiones cinemáticas que intervienen en las masas suspendidas y los ángulos de las ruedas que definen los grados de libertad de una suspensión.

2.8.1 CENTRO DE GRAVEDAD O BARICENTRO (CG)

En la definición de la teoría de Isaac Newton que se refiere a la teoría gravitacional universal. “la gravedad es la fuerza de atracción que ejerce una masa sobre otra, la cantidad de fuerza depende del peso y la distancia entre ambas, a mayor tamaño y cercanía más atracción” (Claudio, 2014, pág. 45).

El centro de gravedad del vehículo es el punto que es atraído con más fuerza por el centro de la tierra en todo el automóvil. La zona ideal donde el auto lleva este punto de gravedad es exactamente en medio de las cuatro llantas del automóvil y es lo más pegado al suelo como se muestra en la Figura 2.18.

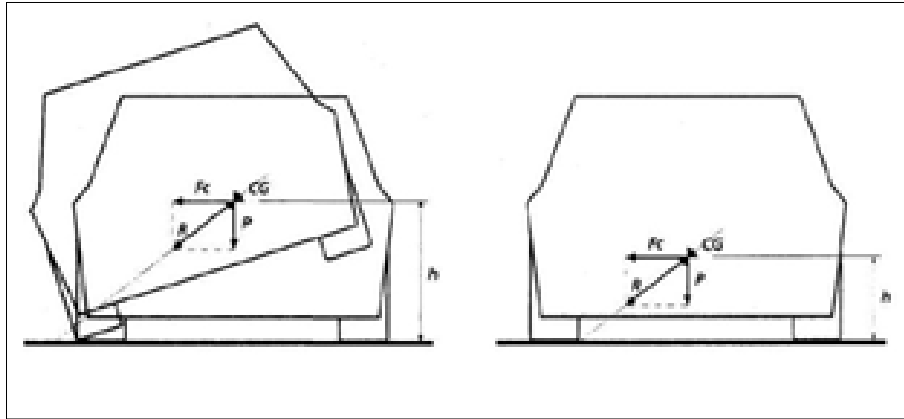


Figura 2.18 Centro de gravedad
Fuente: (El Mundo del Automóvil, 2011, pág. 22)

Para calcular la altura del centro de gravedad se utiliza la Ecuación 2.1.

$$h = \frac{WB * \Delta W}{W * \tan \alpha} \quad [\text{Ec. 2.1}]$$

Dónde:

WB=distancia entre ejes.

W=Peso total del vehículo.

$\Delta W = W_{f2} - W_{f1}$

W_{f1} =medida del peso frontal a nivel del piso.

W_{f2} =medida del frontal con la parte trasera elevada

$$\tan \alpha = \frac{b}{h}$$

2.8.2 CENTRO DE BALANCEO (ROLL CENTER)

Se denomina centro de balanceo cuando el vehículo experimenta fuerzas centrífugas y la masa suspendida entre los ejes tiende a girar alrededor del centro. La fórmula SAE define como centro de balanceo al punto en el que se puede aplicar una fuerza lateral que no provoque un giro. Mientras tanto, si el centro de giro es colocado en el centro de gravedad, no se producirá ningún giro corporal bajo la carga lateral ilustrado en la Figura 2.19.

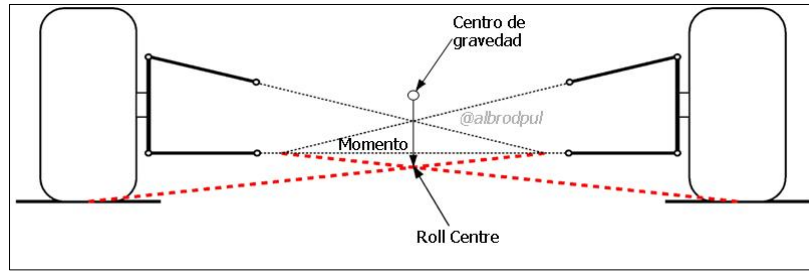


Figura 2.19 Centro de balanceo

Fuente: (Tyre and Vehicle Dynamics, 2006, pág. 48)

2.8.3 SISTEMA DE DIRECCIÓN

Los diferentes tipos de direcciones habituales empleadas en los vehículos tienen una influencia fundamental en la respuesta direccional del vehículo y su función principal es la de dirigir las ruedas directrices como respuesta a las acciones del conductor generadas en el volante, sin embargo, los ángulos conseguidos en la dirección dependen de muchas formas de la geometría del sistema de suspensión.

2.8.3.1 CONDICIÓN DE ACKERMAN

El cumplimiento de esta condición es una disposición geométrica de los elementos que intervienen en la dirección de un automóvil, diseñada para resolver el problema de las ruedas en el interior y exterior de un giro necesario para trazar círculos de diferentes radios. La geometría de Ackerman es representada en la Figura 2.20.

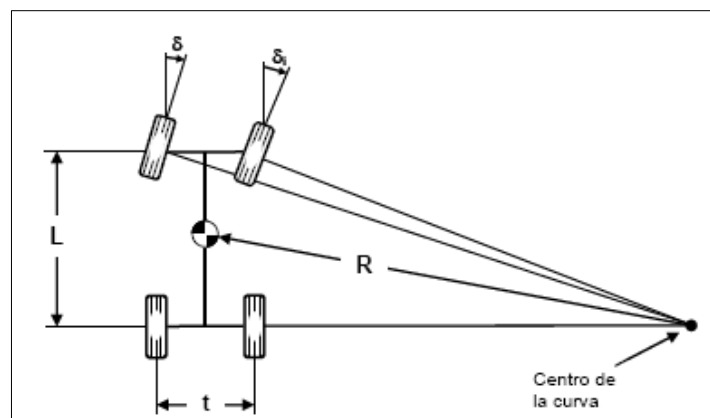


Figura 2.20 Geometría de Ackerman

Fuente: (Automoción, 2018, pág. 58)

El movimiento lateral generado por la dirección es transmitido mediante brazos articulados y bujes hacia las ruedas. Este mecanismo no es normalmente un paralelogramo, el cual debería girar el mismo ángulo para las dos ruedas, sino una geometría aproximada a la de Ackerman que hace girar un ángulo mayor a la rueda interior que la exterior.

Y teniendo en cuenta que los ángulos pequeños que generan las ruedas se denominan como ángulo de Ackerman.

$$\delta = \frac{L}{R \pm \frac{t}{2}} \quad [\text{Ec. 2.2}]$$

Dónde:

L=Batalla

R=Radio

δ =Ackerman

t=Ancho de carril

2.8.3.1 CENTRO INSTANTÁNEO DE ROTACIÓN (IC)

Se lo caracteriza como centro instantáneo de rotación cuando se toma una curva y las ruedas siguen trayectorias curvas compuestas por una sucesión de arcos de circunferencia cuyos centros varían continuamente. En cualquier instante, es posible determinar el centro de las trayectorias circunferenciales por las que siguen las ruedas, es decir el centro instantáneo de rotación del automóvil ilustrada en la Figura 2.21.

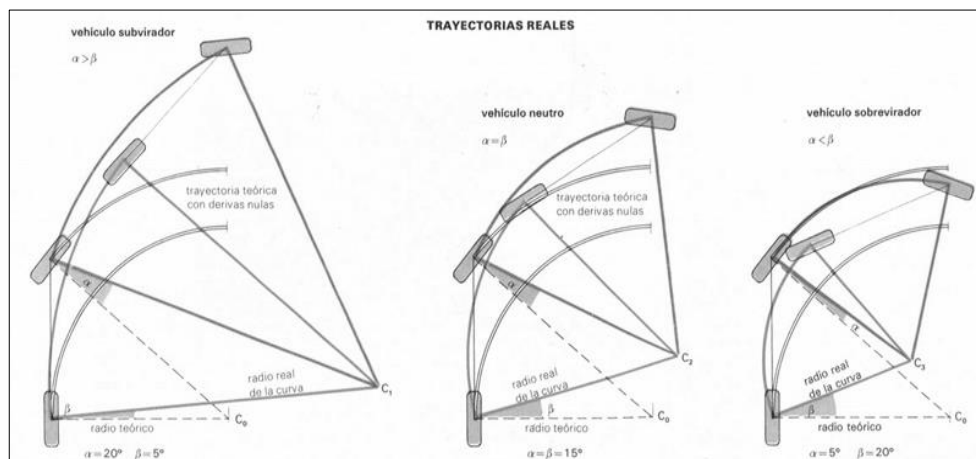


Figura 2.21 Centro Instantáneo de Rotación

Fuente: (Chavez, 2004, pág. 56)

Para entender este concepto se analizan las localizaciones del punto A y B en la Figura 2.22. El centro instantáneo de rotación IC es la intersección de las líneas perpendiculares de los vectores de velocidad $V_A + V_B$.

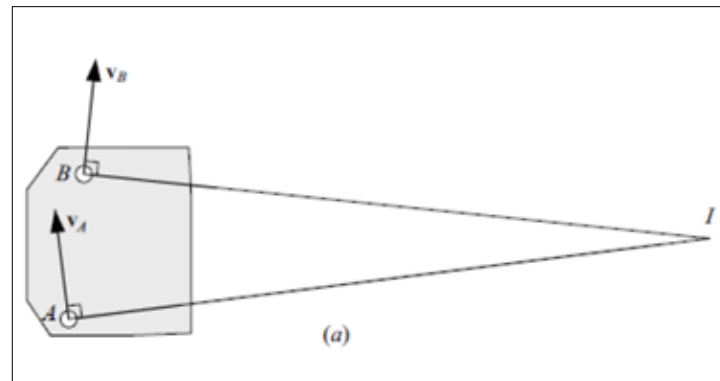


Figura 2.22 Centro Instantáneo

Fuente: (Tyre and Vehicle Dynamics, 2006, pág. 180)

Para las suspensiones de doble brazo en el eje A que han sido ocupados en los prototipos de formula SAE, el IC puede ser interpretado con el punto el que el neumático gira con respecto al chasis. El centro de rotación instantáneo se obtiene mediante la prolongación de las líneas que forman en cada uno de los brazos de suspensión, en la vista frontal del automóvil.

2.8.3.3 FUERZAS Y MOMENTOS DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN

Los momentos y las fuerzas generadas por el sistema de dirección se interpretan en el interfaz rueda-carretera. Las fuerzas se miden inicialmente en el centro del neumático o comúnmente conocido como el centro de huella que es la base para analizar las reacciones de la dirección. Las reacciones del suelo sobre el neumático se definen por tres fuerzas y momentos que están representadas en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1 Fuerzas y Momentos en la dirección.

Fuerzas	Momentos
Normal	Autoalineante
Tracción	Resistencia a la rodadura
Lateral	De vuelco

Generalmente en los vehículos de tracción delantera, se genera un momento adicional denominado “par tractor”. Las reacciones de los sistemas de dirección se traducen en los

momentos que se producen en el eje de la dirección, el cual debe resistir para poder controlar el ángulo de dirección de la rueda, la suma de estos momentos tanto de la rueda izquierda y derecha son correspondientes a los radios de la misma, para que el conductor reciba el par exacto de realimentación de la dirección representados en la Figura 2.23.

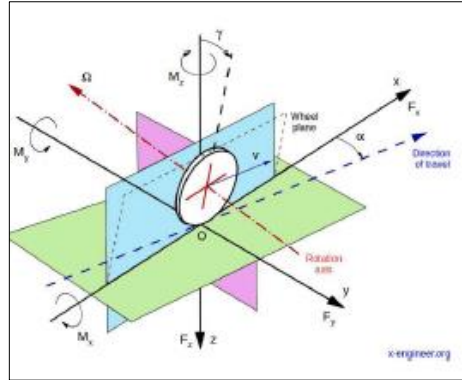


Figura 2.23 Fuerzas y Momentos
Fuente: (Jazar R. N., 2010, pág. 22)

2.8.3.4 PARÁMETROS DE LA DIRECCIÓN

Para el análisis cinemático de la suspensión se toma en cuenta los siguientes parámetros:

Cámbor: El ángulo de cámbor es más conocido como el ángulo de inclinación de las ruedas, se puede mencionar que este ángulo es relativo al chasis, se lo puede medir con respecto al plano vertical del automóvil como se ilustra en la Figura 2.24.

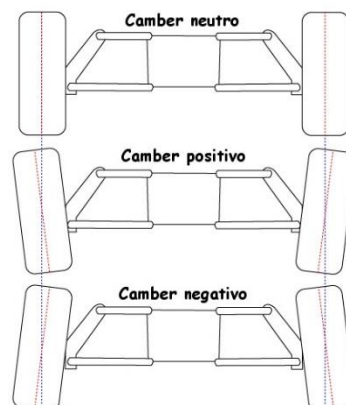


Figura 2.24 Parámetros geométricos de las ruedas
Fuente: (Tyre and Vehicle Dynamics, 2006, pág. 159)

Ángulo TOE: Es el ángulo que se obtiene entre el plano medio de la llanta que nos permite identificar la convergencia y divergencia (Toe in, Toe out) de los neumáticos con respecto a la suspensión y al chasis como se ilustra en la Figura 2.25.

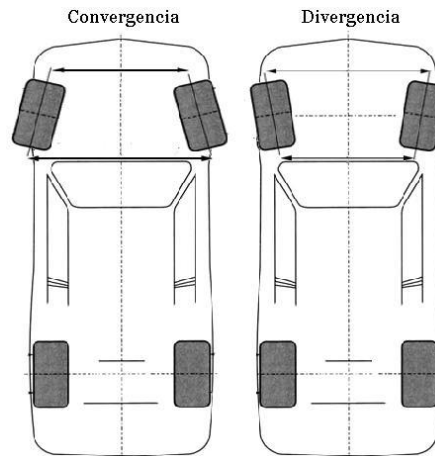


Figura 2.25 Ángulo TOE

Fuente: (Tyre and Vehicle Dynamics, 2006, pág. 162)

Ángulo Cáster: El ángulo de cáster o ángulo de avance se identifica mediante la inclinación hacia adelante o hacia atrás con respecto al eje vertical que pasa de arriba hacia abajo en el pivote de la dirección, visto desde la parte lateral del vehículo.

2.9 DINÁMICA DEL VEHÍCULO

El estudio de la dinámica del automóvil, es principalmente el estudio de las fuerzas que determinan las leyes de la mecánica en la configuración y el comportamiento longitudinal y lateral del vehículo.

2.9.1 DINÁMICA LONGITUDINAL

Aceleración y Frenado: En el proceso de análisis de fuerzas que se producen en el frenado se toma en cuenta los pares de frenado (Mfd y Mft), que son provocados por las fuerzas que se oponen al movimiento de las ruedas en el frenado.

Para el cálculo de la Fuerza máxima de frenado la fórmula es la siguiente:

$$P = W * g \quad [\text{Ec. 2.3}]$$

$$Ff_{max} = P * \mu \quad (N) \quad [\text{Ec. 2.4}]$$

Donde:

Ff_{max} =Fuerza de frenada máxima.

P=peso total.

W=masa total.

g=gravedad.

μ =coeficiente de rozamiento de los neumáticos

Fuerza de frenado (Ffd y Fft): Los vehículos en movimiento poseen de una energía cinética que equivale a la fuerza de impulsión que se produce por la velocidad media del desplazamiento. El automóvil sufre bruscamente una aceleración negativa, cuando se aplica una fuerza igual, pero en sentido contrario a las fuerzas que producen el movimiento. Es decir, se debe aplicar una fuerza de frenado para que así anule la fuerza de impulsión o movimiento ilustrada en la Figura 2.26.

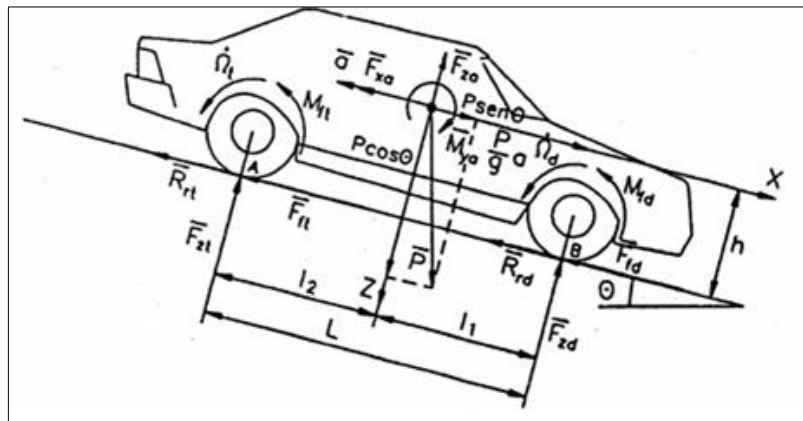


Figura 2.26 Aceleración y Frenado

Cargas traseras: La aceleración de la carga de las ruedas traseras aumenta debido a la transferencia del peso longitudinal.

$$Wr = W \left(\frac{b}{L} + \frac{a_x}{g} * \frac{h}{L} \right) \quad [\text{Ec. 2.5}]$$

Donde:

W_r =Peso dinámico en el eje trasero.

W =Peso del vehículo.

b =Parámetros de rigidez en los neumáticos.

L =Base de ruedas.

a_x =Aceleración en la dirección.

g =Gravedad.

h =Altura del centro de gravedad.

El segundo término del lado derecho de esta ecuación es el efecto de transferencia de peso. El peso se transfiere al suelo y a las ruedas principalmente a través de la suspensión. Mientras tanto hay una compresión implícita en la suspensión trasera.

Los efectos de transferencia denominan:

Las características anti-Squat de una suspensión se generan en la relación de las fuerzas longitudinales y verticales entre las masas suspendidas y masas no suspendidas. Dependiendo de los ángulos que se encuentran en los brazos oscilantes en la vista lateral de los vehículos. Estas características no cambian la transferencia de la carga en las condiciones estáticas y solo estas presentes durante las pruebas de aceleración y frenada.

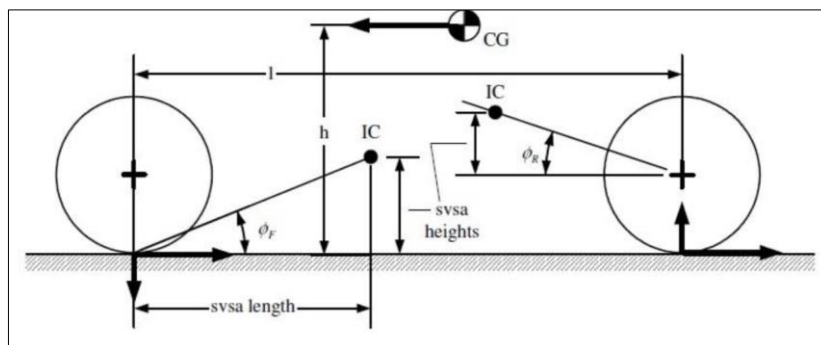


Figura 2.27 Frenos delanteros y frenos traseros

Fuente: (Formula Student, 2008, pág. 2)

El efecto anti-dive es un parámetro de la suspensión que afecta la cantidad de deflexión de la suspensión en el momento de aplicar los frenos. Cuando un vehículo desacelera debido al frenado, en ese momento se produce una transferencia de carga desde las ruedas traseras hacia las ruedas delanteras que son proporcionales a la altura del centro de gravedad, el índice de desaceleración es inversamente proporcional a la distancia entre ejes. Esto significa que la amortiguación generada por los resortes y demás elementos elásticos de la suspensión está controlando dicho efecto (Formula Student, 2008, pág. 12).

$$\% \text{ Reparto de motriz trasero: Anti-Squat} = \tan\phi_r \cdot \frac{l}{h} \quad [\text{Ec. 2.6}]$$

$$\% \text{ Reparto de frenada delantera: Anti-Dive} = \tan\phi_f \cdot \frac{l}{h} \quad [\text{Ec. 2.7}]$$

2.9.2 DINÁMICA LATERAL

Estos movimientos tienen más que ver con la inercia del vehículo e implican una mayor dinámica y carga sobre la suspensión. Sin embargo, el movimiento de rodillo implica inicialmente una inercia mayor y luego una elasticidad mucho más rígida, cuando las barras de torsión (anti roll) se implementan en los resortes de la suspensión.

2.9.3 SUBVIRAJE

El subviraje puede ser ocasionados por el viento lateral, para reducir estos efectos depende en la gran mayoría del diseño del vehículo del reparto de peso entre los ejes del perfil del neumático y de la mayoría de casos depende de la aerodinámica lateral del coche, basándonos generalmente cuando las ruedas delanteras pierden el agarre con el suelo, ocasionamos el subviraje es decir traza en ángulo más ancho indicado por el conductor.

2.9.4 SOBREVIRAJE

Este efecto es ocasionado cuando las ruedas traseras pierden el agarre contra el suelo o que la cola del automóvil girara más que el ángulo del volante, el factor determinante en este aspecto incide especialmente en la distribución de los pesos de la carrocería hacia los ejes representados en la Figura 2.28.

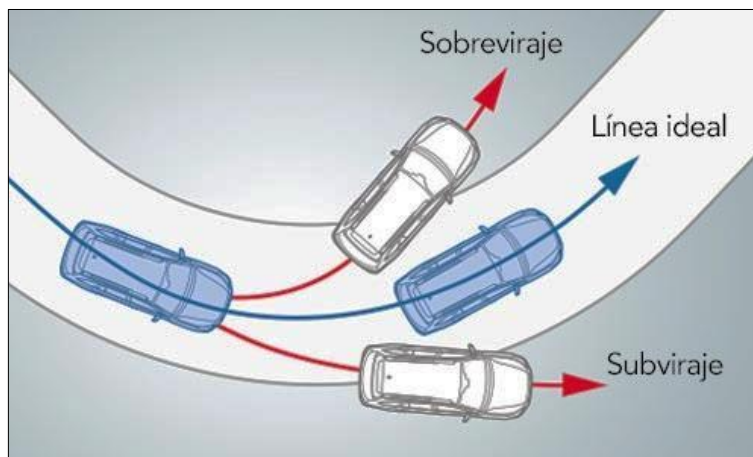


Figura 2.28 Sobreviraje y Subviraje

Fuente: (Subaru, 2017, pág. 9)

2.10 NEUMÁTICO

El neumático es la parte más importante en el análisis de la dinámica del automóvil, ya permite un análisis general de las fuerzas generadas en las ruedas, teniendo en cuenta los efectos que ocasionan las partes suelo-neumático representada en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Coeficientes de fricción

Coeficiente de rozamiento de los neumáticos			
Terreno	Estado del terreno	Neumáticos	
		Nuevos	Usados
Asfalto grueso	Seco	0,9-0,7	0,6-0,4
	Mojado	0,6-0,4	0,4-0,3
Asfalto normal	Seco	0,9-0,7	0,6-0,4
	Mojado	0,6-0,4	0,4-0,3

Fuente: (Grupo Carman, 2013, pág. 5)

Coefficiente de Fricción: Definimos al coeficiente de fricción como la relación de la carga normal y la fuerza generada en el área de contacto la cual puede ser una fuerza lateral o una fuerza longitudinal.

Angulo de Deslizamiento (*Slip – Angle*): Se conoce como ángulo de deslizamiento al desplazamiento angular del neumático en el plano de rotación y a la dirección de giro sobre la superficie del camino.

Estos parámetros definen que el neumático gira en una dirección diferente a la que su plano de rotación apunta, el ángulo de desplazamiento no se debe confundir con el ángulo que se genera mediante la dirección con la cual se mide con respecto al chasis.

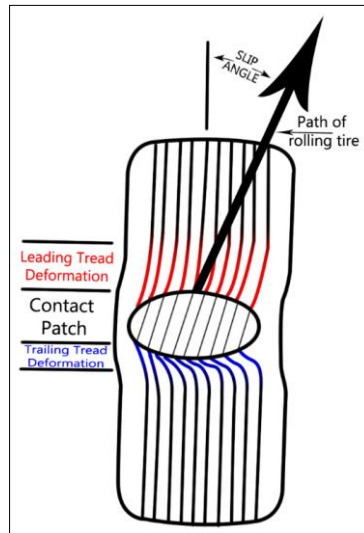


Figura 2.29 Ángulo de desplazamiento

Fuente: (CaTerpillar, 2016, pág. 12)

Fuerza vertical: Es la fuerza que actúa hacia arriba sobre la rueda es considerada positiva, este momento proviene tanto del avance, como del ángulo de salida de la rueda.

Fuerza lateral: Generalmente depende del ángulo de la dirección y las condiciones del paso por curva, y con el avance positivo se produce un momento que tiende a girar la dirección hacia afuera de la curva por consiguiente hay una gran contribución al subviraje, como se representa en la Figura 2.30.

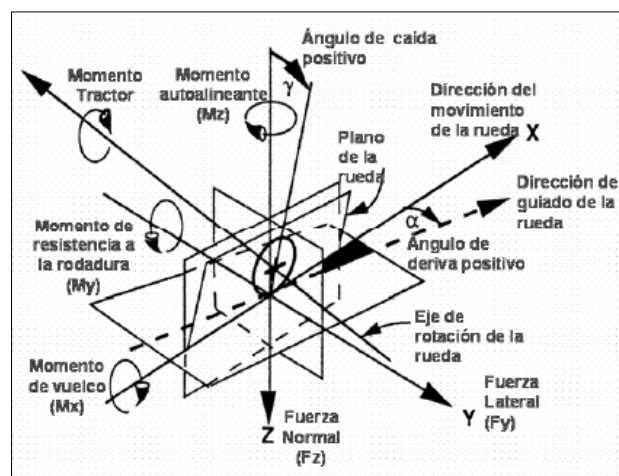


Figura 2.30 Fuerzas generadas en los neumáticos

Fuente: (Automoción, 2018, pág. 45)

La otra razón relativa es a la complejidad que cubre a la mayoría de los modelos y como mínimo debe abordar el hecho de que la masa de la rueda no puede ser descuidada y el neumático se desvía con la carga a la parte inferior del neumático. Este modelo tiene en cuenta que la masa de la rueda es una masa suspendida secundaria con un enlace al suelo, el neumático y el eslabón de suspensión a la carrocería del vehículo.

2.10.1 NOMENCLATURA DEL NEUMÁTICO

Para las características de un neumático se cuenta con una tabla utilizada por la mayoría de fabricantes de neumáticos, una tabla general que muestra cómo identificar los neumáticos y representar las siglas que los caracteriza que indica en la Figura 2.31.

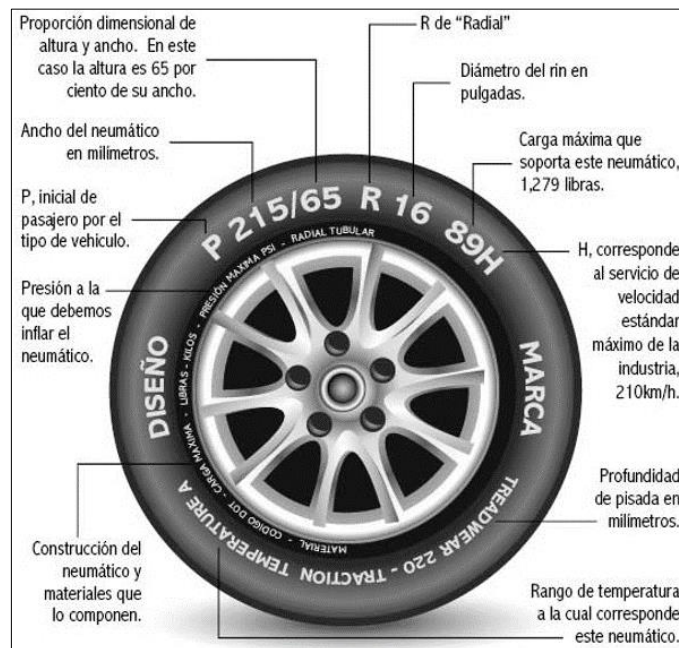


Figura 2.31 Nomenclatura del neumático

Las características establecidas por los neumáticos de este vehículo está dado por la nomenclatura 215/65R1682T, donde la marca es Firestone, el neumático con este valor 215 se refiere al ancho del neumático en milímetros, / 65 se refiere a la proporción dimensional en nuestro caso tenemos un 65 % de su ancho, la letra R se refiere al diseño de la llanta radial, 16 al tamaño del rin en pulgadas, 82 a la carga máxima que es de 475 kg y la letra T es la velocidad máxima ala que el neumático debe trabajar.

2.11 SIMULACIÓN (CAE)

Los sistemas tecnológicos tanto como los sistemas de adquisición de datos han avanzado a pasos agigantados, para desarrollar trabajos sencillos hasta procesos complejos. Mediante computadoras, el trabajo se vuelve confiable, práctico y preciso reduciendo el tiempo para la obtención de datos reales. Para los presentes estudios se utilizó un software de ingeniería asistida por computador (CAE)

Los objetivos esenciales para la simulación son: Analizar distintas configuraciones de prototipos para evitar la construcción de los mismos a costos elevados. Disminuir el tiempo de análisis de la mayoría de elementos de la suspensión a investigar.

2.11.1 VEDYNA CAE

Es un software que nos permite simular en tiempo real la dinámica del vehículo.

El software DYNAware contiene modelos de vehículos adecuados para la simulación de maniobras de conducción, teniendo a disposición carreteras y muchas maniobras estándar como cambio de carril con las normas ISO, aceleraciones laterales y longitudinales, mediante el análisis de reglajes en pruebas virtuales con procedimientos de Matlab cuyos parámetros característicos se pueden modificar mediante interfaces gráficas de usuario que se pueden adaptar fácilmente a las necesidades requeridas y la visualización con animación 3D (DYNAanimation 2), completando con la simulación de todos los diagramas en 2D para su posterior análisis.

2.11.2 UTILIZACIÓN DE LA SIMULACIÓN

La simulación adquirió mucha importancia en los estudios de automóviles de competencia, disminución de costos para realizar pruebas físicas y reducir el tiempo en sesiones de pruebas para adquirir datos para su posterior análisis, son más precisos en la evaluación de comportamientos físicos, dinámicos del vehículo que puedan ser controlados de manera segura mediante una optimización de recursos.

Las ventajas de la utilización de la simulación, nos permite reducir en gran mayoría costos de diseño, podemos simular sin límites de tiempo y generando pruebas que nos permitan reproducibilidad y respetabilidad de la simulación.

2.12 ADQUISICIÓN DE DATOS

El sistema de adquisición de datos es un sistema que registra y almacena los datos generados por los sistemas electrónicos para su posterior análisis que depende de su gran mayoría por el tipo de competición, el presupuesto, los objetivos propuestos y analizar el número de variables que se presentan para deducir si varían en gran medida.

Mediante el sistema de adquisición de datos se puede diagnosticar los posibles errores en la configuración de la conducción, mejorando y ajustando los reglajes óptimos para un mejor comportamiento del vehículo y analizando los posibles errores presentados en la simulación.

2.13 INSTRUMENTACIÓN

Acerca de los sistemas programables HALTECH, se utilizan para la mayoría de aplicaciones de los sistemas de control para la conversión personalizada de carburación y de inyección, con la facilidad del control de la inyección/ignición de combustible en los motores modificados. Los sistemas programables instalados en automóviles de rally y carreras de todas las prescripciones, sistemas que son compatibles con la mayoría de sistemas alternos para controlar parámetros reales mediante sistemas de adquisición de datos y compatibles con los sistemas AIM, que nos permitirán los datos para el análisis en tiempo real mediante software RACE STUDIO 2 (Haltech Spring 500, 2009, pág. 56).

Sistema AIM-Sportline: Los productos AIM combinan las funciones de los tacómetros tradicionales (calibre Tach/RPM), medidores de presión, medidores de temperatura y temporizadores de vueltas en instrumentos compactos de alto rendimiento y fácil de usar. Son productos para sistemas de competición de alto rendimiento con la implementación de sensores de alta gama para controlar parámetros geométricos y dinámicos mediante data-logger fácil de manejar, para los pilotos de todas las series de competencias del mundo.

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

3.1 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

En este capítulo se detallan las actividades que conforman la metodología utilizada para conseguir los objetivos del proyecto. Inicialmente se determinan los parámetros geométricos del vehículo que influyen en el comportamiento de la suspensión, luego se establecen los protocolos de prueba bajo normativas internacionales que evalúan a los vehículos nuevos, una vez determinados los parámetros y establecidos los protocolos se procede a simular las pruebas de comportamiento en el software veDYNA con tres reglajes diferentes. Luego de ejecutar las pruebas en el simulador, una vez que se ha determinado el reglaje ideal que brinde el mejor desempeño de la suspensión, se procede a instalar el sistema de adquisición de datos AIM en el vehículo para luego ejecutar una prueba real en un escenario adecuado. El desarrollo de estas actividades se resume en la Figura 3.1 que se presenta a continuación.

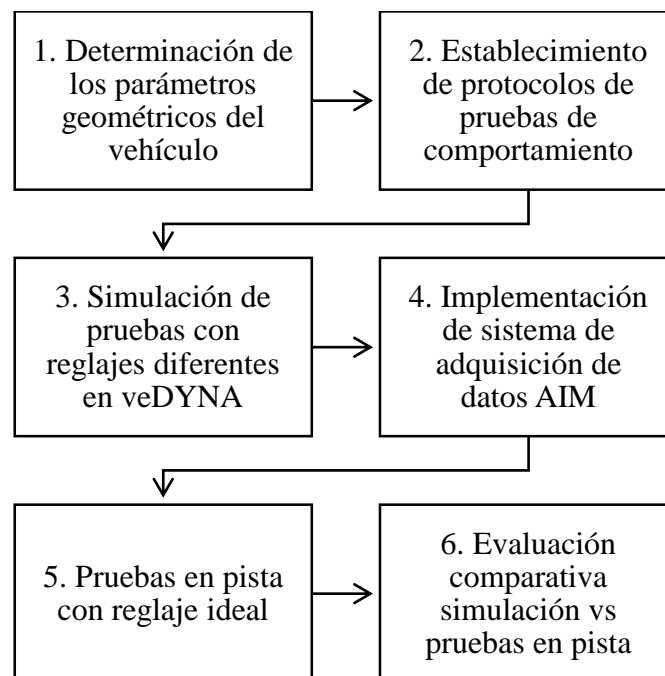


Figura 3.1 Metodología para la evaluación de la dinámica del vehículo

3.2 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL VEHÍCULO

El análisis de la geometría de la suspensión del vehículo parte de los valores detallados en la Tabla 3.1, propios de las especificaciones del fabricante del vehículo Corsa Sport 1.4. Cabe recalcar que el único parámetro que puede modificarse de los que se muestran en la tabla es la altura del vehículo mediante la configuración del sistema de suspensión regulable que posee el vehículo. Al modificar la altura también se modifica el centro de gravedad.

Tabla 3.1 Dimensiones generales del Vehículo

Distancia entre ejes	2 430 mm
Longitud del vehículo	3 820 mm
Altura del vehículo	1 450 mm
Ancho del vehículo	1 540 mm
Ancho de vía delantera	1 340 mm
Ancho de vía trasera	1 380 mm
Masa	879 kg

Una particularidad en las medidas es el ancho de vía, y es que las medidas de las dos vías no son iguales, esto es muy habitual en los automóviles de turismo dependiendo de la configuración de tracción que dispongan. El principio básico de estas medidas es formar un rectángulo entre las dos vías, mientras más amplio es el rectángulo formado habrá más estabilidad, y si la configuración es más pequeña y estrecha se tiene la probabilidad de que una ráfaga de viento u otro fenómeno dificulte la maniobrabilidad y control general del vehículo. Las dimensiones principales se representan gráficamente en la Figura 3.2.



Figura 3.2 Dimensiones principales del vehículo

3.2.1 CENTRO DE GRAVEDAD

Para calcular el centro de gravedad, el método tradicional se ejecuta levantando la parte posterior del vehículo y se dispone un peso igual al de un conductor, además se considera una presión ideal de inflado de los neumáticos para evitar deflexión de los mismos y errores en el cálculo. Entonces se forma un triángulo rectángulo como muestra la Figura 3.3.

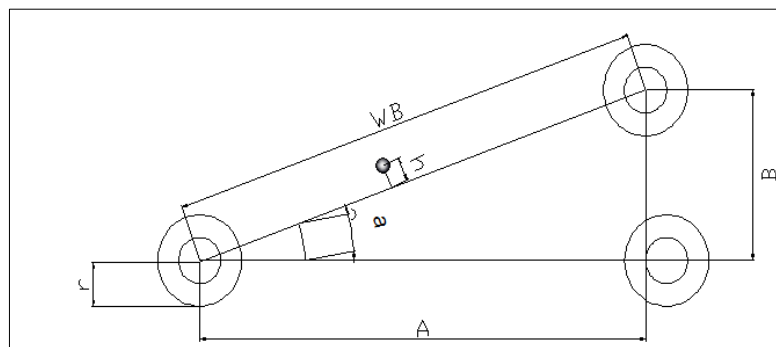


Figura 3.3 Cálculo del centro de gravedad

Para determinar el centro de gravedad se utiliza la Ecuación 3.1 con los siguientes valores:

$$\Delta w = W_{f2} - W_{f1} \quad [\text{Ec. 3.1}]$$

Donde:

W_{f1} : masa delantera

W_{f2} : masa posterior

$$WB = 2,43 \text{ m} = 2\,430 \text{ mm}$$

$$W_{f1} = 578 \text{ kg}$$

$$W_{f2} = 449 \text{ kg}$$

$$W = 879 \text{ kg}$$

$$B = 22 \text{ cm} = 220 \text{ mm}$$

$$r_{rueda} = 33 \text{ cm} = 330 \text{ mm}$$

Reemplazando los valores en la Ecuación 3.1 se tiene que:

$$\Delta W = 449 \text{ kg} - 578 \text{ kg} = 129 \text{ kg}$$

Mediante la aplicación del Teorema de Pitágoras en el triángulo rectángulo que se representa en la Figura 3.3 se obtiene la siguiente ecuación:

$$A = \sqrt{WB^2 - B^2} \quad [\text{Ec. 3.2}]$$

Donde:

WB: distancia entre ejes.

B: altura.

Reemplazando los valores de la Tabla 3.1 y la Figura 3.3 en la Ecuación 3.2, se tiene:

$$A = \sqrt{(243 \text{ cm})^2 - (22 \text{ cm})^2} = 242 \text{ cm}$$

Aplicando el mismo teorema, se tiene que:

$$\tan a = \frac{B}{WB} = \frac{22 \text{ cm}}{243 \text{ cm}} = 0,090 \text{ cm}$$

$$a = \tan^{-1} * 0,090 = 5,19 \text{ rad}$$

Reemplazando el resultado anterior y los valores de la Tabla 3.1 en la Ecuación 2.1 se tiene la altura del centro de gravedad.

$$h = \frac{243 \text{ cm} (129 \text{ kg})}{879 \text{ kg} * 5.19 \text{ rad}} = 6,8 \text{ cm} \quad (\text{Altura desde el centro de la distancia entre ejes})$$

Para calcular la altura del centro de gravedad con respecto al piso se utiliza la Ecuación 3.3

$$h_{COG} = h + r_{rueda} \quad [\text{Ec. 3.3}]$$

Reemplazando el resultado anterior y el valor del radio de la rueda de la Tabla 3.1 en la Ecuación 3.3, se tiene:

$$h_{COG} = 6,8 \text{ cm} + 33 \text{ cm} = 39,8 \text{ cm}$$

3.2.2 ANTI-HUNDIMIENTO (ANTI-DIVE)

Los puntos CI de la Figura 3.4 son los centros instantáneos de rotación del movimiento del sistema de suspensión con el neumático en una superficie plana. El anti-hundimiento se mide en porcentaje con respecto a la altura del CI generado mediante los brazos de la suspensión. Con base en análisis bibliográfico, se establece que la distribución de los porcentajes de accionamiento del frenado para un vehículo de tracción delantera es de 60 a 40, 60 % de fuerza de frenado se aplica a las ruedas delanteras motrices y 40 % a las ruedas posteriores. Los valores estándar de porcentajes anti-hundimiento y anti-levantamiento que garantizan el modelado y diseño de un vehículo son de 20 % para el anti-hundimiento y 25 % para el anti-levantamiento (Svendsen, 2013).

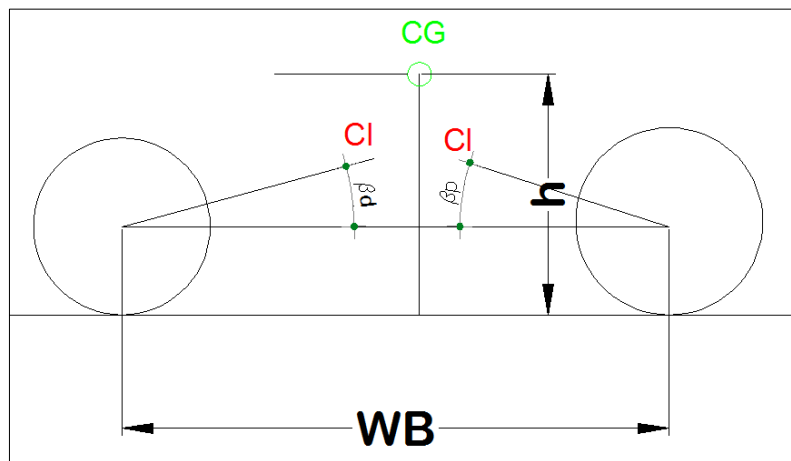


Figura 3.4 Anti-levantamiento y anti-hundimiento

La ecuación anti- hundimiento es:

$$\tan\beta_d = \frac{(\% \text{ anti-hundimiento}) * h_{CGO} * (\% \text{ frenada delantera})}{WB} \quad [\text{Ec. 3.4}]$$

Donde:

Wb : distancia entre ejes.

h_{COG} : altura del centro de gravedad.

% anti - hundimiento requerido = 20 %.

% frenada delantera = 60 %.

Reemplazando los valores anteriores y los valores de la Tabla 1.1 en la Ecuación 3.4, se tiene

$$\tan\beta_d = \frac{0,20 * 398 \text{ mm} * 0,60}{2430 \text{ mm}} = 0,0196 \text{ rad}$$

$$\beta_d = \tan^{-1} 0,0196 = 1,12^\circ$$

3.2.3 ANTI-LEVANTAMIENTO (ANTI-SQUAT)

Este fenómeno está basado en la distribución de pesos, y se produce en una aceleración brusca donde se tiende a levantar la parte delantera. La ecuación anti levantamiento es:

$$\tan\beta_p = \frac{(\% \text{ anti-levantamiento}) * h_{CGO} * (\% \text{ frenada posterior})}{WB} \quad [\text{Ec. 3.5}]$$

Donde:

Wb : distancia entre ejes.

h_{COG} : altura del centro de gravedad.

% anti – levantamiento requerido = 25 %.

% frenado posterior = 40 %.

Reemplazando los valores anteriores y los valores de la Tabla 1.1 en la Ecuación 3.5, se tiene

$$\tan\beta_p = \frac{0,25 * 398 \text{ mm} * 0,40}{2430 \text{ mm}} = 0,0163 \text{ rad}$$

$$\beta_p = \tan^{-1} 0,0163 \text{ rad} = 0,93^\circ$$

3.2.4 GEOMETRÍA DE LA DIRECCIÓN

Los parámetros de la geometría de la dirección son los ángulos que disponen las ruedas contra el terreno, que mediante su configuración adecuada obedecen fácilmente al volante de la dirección y no cambian la orientación que toma el vehículo en una curva, brindando un manejo suave que pueda regresar fácilmente a la línea recta de la trayectoria normal.

3.2.4.1 KING PIN ANGLE (ÁNGULO DE INCLINACIÓN)

Este ángulo en los automóviles de competencia es considerado según la configuración de la suspensión, positivo o negativo con el fin de mejorar el comportamiento dinámico en aceleración, tracción y frenada. Si se consideran las especificaciones técnicas del vehículo, se establece que el ángulo King Pin de este automóvil es un ángulo estándar y no se puede modificar para las pruebas establecidas, con los valores expresados en la Figura 3.5.


	Valores	Reglaje
	0° izquierda [± 30°] 0° derecha [± 30°] Diferencia: derecha/izquierda máximo ± 1°	No regulable

Figura 3.5 Ángulo King Pin

3.2.4.2 ÁNGULO CÁMBER (O DE CAÍDA)

En la configuración de este ángulo, las variaciones para las pruebas son mínimas, mismas que se realizan para verificar cuál reglaje se comporta mejor.

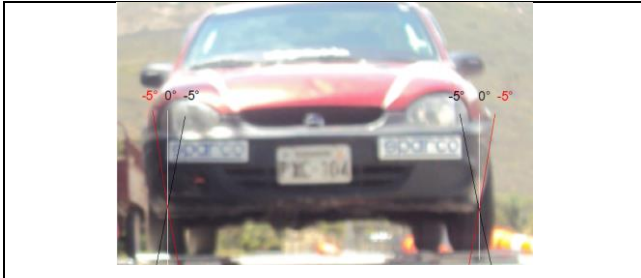
	Valores	Reglaje
	0° delanteras ± 0,30° 0,14° traseras ± 0,30° Diferencia: derecha/izquierda máximo ± 1°	Regulable

Figura 3.6 Geometría del Cámara

Considerando las 3 configuraciones de la Figura 3.7 se tiene que se reduce 2,5 cm de altura del vehículo con un cámara negativo de 0,75 °, 5 cm de la altura del vehículo con 1,5 ° de cámara negativo, y una reducción de 7 cm de la altura del vehículo con 2,5 ° negativos del ángulo cámara.

3.2.4.3 ÁNGULO CÁSTER O DE AVANCE

El cáster positivo permite el auto alineamiento del automóvil, en consecuencia aumenta la dureza de la dirección. En vehículos de competencia se recomienda un cáster positivo de 2° a 5° grados como máximo.

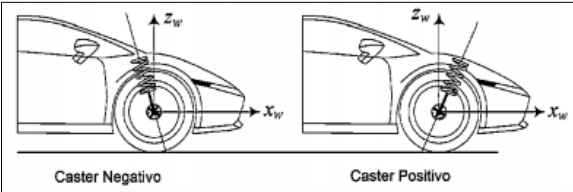
	Valores	Reglaje
	Parte delantera ruedas motrices $+0.65^\circ$ izquierda $+0.72^\circ$ derecha.	No regulable

Figura 3.7 Ángulo Cáster

3.2.4.4 ÁNGULO TOE


	Valores	Reglaje
	Parte delantera ruedas motrices $+0.45^\circ$ izquierda, $+0.40^\circ$ derecha. Parte posterior 0° derecha/izquierda Diferencia derecha/izquierda máxima 1°	Regulable

Figura 3.8 Geometría del ángulo Toe

Para los automóviles de tracción delantera se recomienda tener en las ruedas motrices una convergencia nula o divergencia mínima, esta solución es adoptada a las ruedas motrices debido al par motor que estas generan y tienden a converger. Por el contrario, las ruedas traseras son siempre convergentes para mejorar la estabilidad del tren posterior.

Teniendo estas aclaraciones y conociendo la configuración técnica y estándar del vehículo se considera una convergencia nula para mediciones en el simulador.

3.2.5 COILOVERS

Una de las modificaciones en automóviles de competencia con la finalidad de tener un mejor desempeño y mejor apariencia estética, es el uso de coilovers. En esta ocasión se tiene a disposición unos coilovers marca Bilstein B14, con este kit de amortiguadores se puede variar la altura del automóvil entre 30 y 50 mm de la parte delantera y también de la posterior, las dimensiones establecidas por el fabricante se encuentran detalladas en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Coilovers Blinstein B14

Características	Muelles delanteros	Muelles traseros
Diámetro del hilo del muelle	$d = 13 \text{ mm}$	$d = 12 \text{ mm}$
Diámetro medio de enrollamiento	$D = 172 \text{ mm}$	$D = 113 \text{ mm}$
Número de espiras activas	$N_a = 3,8$	$N_a = 8,9$
Longitud libre del muelle	$L = 285 \text{ mm}$	$L = 354 \text{ mm}$

Se ha elegido este sistema de suspensión regulable, debido a las prestaciones que ofrece, teniendo en cuenta su fácil instalación y manipulación. El kit se muestra en la Figura 3.9



Figura 3.9 Kit de coilovers

3.2.6 SISTEMA DE FRENOS

Este vehículo tiene una configuración de sistemas de freno mixtos, frenos de disco para la parte delantera y frenos de tambor para la parte posterior, como indica la Figura 3.10. Se conocen las características básicas de los dos sistemas de frenos, mismos que son de impulso hidráulico con una presión estándar de 200 bar especificado por el fabricante.

La distribución de frenado es de 60 % de la fuerza generada para las ruedas delanteras y 40 % para las ruedas posteriores, esto quiere decir que en el momento de accionar el freno las mordazas de las ruedas delanteras son las primeras en actuar y por consiguiente en un lapso de 0.001s procede la actuación de las zapatas en las ruedas posteriores.

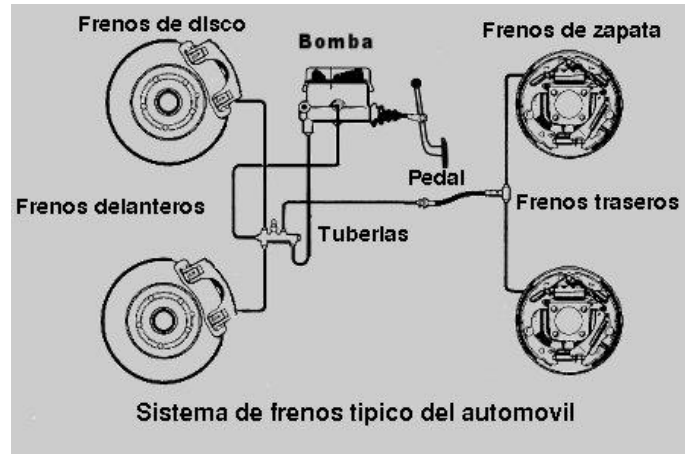


Figura 3.10 Sistema de frenos mixto

Para modificar la presión en los sistemas de frenos se modifican todas las líneas de freno, el servo freno y demás elementos de frenado del sistema, provocando de esta manera un aumento en la fuerza de frenado de hasta 5 veces mayor al de fabricante. La fuerza de frenado máximo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$F_{f_{max}} = P * \mu \text{ (N)} \quad [\text{Ec. 3.6}]$$

Donde:

$F_{f_{max}}$: Frenado máximo

μ : coeficiente de rozamiento de los neumáticos

P : peso

$$P = M * g \quad [\text{Ec. 3.7}]$$

Donde:

M : masa

g : gravedad

Teniendo el valor de masa del vehículo de 879 kg se procede a calcular las ecuaciones 3.6 y 3.7 para obtener la fuerza de frenada máxima:

$$P = 879 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P = 8614,2 \text{ (N)}$$

$$Ff_{max} = 8614,2 \text{ (N)} * 0,6$$

$$Ff_{max} = 5168,52 \text{ (N)}$$

3.2.7 TRANSFERENCIA DE PESO LONGITUDINAL

La transferencia de peso longitudinal es el resultado de la aceleración de masas del vehículo debido a la aplicación de un frenado o una acelerada del vehículo, es por lo tanto la transferencia de las aceleraciones de masa de la parte delantera a la parte trasera o de forma contraria donde el peso total del vehículo no cambia, sino que se transfieren las cargas de un eje al otro en el vehículo. Para el cálculo de esta aceleración se tiene la siguiente ecuación:

$$W_x = \frac{P A_x h}{WB} \quad [\text{Ec. 3.8}]$$

Donde:

W_x : transferencia de peso longitudinal

P : Peso del vehiculo

A_x : aceleracion longitudinal

h : altura del centro de gravedad

WB : distancia entre ejes

Para el cálculo de la aceleración lateral se utiliza la siguiente ecuación:

$$-A_x = \frac{v_f - v_0}{t} \quad [\text{Ec. 3.9}]$$

Donde:

A_x : *aceleracion longitudinal*

v_f : *velocidad final* = $\frac{80km}{h} = 22.22 \text{ m/s}$

t : *tiempo*

Remplazando los valores en la ecuación 3.8 y 3.9, se tiene:

$$-A_x = \frac{0-22.22}{5} = -4.44 \frac{m}{s^2}$$

$$Ax = 0.45g$$

$$W_x = \frac{879 \text{ kg} * 0.45 * 398mm}{2430mm}$$

$$W_x = 64.78 \text{ kg}$$

3.2.8 TRANSFERENCIA DE PESO LATERAL

La transferencia de peso lateral es transferir la masa de un lado al otro lado del vehículo debido a una aceleración lateral por acción de una curva u otra fuerza lateral externa y está dado por la ecuación:

$$W_L = \frac{P A_y h}{t} \quad [\text{Ec. 3.10}]$$

Donde:

W_L : *transferencia de peso*

W : *Peso del vehiculo*

A_y : *aceleracion lateral*

h : *altura del centro de gravedad*

t : *ancho de via*

Considerando una aceleración lateral igual a 0,5 g, establecido en la ficha técnica, se tiene:

$$W_L = \frac{879kg * 0.5g * 398mm}{1340mm}$$

$$W_L = 71kg$$

3.2.9 CÁLCULO ANTIVUELCO

Después de haber calculado el centro de gravedad, se procede a realizar los cálculos de la capacidad antivuelco del vehículo. Para esta prueba de inclinación la pista se la coloca el vehículo a 60° y se simula una aceleración lateral igual a 1,75 g.

Esta prueba permite garantizar la estabilidad de los vehículos en las curvas y distribuir adecuadamente las masas, para su ejecución se realiza un diagrama de cuerpo libre como se muestra en la Figura 3.11 y posteriormente realizar el cálculo.

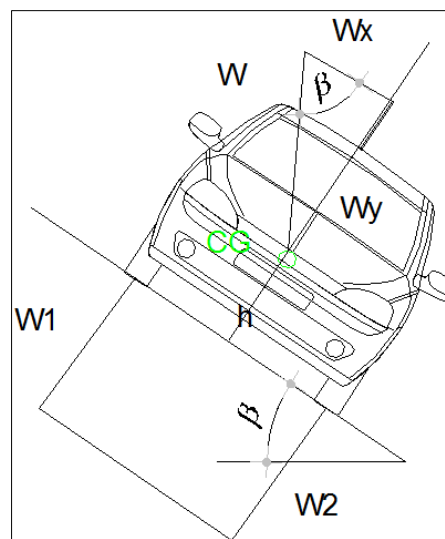


Figura 3.11 Diagrama de cuerpo libre

Para iniciar el cálculo se tiene la siguiente ecuación:

$$W * \cos\beta * \frac{t}{2} - W * \sin\beta * h - W_1 * t = 0 \quad [\text{Ec. 3.11}]$$

Para verificar si existe vuelco es necesario que W_1 sea igual a 0 y despejando β se tiene:

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{t}{2 * h} \right) \quad [\text{Ec. 3.12}]$$

Donde:

$t = \text{ancho de vía} = 1340 \text{ mm}$

$h = \text{altura de CG} = 398 \text{ mm}$

$\beta = \text{inclinación máxima}$

Reemplazando los valores en la Ecuación 3.11 se tiene:

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{1340 \text{ mm}}{2 * 398 \text{ mm}} \right) = 59,28^\circ$$

Este valor indica que el vehículo tiene un índice de vuelvo satisfactorio porque supera los 50° y por ende resistiría más antes de volcarse.

3.2.10 NEUMÁTICOS

Se determina un coeficiente de fricción de 0,4 en pista seca con neumáticos usados y 0,6 con neumáticos nuevos. Para el modelo de competencia un coeficiente de fricción de 0,9 en curvas y en trayectoria recta un 0,99. Los neumáticos que utiliza en Corsa Sport 1.4 durante las mediciones y pruebas son unos Toyo Proxes Ra1 con las siguientes características:

175 = ancho del neumático = 175mm

70 = altura del neumático en porcentaje = 122,5mm

R = modelo de fabricación de la rueda, en este caso es radial.

13 = diámetro del rin medido en pulgadas

82 = carga máxima por neumático = 475 kg

T= velocidad máxima de esta rueda 190 km/h

La presión del neumático es un parámetro de suma importancia en las especificaciones que determina mayor o menor maniobrabilidad del vehículo. La variación de presión de aire conlleva a un desgaste excesivo e irregular del neumático. Las especificaciones del fabricante indican un rango de 28 a 30 psi de presión de aire.

3.2.11 CONCLUSIÓN

En conclusión, se realizó una investigación de los parámetros para el cálculo propuesto de la geometría de suspensión, mediante especificaciones técnicas del fabricante y reglajes personalizados; a partir de estos reglajes se procede a simular y verificar cuál presenta mejor desempeño. Para desarrollar un análisis comparativo, se establece la Tabla 3.3, con valores de 3 reglajes diferentes que se van a analizar mediante el uso de software CAE.

Tabla 3.3 Tabla de resumen para análisis y simulación

Parámetro	Reglaje STD	Reglaje semiSTD	Reglaje de competencia	Frenos	Características
Cámbler	0°	-1	-1	200bar	Regulable
Toe +	0°	+1	0°	200bar	Regulable
Toe -	0°	0°	0°	200bar	Regulable
Ruedas post	0°	0°	0°	200bar	No regulable
Presión de inflado (neumáticos)	30 psi	30 psi	30 psi	200bar	Regulable
Neumáticos	175/70R13	175/70R13	175/70R13	200bar	Regulable
Altura del vehículo	1 540 mm	1 520 mm	1 500 mm	200bar	Regulable
Masa del vehículo	879 kg	879 kg	879 kg	200bar	No regulable
Batalla	2 430 mm	2 430 mm	2 430 mm	200bar	No regulable
Ancho de vía delantera	1 340 mm	1 340 mm	1 340 mm	200bar	No regulable

Las configuraciones establecidas, corresponden a distintos reglajes utilizados en las pruebas, donde se toma en cuenta la siguiente nomenclatura:

1. Reglaje STD = Reglaje número 1.
2. Reglaje semiSTD = reglaje número 2.
3. Reglaje de competencia = Reglaje número 3.

3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

Para fines de esta investigación, la adquisición de datos se ejecuta a través de la instalación de un sistema en el Corsa Sport, escogiendo entre las opciones el sistema AIM que presenta configuraciones lineales, gráficas y compatibilidad con el sistema de inyección Haltech Sprint 500 que se encuentra instalado en el vehículo. Se procede a establecer la comunicación del sistema mediante el sistema can-bus que tiene esta computadora programable, con equipos de alta frecuencia y gráficas para su análisis posterior.

Considerando la investigación realizada se establece el modelo del equipo de adquisición, señalando los parámetros a estudiar y las pruebas a ejecutar mediante un protocolo de pruebas en pista con diferentes configuraciones. Para el reconocimiento e interpretación de los datos se utiliza el software Race Studio 2, compatible con los equipos empleados.

3.3.1 INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN AIM-HALTECH-CAN-BUS

Es una serie de etapas de comunicación que permiten controlar la transmisión de información entre dos o más puntos de una red de una forma ordenada, también permiten verificar conexiones y determinar errores de transmisión para corregirlos de manera efectiva.

La comunicación con la ECU Haltech está definida por la norma ISO 11898-2 que opera con velocidades binarias desde 125kbps hasta 1kbps, en datos que se transfieren en compatibilidad con la comunicación CAN-BUS que se utilizan para los siguientes sistemas:

1. Gestión de motores Motronic para motores diésel y gasolina.
2. Sistemas programables de inyección (Haltech).

El sistema CAN-BUS (Controller Area Network) en el mundo de la electrónica se conoce como canal de comunicación y es la columna vertebral de la electrónica del vehículo. Mediante este sistema se puede transmitir los datos almacenados en las unidades de control, teniendo así, una disminución considerable de cables para su fácil manejo con una sola línea de información a través de un puerto conocido como configuración OBD de los automóviles alimentados electrónicamente.

El manejo del software VeDyna es bastante amigable ya que permite en su inicio, mostrar parámetros estándar para diferentes configuraciones del vehículo, mismos que son muy fáciles de manipular en las interfaces con el AIM. Esta aplicación permite analizar parámetros de diseño del vehículo, rendimiento de conducción, pruebas virtuales estándar o personalizadas y dinámica del vehículo variando geometría y condiciones de la pista.

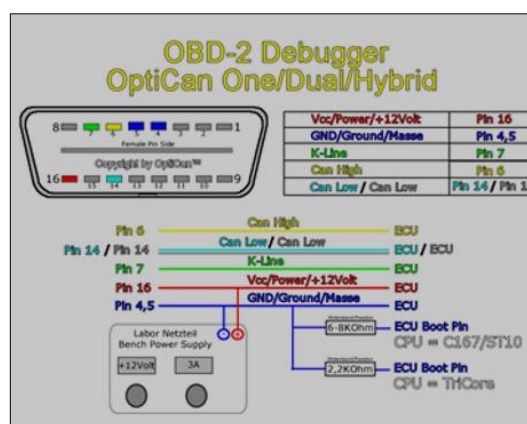


Figura 3.12 OBD2- VeDyna

Fuente: (AIM Firmware , 2016, pág. 58)

3.3.2 DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

En la figura 3.13, se representa la distribución del sistema de almacenamiento de datos y de los actuadores que permiten recolectar información para su análisis posterior.

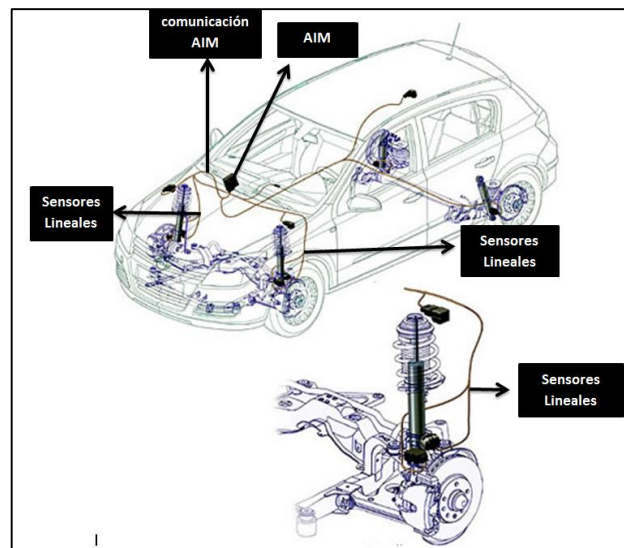


Figura 3.13 Distribución del sistema de adquisición de datos
Fuente: (Formula Student, 2008, pág. 78)

La distribución de los sensores se ubica en lugares específicos, delimitados e indicados por el instituto de automovilismo deportivo, para generar menor interferencia de vibraciones y cargas electromagnéticas. Mediante esta distribución de elementos se otorga una ubicación estratégica, recomendada por el fabricante para almacenamiento de datos.

La instalación y configuración de los elementos AIM se basa principalmente en la guía del usuario proporcionada por la empresa en donde se adquirieron los equipos, teniendo en cuenta las debidas precauciones, tanto en la interferencia y el magnetismo generadas por los vehículos y las frecuencias naturales del ambiente.

En la Figura 3.14 se representa un esquema típico de la instalación de los equipos AIM distribuidos de acuerdo a las especificaciones del fabricante, teniendo en cuenta los protocolos de comunicación para evitar el mal funcionamiento y deterioro de los equipos.

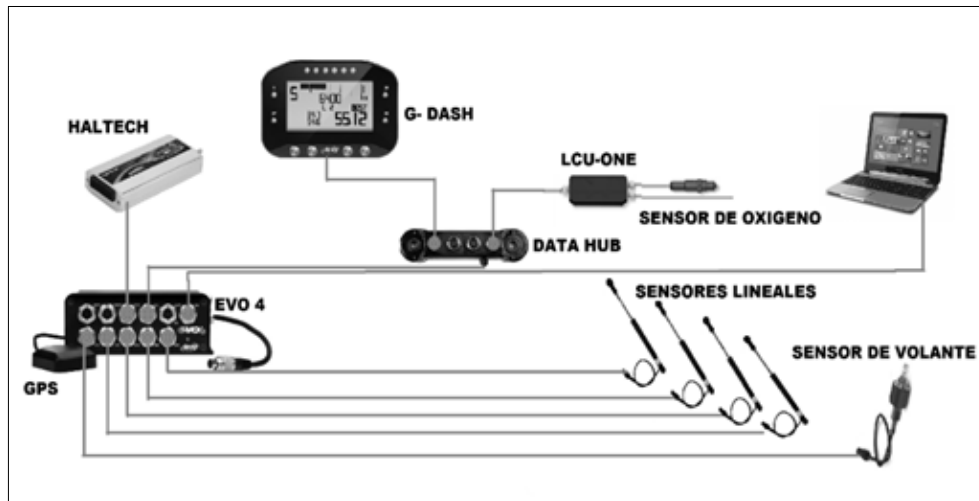


Figura 3.14 Comunicación AIM

Fuente: (AIM Products for car, 2016, pág. 13)

3.3.3 COMUNICACIÓN HALTECH-AIM

La comunicación de la ECU programable Haltech con los dispositivos AIM se procede revisando el diagrama que se encuentra en el Anexo 1, para realizar la comunicación se utiliza la interfaz para el protocolo CAN-ECU ya que Haltech y AIM son compatibles y por ende están equipados de una comunicación similar, la comunicación CAN. Mediante el diagrama proporcionado por AIM se procede a la conexión con protocolos de seguridad para su correcto funcionamiento. Finalmente se procede a la conexión del equipo principal de almacenamiento de datos que es el dispositivo EVO4 de AIM.

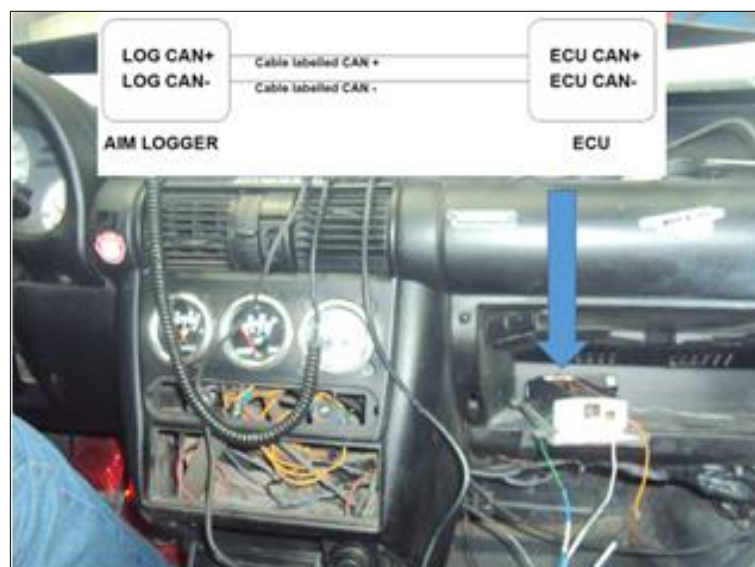


Figura 3.15 Comunicación AIM-Haltech

Fuente: (AiM, 2015, pág. 85)

3.3.4 INSTALACIÓN EVO4/G-DASH

La instalación del dispositivo EVO4 se realiza identificando el cable de alimentación de 12V de la batería, se procede a conectar el dispositivo con el cable rojo al positivo de la batería con alimentación de 12V y un elemento de seguridad, un fusible de 15mA antes del EVO4 para evitar descargas eléctricas al dispositivo y prevenir colapsos del mismo. La conexión del cable negro se realiza hacia el negativo de la batería, como representa la Figura 3.16.

El EVO 4 tiene un estabilizador de energía de voltaje de alimentación que incluso cuando el automóvil está apagado, se mantiene encendido por unos segundos para permitir el cierre correcto de todos los archivos de datos internos.

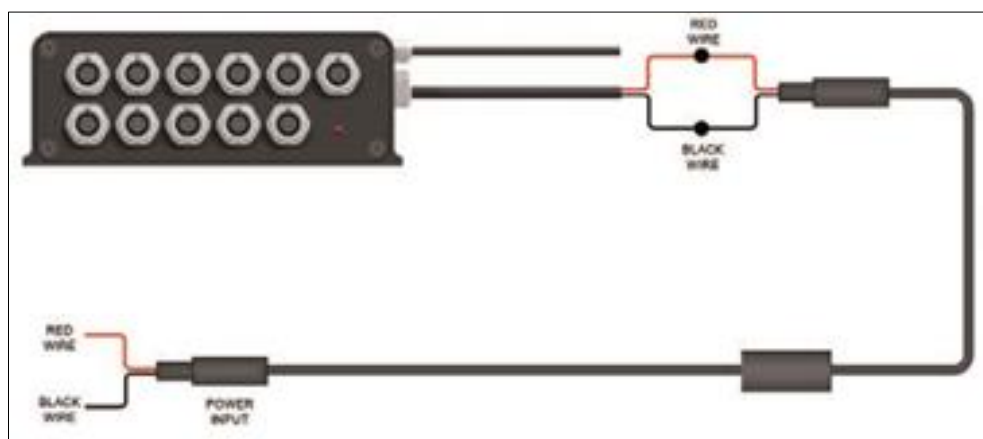


Figura 3.16 Diagrama de instalación EVO 4

Fuente: (AiM, 2015, pág. 38)

3.3.5 INSTALACIÓN DE SENSORES LINEALES

El potenciómetro lineal ha sido diseñado para medir el desplazamiento entre dos puntos de referencia: un punto fijo y un punto móvil, en la instalación del dispositivo se debe prestar atención a la deflexión del cilindro que con posibles torceduras, podrían obtenerse variación en los datos adquiridos, también se debe tener en cuenta el apriete de los tornillos ya que las curvaturas pueden dañar seriamente el sensor.

Los potenciómetros lineales terminan en conectores machos de 4 pines representados en la Figura 3.17. Teniendo en cuenta que el pin número 1 es señal analógica con voltaje de 0 a 5V, el pin número 2 es masa, el pin número 3 no está conectado y el pin número 4 es un voltaje de referencia 4,5 voltios.

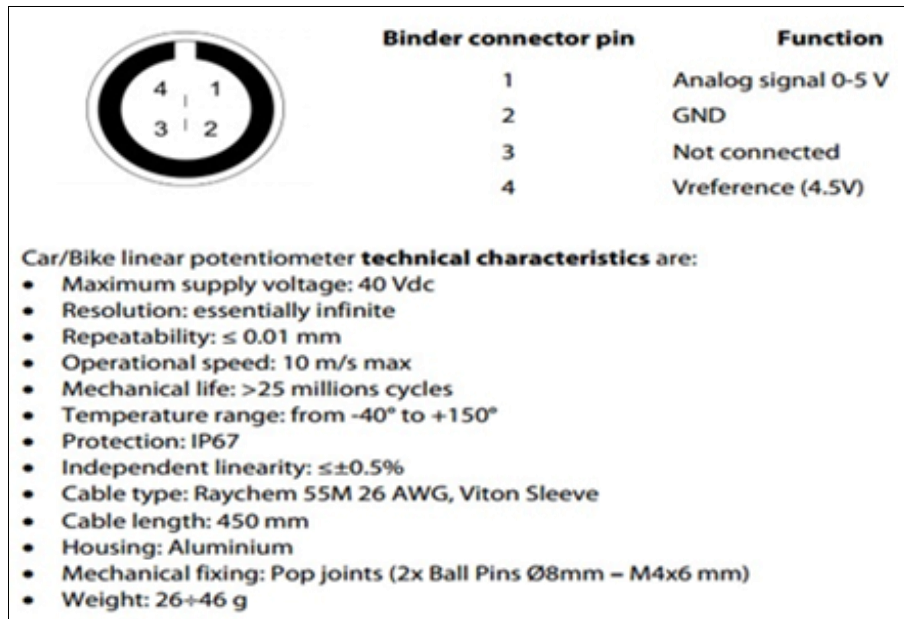


Figura 3.17 Diagrama de conexión de Potenciómetros

Fuente: (AiM, 2015, pág. 40)

3.3.6 INSTALACIÓN DEL SENSOR DE GIRO DEL VOLANTE

Es un potenciómetro de rotación que permite medir el desplazamiento angular entre dos puntos para determinar la posición de la columna de dirección, por estas características se denomina potenciómetro de ángulo de dirección del volante.

El sensor determinado del volante contiene 4 pines, el pin número 1 es señal análoga de 0.5 a 4.5 voltios, el pin número 2 es masa, el pin número 3 no se conecta y el pin número 4 es voltaje de referencia de 4.5 voltios. En la Tabla 3.4 se muestran los valores nominales con los que trabaja en sensor de giro del volante.

Tabla 3.4 Características del sensor de giro del volante.

Características eléctricas	Características mecánicas
Resistencia nominal 10k Ω	Giro de 1080/10 revoluciones.
Tolerancia sobre el valor de resistencia $\pm 5\%$	Rango de temperatura = $-55/+125^{\circ}$
Precisión de 0.030%	Poder de disipación de 40°C : 2,4W

3.3.7 CANAL DE EXPANSIÓN

En inglés: “Channel Expansión”, es un multiplicador de canales análogos que están disponibles para la adquisición de datos, sin ocupar o modificar ninguno de los canales existentes. Permite transferir las señales al registrador de sensores sin la necesidad de cableado y disminuyendo considerablemente la opción de adquirir más cables para el almacenamiento de datos como se representa en la Figura 3.18.

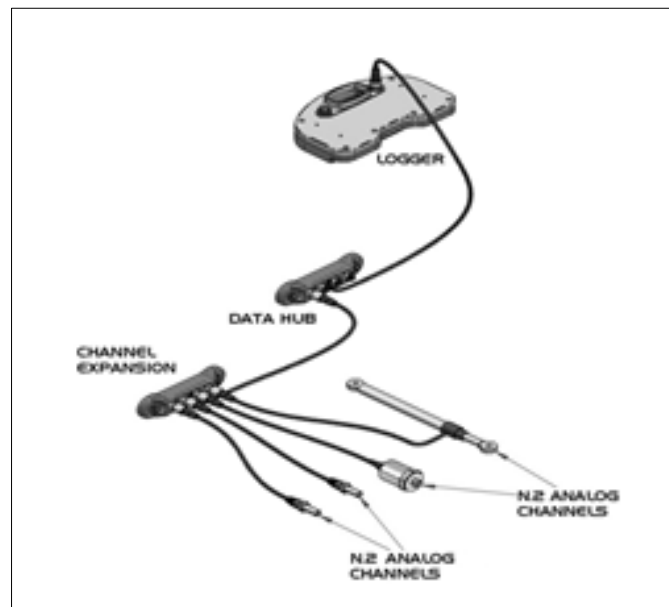


Figura 3.18 Channel Expansion
Fuente: (Channel Expansion, 2015, pág. 46)

3.3.8 TC HUB

TC HUB es un módulo de expansión externo que permite aumentar el número de termopares que pueden conectarse a un registrador AIM. El TC HUB tiene 4 entradas de temperatura enumeradas como: “TEMP 1”, “TEMP 2”, “TEMP 3”, “TEMP 4”. Estos pines se comunican con el registrador AIM, utilizando la red AIM-CAN que solo admite termopares tipo K. Se puede conectar un TC HUB para crear una red AIM que puede soportar hasta 16 expansiones, tales como módulos GPS, sensores lineales y más dispositivos.



Figura 3.19 TC HUB

Fuente: (AIM sportline TC HUB, 2015, pág. 25)

La configuración de los pines del TC-HUB que facilita la comunicación de cada cable y su valor es la siguiente: pin número 1 señal CAN+ (positivo), pin número 2 conexión a tierra, pin número 3 señal de voltaje, pin número 4 señal de CAN- (negativo), pin número 5 voltaje de una extensión.

3.3.9 DATA HUB

DATA HUB es un módulo de expansión externo que permite incrementar la gama de datos de adquisición disponibles para el análisis, también es un multiplicador de conexiones CAN. La conexión del DATA HUB se realiza mediante los protocolos indicados por el fabricante como indica la Figura 3.23. El pin número 1 no conecta, el pin número 2 es señal a tierra, el pin número 3 y número 4 no conectan, el pin número 5 es señal.

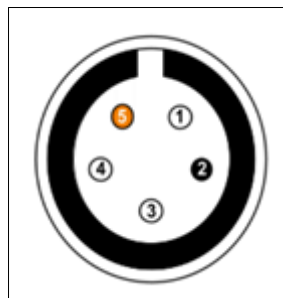


Figura 3.20 DATA HUB

Fuente: (Data Hub, 2015, pág. 85)

3.3.10 SOFTWARE RACE STUDIO 2

El software Race Studio es un programa capaz de almacenar, analizar e interpretar todos los datos registrados por los elementos AIM. Se puede crear, modificar, eliminar, importar y exportar configuraciones con todos los canales, controladores de la ECU, páginas de visualización, salidas digitales, alarmas, luces, entre otros (Race Studio 2, 2015).

Race Studio 2 es una aplicación correctamente diseñada y desarrollada por AIM para configurar sus registradores y analizar sus datos utilizando una PC. La aplicación Race Studio está desarrollada siguiendo la evolución de los modeladores AIM y mejorando constantemente sus potencialidades y prestaciones para elementos de precisión. Gracias a su configuración, el usuario puede personalizar sus equipos para sacar el desempeño máximo de los equipos de precisión tanto en sensores como en indicadores. Con Race Studio 2 es posible adaptar un sistema flexible y dinámico a todos los módulos de expansión externa tanto en computadoras programables y tradicionales de los vehículos, con los innovadores dispositivos diseñados por AIM, así como todos los sensores personalizados que todo usuario puede conectar con un registrador.

La compatibilidad entre Race Studio 2 y los sistemas operativos han sido desarrollados para garantizar la mayor fiabilidad de trabajo y su correcto funcionamiento ha sido probado con la mayoría de sistemas operativos tales como: Microsoft Windows XP, Microsoft Windows Vista y Microsoft Windows 7 y también los sistemas operativos Linux, Unix, Macintosh (AIM Race Studio 2, 2015, pág. 45).

Para establecer una comunicación ideal entre los sistemas de adquisición y el software para la interpretación y simulación es necesario disponer de un ordenador con procesador superior a los 2,2 GHz y una memoria RAM mayor a 4Gb.

3.3.11 PASOS PARA LA INSTALACIÓN DEL SOFTWARE AIM

1. Visitar la página web www.aim-sportline.com y descargar el software requerido desde la pestaña de descargas como muestra la Figura 3.21.
2. Instalar el software descargado, tener en cuenta la actualización por año de fabricación.
3. Revisar manual.

Software	Ultima versión	Documentación	Historial de versiones
Race Studio 3	Download Ver. 3.16.31 (23 de enero de 2018)	Leer documentación	Leer pdf
Race Studio 2	Download Ver. 2.56.44 (20 de diciembre de 2017)	Leer documentación	Leer Pdf
Gerente de GPS	Download Ver. 2.03.32 (26 de octubre de 2016)	Manual de usuario ver. 1.06	Leer Pdf
SmartyManager 2	Download Ver. 2.03.04 (7 de julio de 2014)		Leer Pdf
SmartyManager	Download Ver. 1.08.12 (6 de noviembre de 2013)	Manual de usuario ver. 1.09 Procedimiento de recuperación del conductor	Leer Pdf
DragAnalyzer	Download Ver. 1.05.07 (25 de febrero de 2013)	Manual de instalación ver. 2.02	Leer Pdf
DragOn - QMAN	Download Ver. 1.01.02 (25 de febrero de 2013)	Manual de instalación ver. 2.02	Leer Pdf
Configurador Lambda	Download Ver. 1.00.07 (3 de marzo de 2008)		Leer Pdf
MyChron4 Picture Manager	Download Ver. 2,08 (20 de junio de 2007)		

¿Necesita acceder a los datos de los archivos XRK sin el software AiM? [Haga clic aquí](#) .

Tabla de compatibilidad de SO de software AiM

	Windows XP 32 bit	Windows Vista 32/64 bit	Windows 7 32/64 bit	Windows 8 32/64 bit	Windows 10 32/64 bit
Race Studio 3	●	●	●	●	●
Race Studio 2	●	●	●	●	●
SmartyManager 2	●	●	●	●	●
SmartyManager	●	●	●	●	●
Gerente de GPS	●	●	●	●	●
DragOn - QMAN	●	●	●	●	●
DragAnalyzer	●	●	●	●	●
Configurador Lambda	●	●	●		
MyChron4 Picture Manager	●				

Figura 3.21 Software AIM

Fuente: (AIM Products for car, 2016, pág. 10)

4. Iniciar el programa instalado Race Studio 2 en el ordenador.
5. Seleccionar la ventana Device Configuration y luego el botón Evo 4
6. Clic en el botón Go To. Que dará paso a la abertura de la siguiente ventana System Manager representado en la figura 3.22.

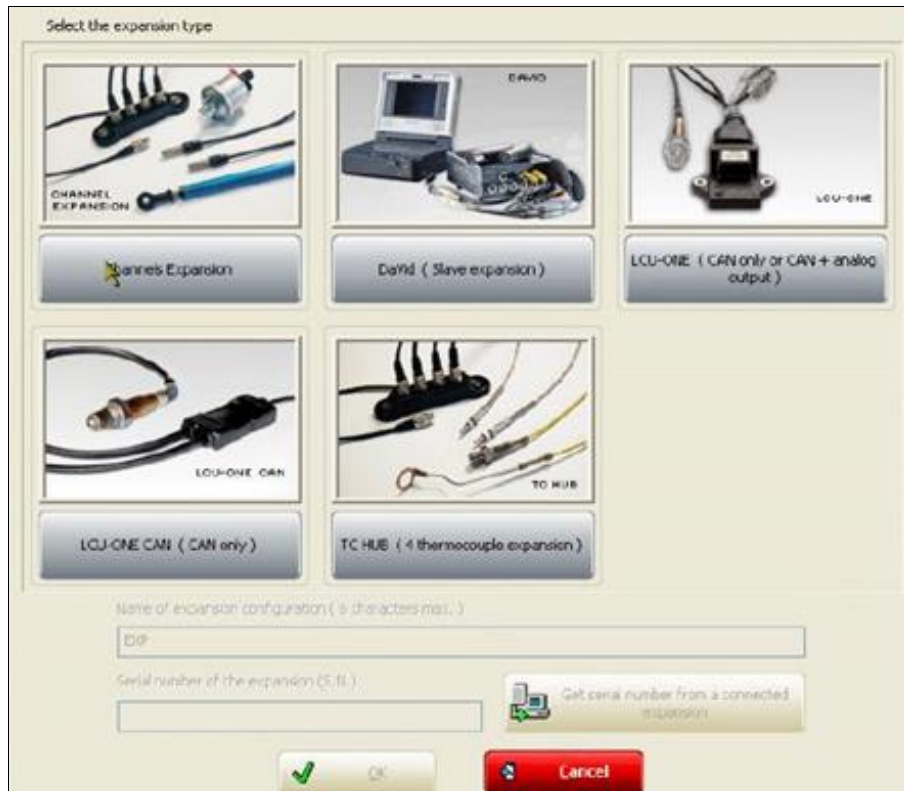


Figura 3.22 System Manager
Fuente: (AIM Race Studio 2, 2015, pág. 11)

Se procede a la configuración de los dispositivos TC HUB:

1. Doble clic en configuración “Channel Expansions” para añadir o crear una nueva.
2. Seleccionar la capa “CAN Expansions”
3. Si la configuración no tiene expansiones cargadas, aparece el panel “Expansiones” y puedes seleccionar “TC HUB” si la configuración ya cuenta con una o más expansiones presionar “Nueva Expansión” y seleccionar “TC Hub”
4. Rellenar el nombre de expansión con 6 caracteres máximo.
5. Clic en “Get S.N desde una extensión conectada” o rellene con el número de serie que está a un lado del dispositivo.
6. Clic en una de las celdas que desea configurar, nombre de canal, frecuencia de muestreo, unidad de medida, precisión de la pantalla.

Después se procede a configurar los potenciómetros:

El potenciómetro lineal soportado por la configuración AIM es el encargado de medir la compresión o extensión de los amortiguadores, así como la rotación de la cremallera de la dirección. A continuación, se muestra paso a paso la configuración de los sensores lineales.

1. Seleccione el canal en el que se debe poner el potenciómetro ejemplo canal 5(1).
2. Seleccione función “Angulo”.
3. Seleccione sensor “Angular Pot Calib”.
4. Seleccionar lineal “Lineal Pot Calib”.

3.3.12 PUESTA A PUNTO DE LOS EQUIPOS.

Teniendo en cuenta que las configuraciones anteriores han sido satisfactorias, se podrá visualizar que todos los sensores están programados en la pantalla para su correcto funcionamiento. Una vez configurados al 100 % todos los equipos, se procede a iniciar el programa para las pruebas establecidas.

3.4 DESARROLLO DE PROTOCOLOS DE PRUEBA

Se toma en cuenta la prueba de maniobra evasiva o prueba del alce a una distancia establecida entre conos mediante la norma ISO 7401:2011. Que establece realizar la prueba a velocidades de 40, 60 y 80 km/h. Como es una prueba que simula una maniobra evasiva o cambio de carril, se hace énfasis en la trayectoria lateral.

Las pruebas a realizarse son: la prueba de aceleración y frenado, donde se establecen dos valores de velocidades 60 y 80km/h a una distancia de 100 metros, establecida por las normas de la formula SAE. Con esto se analiza el comportamiento y eficiencia de los frenos.

Los protocolos de seguridad están basados en las pruebas a realizarse y en la seguridad del espacio designado, teniendo en cuenta que los asistentes a estas pruebas deberán observar, pensar, informar, proteger y actuar en acciones de riesgo.

Para la ejecución de cualquier prueba física de los automóviles se tendrá muy en cuenta que la señalización en la prueba sea visible, permanecer al menos a 20 metros fuera del espacio de la prueba con vestimenta reflectiva, y que el conductor que realiza la prueba debe usar casco, overol y cinturón de seguridad de 5 puntos de anclaje, debido a que son pruebas modeladas y controladas (PSO, 2016).

3.4.1 DINÁMICA LONGITUDINAL

El estudio de la dinámica longitudinal permite analizar el movimiento del automóvil y de las fuerzas que se aplican en la parte delantera y posterior del vehículo, mientras se ejecutan acciones de aceleración y frenado en distancias determinadas.

El análisis de estas fuerzas son el aire con el terreno, se trata de las fuerzas aerodinámicas, las cuales serán analizadas desde parámetros estándar mas no en configuraciones específicas, debido a que no se cuenta con el equipo necesario para este análisis.

Aceleración y frenado:

Conociendo que las pruebas a realizarse, serán repetibles, reproducibles, mediante el análisis y la evaluación dinámica longitudinal del vehículo, se establecen parámetros de precaución y prueba que sean accesibles y no muy costosos para realizar esta prueba.

Las pruebas a realizarse para el análisis de la dinámica longitudinal serán las pruebas de aceleración y frenado que serán realizadas y evaluadas en un terreno plano, con una distancia de recorrido de 1000 metros, hasta alcanzar las velocidades establecidas para la prueba.

En esta ocasión se realiza la prueba en un espacio de 14 metros de ancho y una distancia de 1000 metros de distancia en línea recta, esta sería una distancia máxima hasta alcanzar la velocidad deseada. El escenario escogido para realizar las pruebas a 60 y 80 km/h es Autódromo Internacional de Yahuarcocha José Tobar Tobar, debido a que cuenta con todas las seguridades necesarias para las pruebas establecidas.

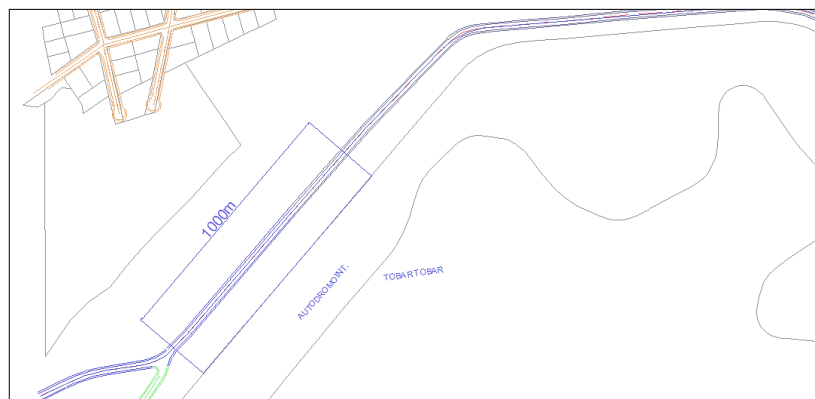


Figura 3.23 Prueba de aceleración y frenado

La distancia establecida de 1 000 m será tomada desde el inicio de la pista en sentido horario, 300m antes del punto de partida de la pista y 700m después dando un total de 1 000m.

3.4.2 DINÁMICA LATERAL

Mediante el análisis de la dinámica lateral, se dan a conocer las características direccionales del automóvil que definirán las acciones producidas por el conductor en el volante y también el análisis de las irregularidades de la calzada y las fuerzas centrífugas. En este análisis se toma en cuenta la geometría de la dirección, sus ángulos y maniobrabilidad a velocidades controladas, circulación en curva y velocidades límite de derrape y vuelco, las velocidades para las pruebas son las mismas de 60 y 80 km/h.

Prueba del alce

La prueba que obtiene todos estos puntos para su análisis corresponde a una prueba de maniobra evasiva o prueba del alce, que consiste en examinar el vehículo a diferentes velocidades controladas y esquivar un obstáculo presentado en la línea vertical de manejo y regresar nuevamente a su trayectoria vertical sin ocasionar, vuelco o derrape del vehículo, para la realización de esta prueba controlada se especifica el diámetro necesario, teniendo a disposición el autódromo antes mencionado.

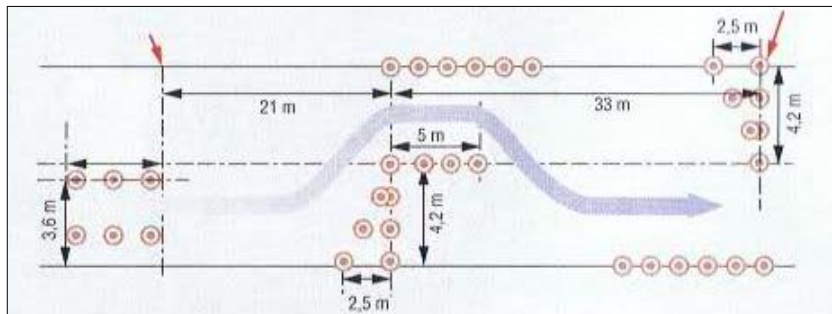


Figura 3.24 Prueba del maniobra evasiva o prueba del alce

Se establecen los puntos iniciales para la prueba, teniendo en cuenta el ancho de vía delantera 1.340m y una distancia de pista de 14m, antes del inicio de la prueba se disponen 500m libres para alcanzar las velocidades deseadas antes de entrar al campo de prueba. El inicio de la prueba tiene una distancia de 10m y una distancia de reacción para el cambio de carril de 3m, manteniéndose en línea recta cerca de 11m y regresando al carril inicial, con una distancia de reacción de 3m y una distancia de 10m finalizando la prueba, contando con un ancho total de la prueba de 8m, que se lo puede realizar sin inconvenientes mediante la ubicación de conos de ubicación, para la señalización de la prueba.

3.4.3 CONDICIONES DE SEGURIDAD PARA PRUEBAS EN PISTA

La preparación de la pista en general: es establecer los puntos marcados y distancias establecidas para la prueba, tales como: conos de señalización de los puntos máximos a llegar el vehículo, pista seca y establecer la pista con un ancho de 14m libre de seres vivos para evitar cualquier emergencia. Preparación del vehículo: verificar la presión de los neumáticos, agua, aceite, aceite de caja de cambios, frenos y una prueba piloto de los equipos instalados. Preparación piloto: verificar que este enérgicamente al 100 %, con overol refractivo y casco. Se procede a realizar la prueba a tres velocidades controladas o diferentes reglajes detallados en la tabla de resumen 3.5.

3.5 SIMULACIÓN

El software VeDyna es un simulador que nos permite el análisis, tanto dinámico y estático del automóvil permitiendo programar el vehículo a reglajes establecidos. Para la instalación de este software que es una interface de Matlab R2014a 32bit se necesita dicho programa que se encuentra a bajo costo en cualquier local de softwares, dicho programa es compatible con el ordenador antes especificado para la instalación del software Race Studio 2.

Se procede a instalar el software Matlab R2014a de 32bit con licencia y serie en el disco local C, una vez finalizada la instalación del software Matlab R2014a de 32bit se procede a la instalación del simulador VeDyna, que es una interface de Matlab y para su instalación se procederá en pasos que especifica el programa, al momento de su inicio.

3.5.1 PUESTA A PUNTO DE VEDYNA

Los valores del simulador son específicamente estándar, dependiendo de la configuración a realizarse con los datos obtenidos mediante la simulación se tienen datos con valores máximos y valores mínimos, reduciendo de esta manera costos, tiempo y mejorando también la eficacia en el rendimiento y comportamiento de las partes mecánicas y elásticas del automóvil, en este caso específicamente en las suspensiones y chasis.

Se tiene en cuenta que las simulaciones se realizan con diferentes reglajes del vehículo y a diferentes velocidades, además se tienen en cuenta las especificaciones técnicas del vehículo para el análisis y la simulación de las diferentes pruebas. La ficha técnica ayuda a establecer los parámetros milimétricos del vehículo para su posterior análisis en el simulador.

En la simulación de prueba evasiva o prueba del alce se obtienen 3 simulaciones, una por cada velocidad 40, 60 y 80 km/h, y simulaciones de aceleración y frenado a dos velocidades diferentes 60 y 80 km/h con un total de dos simulaciones:

La simulación de la prueba de maniobra evasiva, o la prueba del alce está basada principalmente en la Euro NCAP (European New Car Assessment Programme), que es el Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos, que se basa principalmente en la evaluación de la seguridad y estabilidad de vehículos nuevos y de competencia, generando un test de prueba establecido para la investigación de todos los elementos de seguridad y los controles de estabilidad a velocidades limitadas.

Esta simulación se realiza con diferentes reglajes a diferentes velocidades, 40, 60 y 80 km/h teniendo datos de ángulos del volante, aceleración lateral, ángulos de inclinación, ángulos de guiñada y ángulos de inclinación lateral.

La normativa ISO 3888-2: 2011 define las dimensiones de la pista para una prueba de maniobra de cambio de carril severo y de ciclo cerrado para determinar subjetivamente el rendimiento de evitación de obstáculos de un vehículo, una parte específica de la dinámica del vehículo y la capacidad de agarre de la carretera. Es aplicable a vehículos de pasajeros y vehículos comerciales ligeros con una masa bruta de vehículo de hasta 3,5 ton.

La configuración del software VeDyna permite las siguientes modificaciones según los datos anteriormente calculados. Valores estándar y no regulables para frenos y aerodinámica del vehículo. Los valores que se puede modificar son la altura del vehículo, ancho de vía, batalla, numeración de neumáticos, inflado y tamaño del rin, ángulo Toe y cámbler.

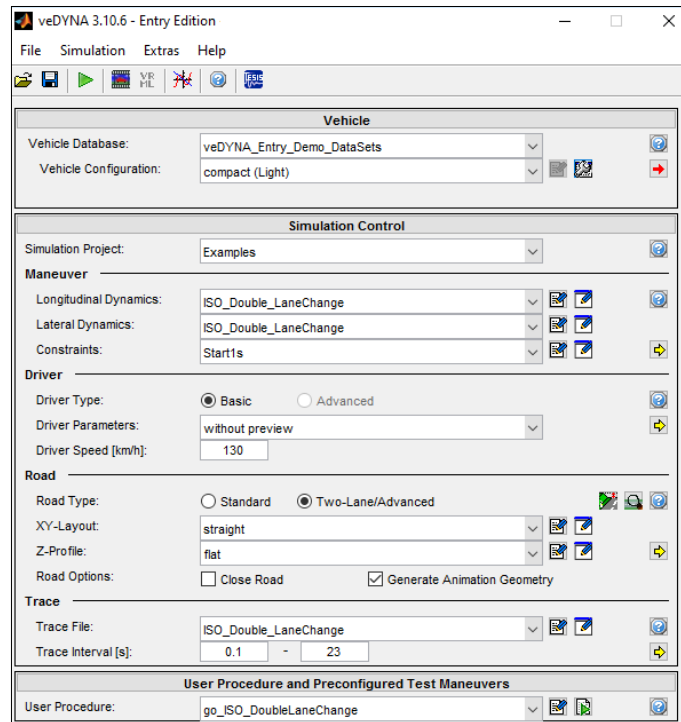


Figura 3.25 Configuración VeDyna

Las configuraciones que se establecen con los datos anteriores de la Tabla 3.3 de reglajes son las siguientes:

Dependiendo del modelo a realizar en el simulador, despliega más opciones y más avanzadas para el diseño de carrocerías y el diseño de suspensiones más eficaces con el fin de diseñar un automóvil más liviano y más rápido.

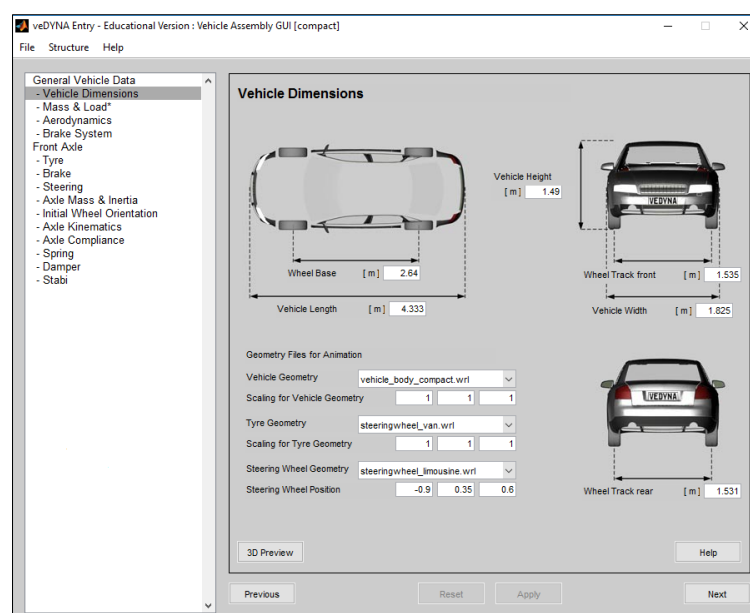


Figura 3.26 Configuraciones disponibles VeDyna

3.5.2 ACELERACIONES LATERALES

Se conoce por aceleraciones laterales, las provocadas por las fuerzas que actúan cuando el vehículo circula dentro de una curva, analizando estas fuerzas se puede determinar la capacidad del vehículo para acelerar dentro de una curva antes que empiece a subvirarse o sobrevirarse. Cuanta mayor fuerza sea capaz de soportar, más tarde empezará el subviraje y las fuerzas a las que está sometido es normalmente a $1g$ que equivale 9.8 m/s^2 .

3.6 PRUEBAS EN PISTA

Las pruebas en pista se realizan con el fin de verificar el desempeño de las suspensiones, estas pruebas se ejecutan en el Autódromo “José Tobar Tobar”. Se cumplen con todos los protocolos de prueba como la verificación de la alineación, cámbier y cáster y los ángulos TOE, tomando en cuenta las simulaciones para cada prueba solicitada, conociendo en tiempo real su desempeño en la estabilidad del vehículo mediante instrumentos de alta precisión que facilitan la lectura de cada componente que trabaja en cada prueba mediante gráficas.

3.6.1 PRUEBAS AIM CAMBIO DE CARRIL O PRUEBA DEL ALCE.

Esta prueba se la realiza de acuerdo con los parámetros de la norma ISO 3888, que indica las condiciones para realizar una maniobra evasiva o un cambio de carril brusco a limitadas velocidades para estudiar la estabilidad del vehículo, suspensiones, y los ángulos de giro.

Prueba de maniobra evasiva a 40 km/h:

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 EVALUACIÓN COMPARATIVA DE RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos en el estudio, en primera instancia se muestran los resultados de las pruebas simuladas en VeDYNA con los reglajes previamente establecidos, luego se presentan los resultados de las pruebas en pista que fueron obtenidos mediante el sistema de adquisición de datos AIM, y por último se comparan ambos resultados para verificar la confiabilidad de los equipos del sistema de adquisición y el sistema simulador de pruebas dinámicas.

4.2 RESULTADOS DE SIMULACIÓN EN VEDYNA

A continuación, se muestran los resultados de la simulación de las pruebas dinámicas ejecutadas en el software VeDYNA para los 3 reglajes establecidos. Cada una de las secciones siguientes diferencia los resultados de las velocidades señaladas para las pruebas que son 40, 60 y 80 km/h.

4.2.1 RESULTADOS DE SIMULACIÓN A 40 km/h

Los resultados, que se toman en cuenta para la simulación realizada en un programa CAE VeDyna, es necesario realizar una comparativa con las pruebas en pista para considerar un mejor resultado, para las pruebas a realizarse en un tiempo determinado.

4.2.1.1 PRUEBA DEL ALCE, SIMULACIÓN A 40 km/h

En la Figura 4.1 se muestra la trayectoria trazada por el vehículo en la prueba del alce ejecutada en el simulador para 40 km / h, misma que se lleva a cabo de manera satisfactoria con los 3 reglajes diferentes. Cuando el vehículo entra en la primera curva existe una diferencia de 2,57 m en el plano longitudinal y de 1,67 cm en el plano lateral, entre el reglaje

1 y el reglaje 2. La diferencia entre el reglaje 1 y el reglaje 3 está dada por 6,25 m en el plano longitudinal y de 1,2 mm en el plano lateral, cuando el vehículo entra en la primera curva. Cuando el vehículo sale de la curva la diferencia entre el reglaje 1 y el reglaje 2 es de 1,1 m en el plano longitudinal y 1 cm en el plano lateral. Entre el reglaje 1 y el reglaje 3, la diferencia es de 1,1 m en el plano longitudinal y 4,6 cm en el plano lateral.

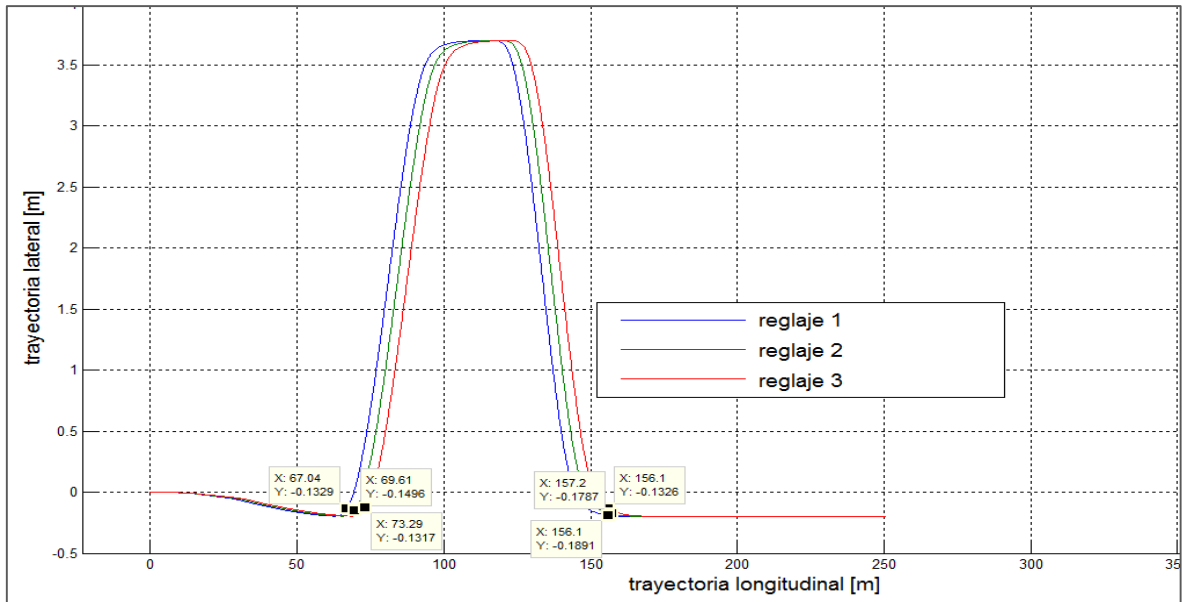


Figura 4.1 Trayectoria lateral vs trayectoria longitudinal (Simulación a 40 km/h)

A continuación, en la Figura 4.2 se presenta la gráfica del ángulo del volante de la prueba del alce ejecutada en el simulador con una velocidad de 40 km/h.

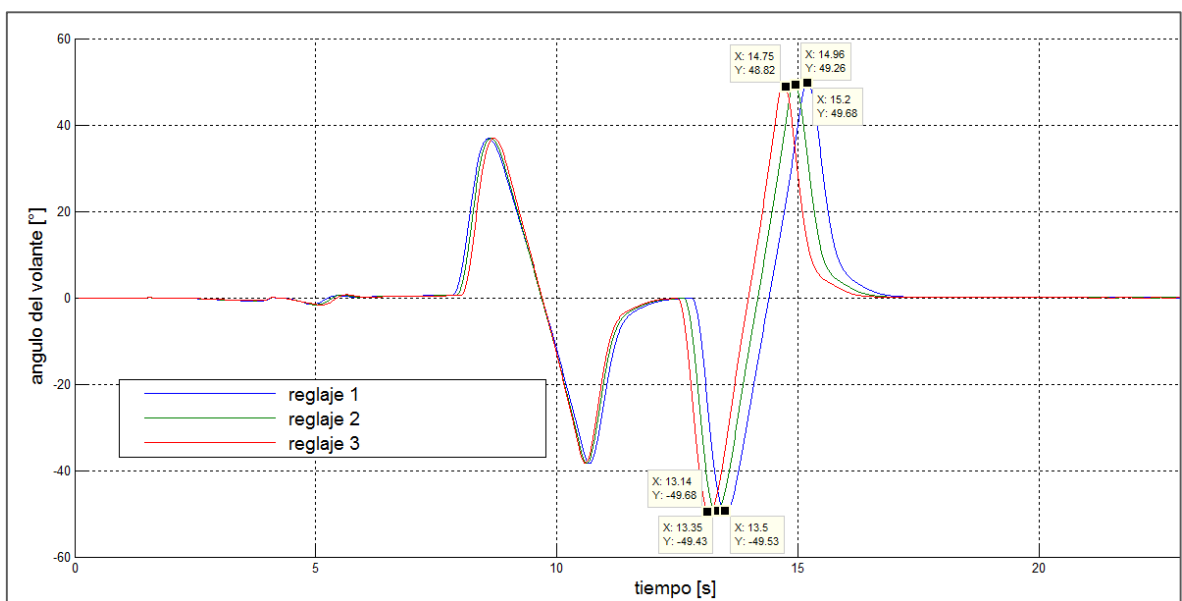


Figura 4.2 Ángulo del volante vs tiempo (Simulación a 40 km/h)

En la prueba evasiva, con las condiciones del reglaje 1, los ángulos máximos de giro del volante son de $49,68^\circ$ en sentido anti horario y $49,53^\circ$ en sentido horario. Aplicando las condiciones del reglaje 2, los ángulos máximos de giro del volante son de $49,26^\circ$ hacia la izquierda y $49,43^\circ$ hacia la derecha. Para el reglaje 3 los ángulos máximos de giro del volante son de $48,82^\circ$ en sentido anti horario y $49,68^\circ$ en sentido horario. La diferencia del tiempo de ejecución de los giros máximos del volante es menor a 1 segundo en los 3 reglajes.

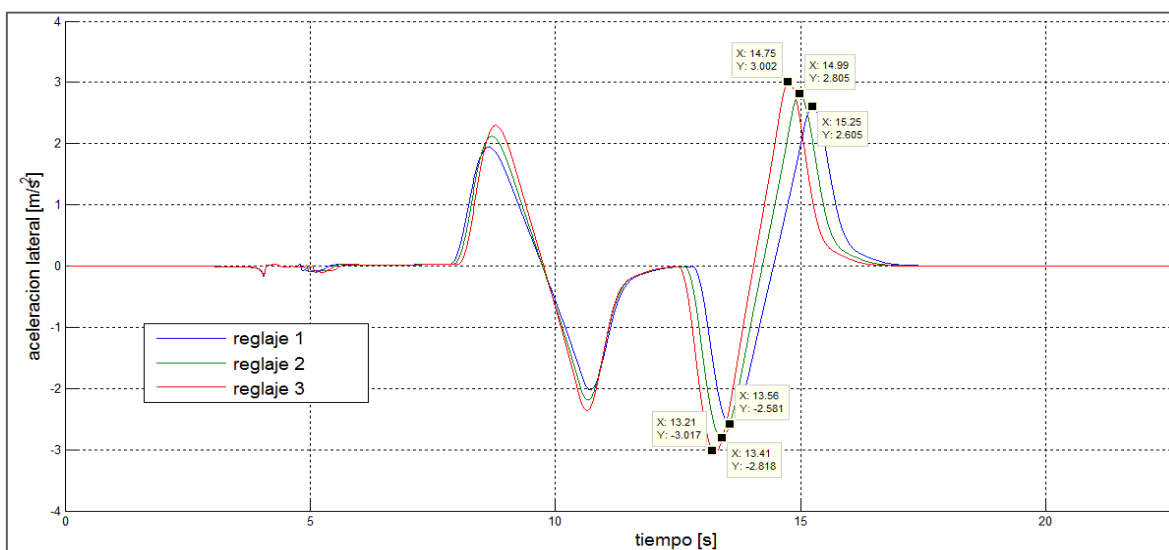


Figura 4.3 Aceleración lateral vs tiempo (Simulación a 40 km/h)

La Figura 4.3 muestra la gráfica de la aceleración lateral que tiene el vehículo en la maniobra evasiva con una velocidad de 40 km / h. Las aceleraciones laterales máximas provocadas por las fuerzas centrífugas son las siguientes: para el reglaje 1 de 2,605 y -2,481 m/s^2 , para el reglaje 2 de 2,805 y -2,818 m/s^2 , y para el reglaje 3 de 3,002 y -3,017 m/s^2 .

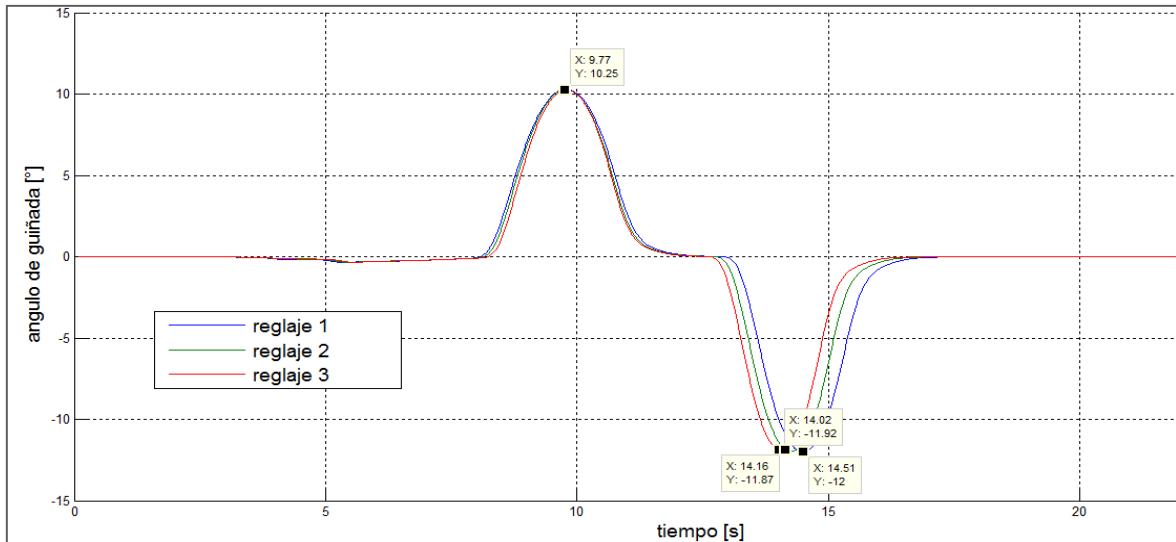


Figura 4.4 Ángulo de guiñada vs tiempo (Simulación a 40 km/h)

En la Figura 4.4 se muestra el ángulo de guiñada que experimenta el vehículo en la prueba del alce. Para los 3 reglajes el ángulo máximo de guiñada es el mismo de $10,25^\circ$, los ángulos mínimos se diferencian de la siguiente manera: -12° en el reglaje 1, $-11,92^\circ$ en el reglaje 2 y $-11,87^\circ$ reglaje 3.

4.3.1 RESULTADOS DE SIMULACIÓN A 60 km/h

El resultado de esta prueba a la velocidad indicada, se iniciará teniendo los valores de la simulación y considerando las variaciones que se podrían realizar en la simulación y la prueba en pista, para establecer los valores a considerarse para esta prueba.

4.3.1.1 PRUEBA DEL ALCE, SIMULACIÓN A 60 km/h

En la Figura 4.5 se muestra la trayectoria trazada por el vehículo en la prueba del alce ejecutada en el simulador para 60 km/h, misma que se lleva a cabo de manera satisfactoria con los 3 reglajes diferentes. Cuando el vehículo entra en la primera curva existe una diferencia de 6,1 m en el plano longitudinal y de 2,86 cm en el plano lateral, entre el reglaje 1 y el reglaje 2. La diferencia entre el reglaje 1 y el reglaje 3 está dada por 5,3 m en el plano longitudinal y de 1,4 cm en el plano lateral, cuando el vehículo entra en la primera curva.

Cuando el vehículo sale de la curva la diferencia entre el reglaje 1 y el reglaje 2 es de 5,1 m en el plano longitudinal y 2,2 mm en el plano lateral. Entre el reglaje 1 y el reglaje 3, la diferencia es de 4,4 m en el plano longitudinal y 1,4 cm en el plano lateral.

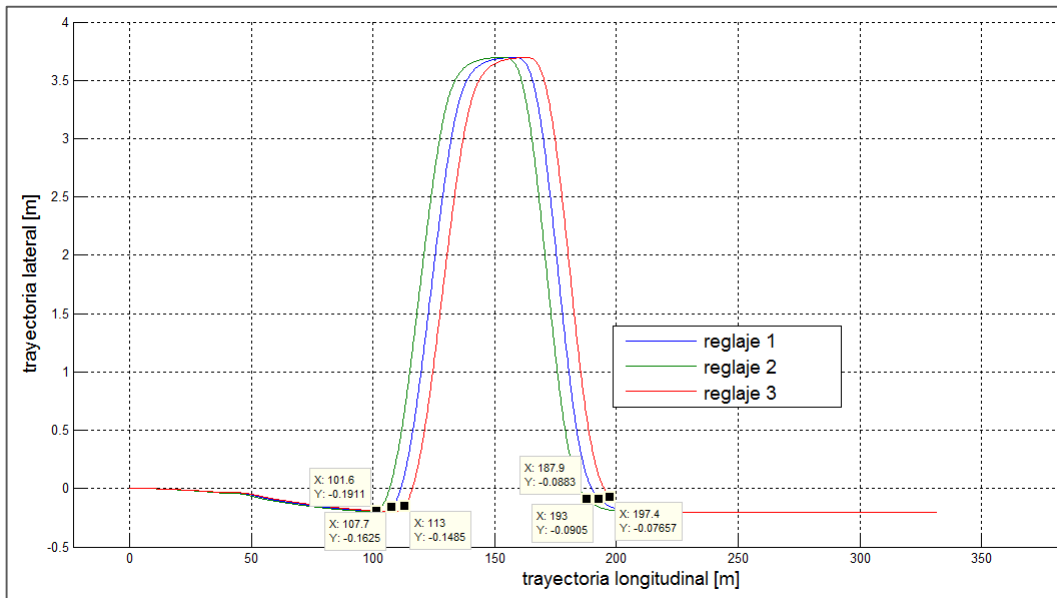


Figura 4.5 Trayectoria lateral vs trayectoria longitudinal (Simulación a 60 km/h)

A continuación, en la Figura 4.6 se presenta la gráfica del ángulo del volante de la prueba del alce ejecutada en el simulador con una velocidad de 80 km/h.

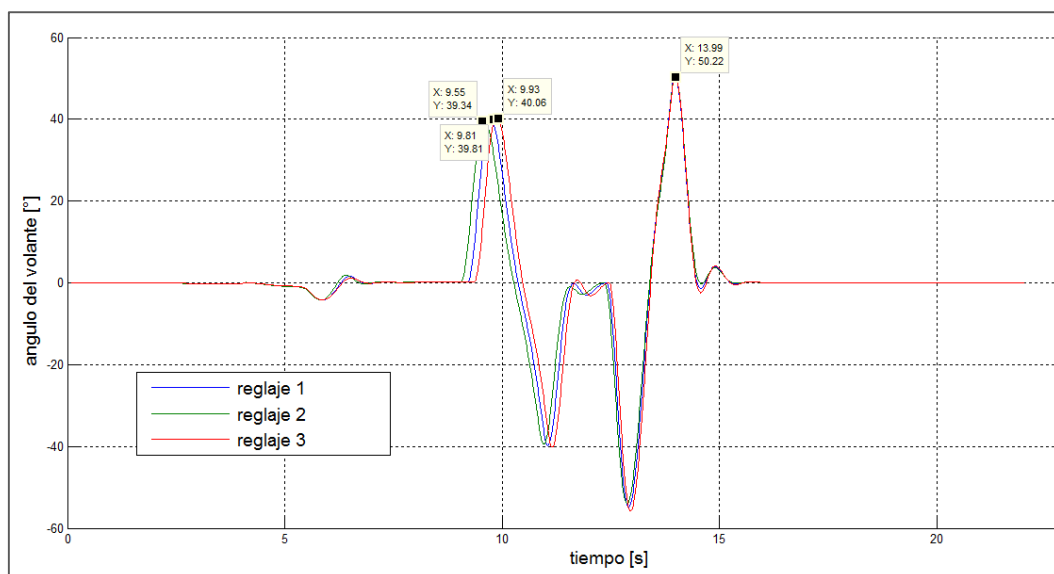


Figura 4.6 Ángulo del volante vs tiempo (Simulación a 60 km/h)

En la prueba del alce con las condiciones de los reglajes 1, 2 y 3, el ángulo máximo de giro del volante en sentido anti horario es de $50,22^\circ$, mientras que en los giros en sentido horario son de $49,68^\circ$ para el reglaje 1, $49,53^\circ$ para el reglaje 2, y $50,01^\circ$ para el reglaje 3.

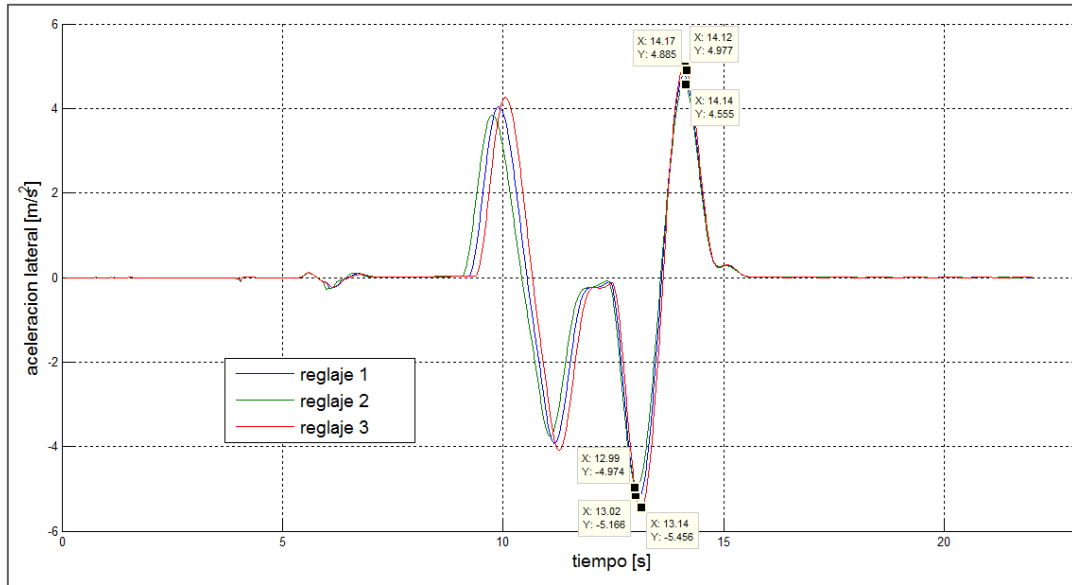


Figura 4.7 Aceleración lateral vs tiempo (Simulación a 60 km/h)

La Figura 4.7 muestra la gráfica de la aceleración lateral que tiene el vehículo en la maniobra evasiva con una velocidad de 60 km/h. Las aceleraciones laterales máximas provocadas por las fuerzas centrífugas son las siguientes: para el reglaje 1 de $4,885$ y $-5,166 m/s^2$, para el reglaje 2 de $4,555$ y $-4,974 m/s^2$, y para el reglaje 3 de $4,977$ y $-5,546 m/s^2$.

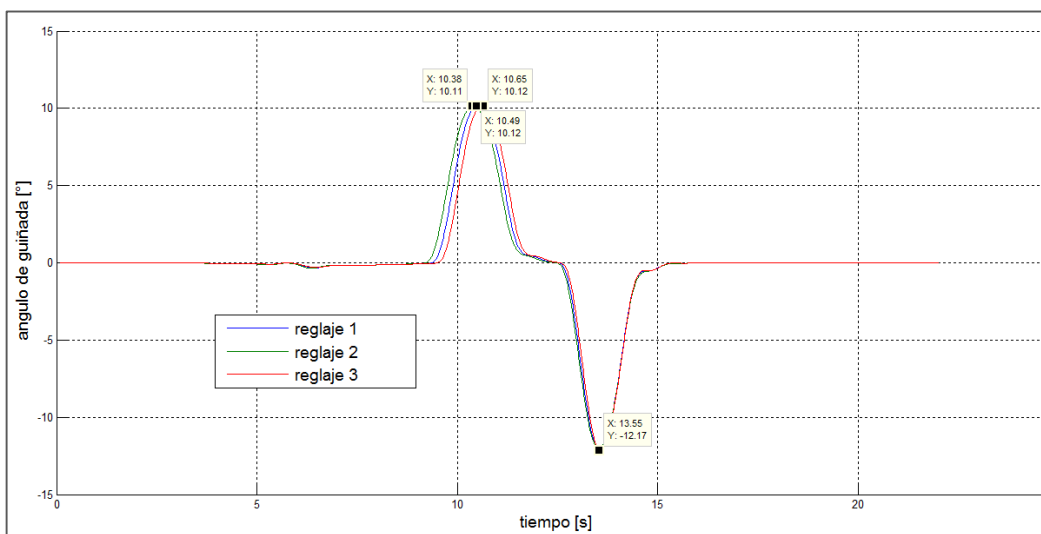


Figura 4.8 Ángulo de guiñada vs tiempo (Simulación a 60 km/h)

En la Figura 4.8 se muestra el ángulo de guiñada que experimenta el vehículo en la prueba del alce. Para los 3 reglajes el ángulo mínimo de guiñada es el mismo de $-12,17^\circ$, los ángulos máximos se diferencian de la siguiente manera: $10,11^\circ$ en el reglaje 2 y $10,12^\circ$ en los reglajes 1 y 3.

4.3.1.2 PRUEBA DE ACELERACIÓN Y FRENADO, SIMULACIÓN A 60 km/h

En la simulación de la prueba de aceleración y frenado se evalúa la distancia de frenado por cada reglaje, para el reglaje 1 el tiempo de frenado es de 4,51 s, para el reglaje 2 el tiempo de frenado es de 4,4 s, y para el reglaje 3 el tiempo de frenado es de 4,34 s. En esta prueba el reglaje más eficiente es el reglaje 3 que permite detener al vehículo en el menor tiempo.

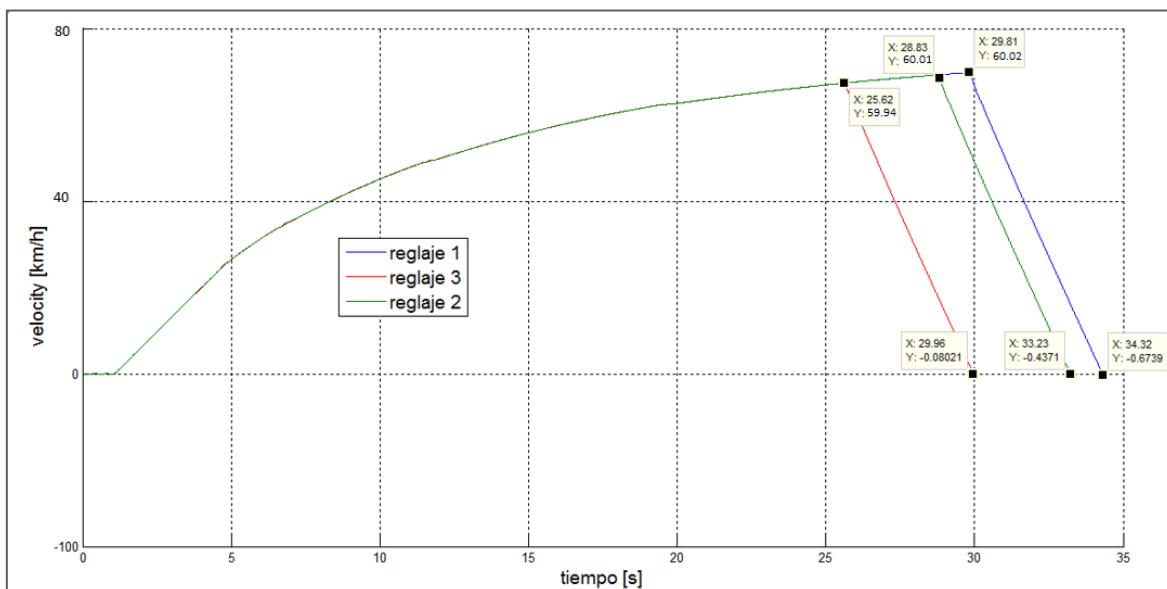


Figura 4.9 Velocidad vs tiempo (Simulación a 60 km/h)

Las distancias de recorrido y frenado de la prueba con los reglajes diferentes se muestran en la Tabla 4.1 que se presenta a continuación. Para calcular las distancias se utiliza la ecuación de Movimiento Rectilíneo Uniformemente Variado:

$$d = \left(\frac{V_o + V_f}{2} \right) * t \quad [\text{Ec 4.1}]$$

Donde:

d: distancia recorrida.

V_0 : velocidad inicial altura del centro de gravedad.

% anti – hundimiento requerido = 20 %.

% frenada delantera = 60 %.

Tabla 4.1 Distancias de recorrido y frenado (Simulación a 60 km/h)

Reglaje	Tiempo de prueba [s]	Velocidad [m/s]	Tiempo de desaceleración [s]	Distancia de recorrido [m]	Distancia de frenado [m]
1	34,32	16,66	4,51	285,885	37,565
2	33,23	16,66	4,4	276,805	36,65
3	29,96	16,66	4,34	249,565	36,15

Cuando el vehículo alcanza los 60 km/h en la prueba, la distancia que recorre hasta detenerse utilizando el reglaje 1 es de 37,565 m, la distancia utilizando el reglaje 2 es de 36,65 m, y utilizando el reglaje 3 es de 36,15 m, siendo esta la menor de los 3 reglajes.

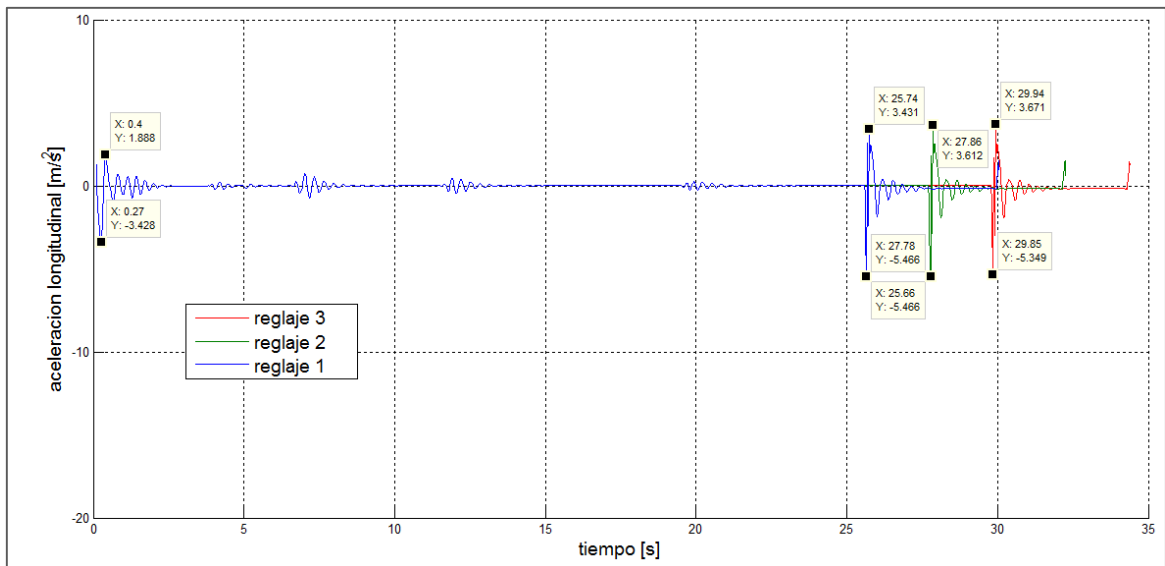


Figura 4.10 Aceleración longitudinal vs tiempo (Simulación a 60 km/h)

En la Figura 4.10 se muestra la gráfica de la aceleración longitudinal en función del tiempo de la simulación de la prueba de aceleración y frenado con una velocidad de 60 km/h.

Tabla 4.2 Aceleraciones longitudinales máximas (Simulación a 60 km/h)

Reglaje	Tiempo [s]	Aceleración longitudinal máxima $[m/s^2]$	
		Rueda derecha	Rueda izquierda
1	30	5,46	3,43
2	33	5,46	3,61
3	34	5,34	3,67

La Tabla 4.2 muestra las aceleraciones longitudinales máximas que experimentan las ruedas en la simulación de la prueba de aceleración y frenado con los 3 reglajes diferentes cuando el vehículo alcanza una velocidad de 60 km/h.

4.3.2 RESULTADOS DE SIMULACIÓN A 80 km/h

Como resultado para esta prueba, tenemos en cuenta los resultados de las simulaciones a comparación de las pruebas en pista a realizarse para su comparación respectiva al final de la prueba.

4.3.2.1 PRUEBA DEL ALCE, SIMULACIÓN A 80 km/h

En la Figura 4.11 se muestra la trayectoria trazada por el vehículo en la prueba del alce ejecutada en el simulador para 80 km/h, misma que se lleva a cabo de manera satisfactoria únicamente con el reglaje 3 y fracasa con los reglajes 1 y 2.

Cuando el vehículo entra en la primera curva, no existe diferencia en el plano longitudinal y en el plano lateral, entre los 3 diferentes reglajes. La amplia diferencia existente entre los puntos donde el vehículo sale de la curva indica claramente que el vehículo excede los límites de control de estabilidad y pierde pista con la utilización de los reglajes 1 y 2.

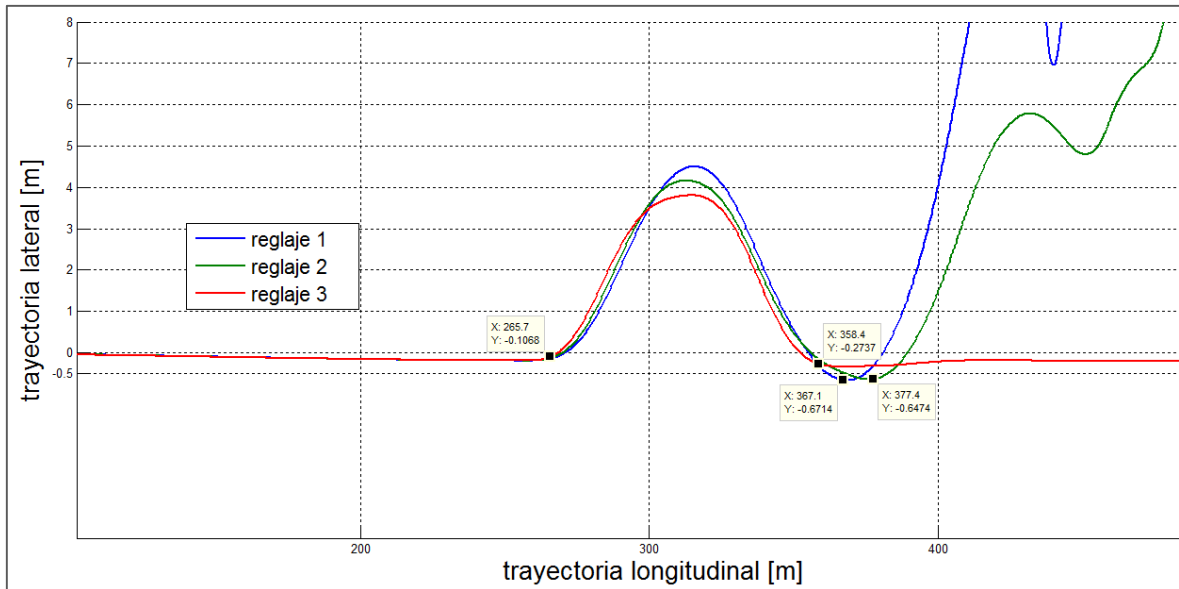


Figura 4.11 Trayectoria lateral vs trayectoria longitudinal (Simulación a 80 km/h)

A continuación, en la Figura 4.12 se presenta la gráfica del ángulo del volante de la prueba del alce ejecutada en el simulador con una velocidad de 80 km/h.

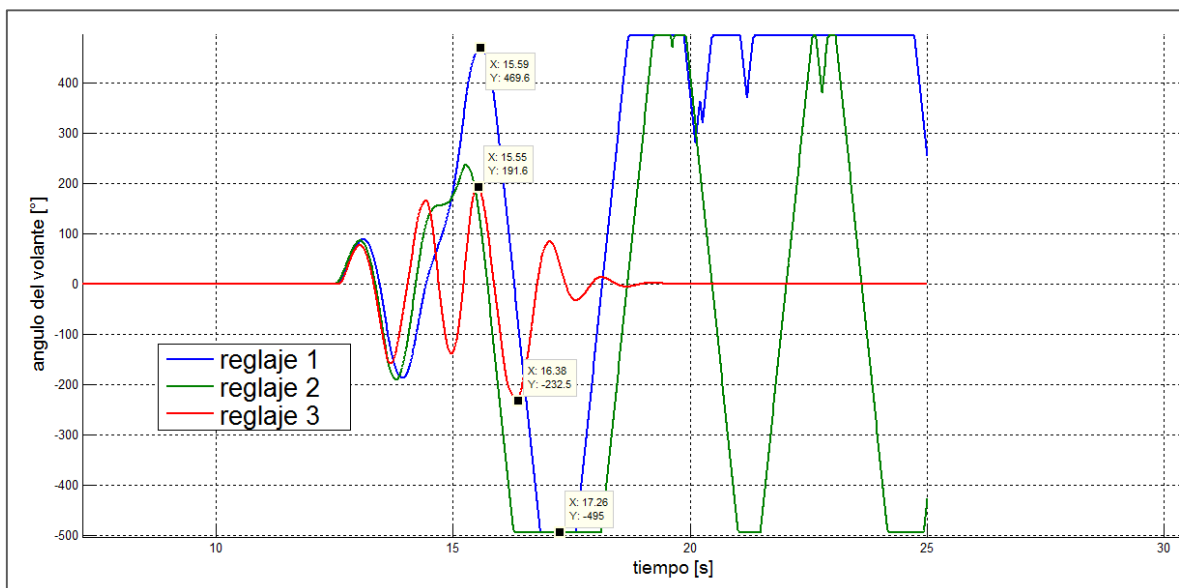


Figura 4.12 Ángulo del volante vs tiempo (Simulación a 80 km/h)

En la prueba evasiva, con las condiciones del reglaje 3, los ángulos máximos de giro del volante son de $191,6^\circ$ en sentido anti horario y $232,5^\circ$ en sentido horario.

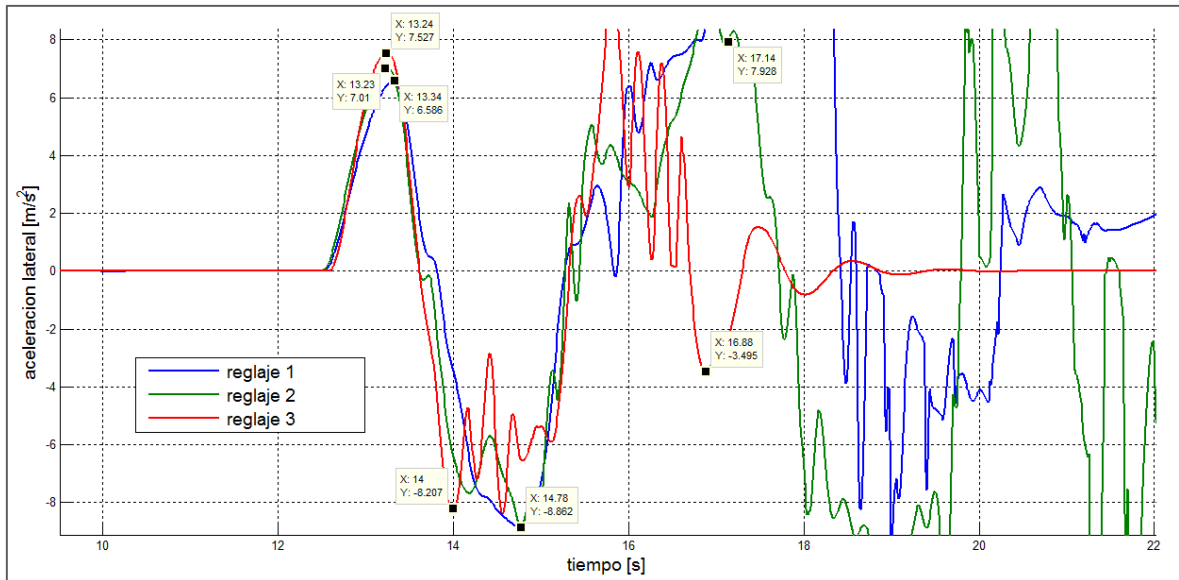


Figura 4.13 Aceleración lateral vs tiempo (Simulación a 80 km/h)

La Figura 4.13 muestra la gráfica de la aceleración lateral que tiene el vehículo en la maniobra evasiva con una velocidad de 80 km/h. Las aceleraciones laterales máximas provocadas por las fuerzas centrífugas para el reglaje 3 son 7,527 y -8,207 m/s^2 .

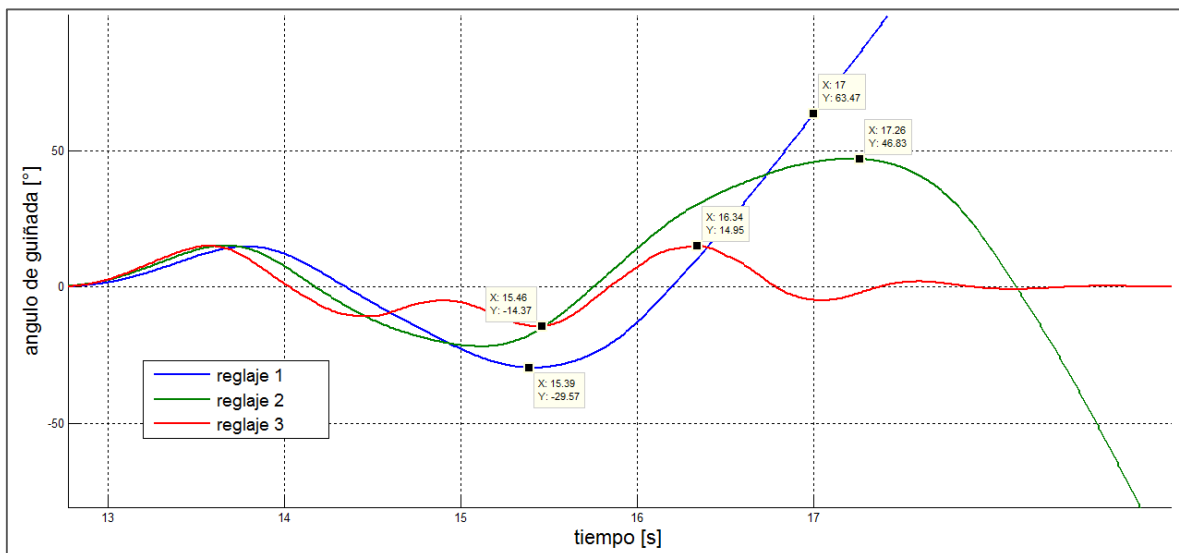


Figura 4.14 Ángulo de guiñada vs tiempo (Simulación a 80 km/h)

En la Figura 4.14 se muestra el ángulo de guiñada que experimenta el vehículo en la prueba del alce. Para el reglaje 3 el ángulo mínimo de guiñada es de -14,37 °, y el ángulo máximo de guiñada es de 14,95 °.

4.3.2.2 PRUEBA DE ACELERACIÓN Y FRENADO, SIMULACIÓN A 80 km/h

Para el reglaje 1 el tiempo de frenado es de 4,47 s, para el reglaje 2 el tiempo de frenado es de 4,45 s, y para el reglaje 3 el tiempo de frenado es de 4,89 s. En esta prueba el reglaje más eficiente es el reglaje 2 que permite detener al vehículo en el menor tiempo.

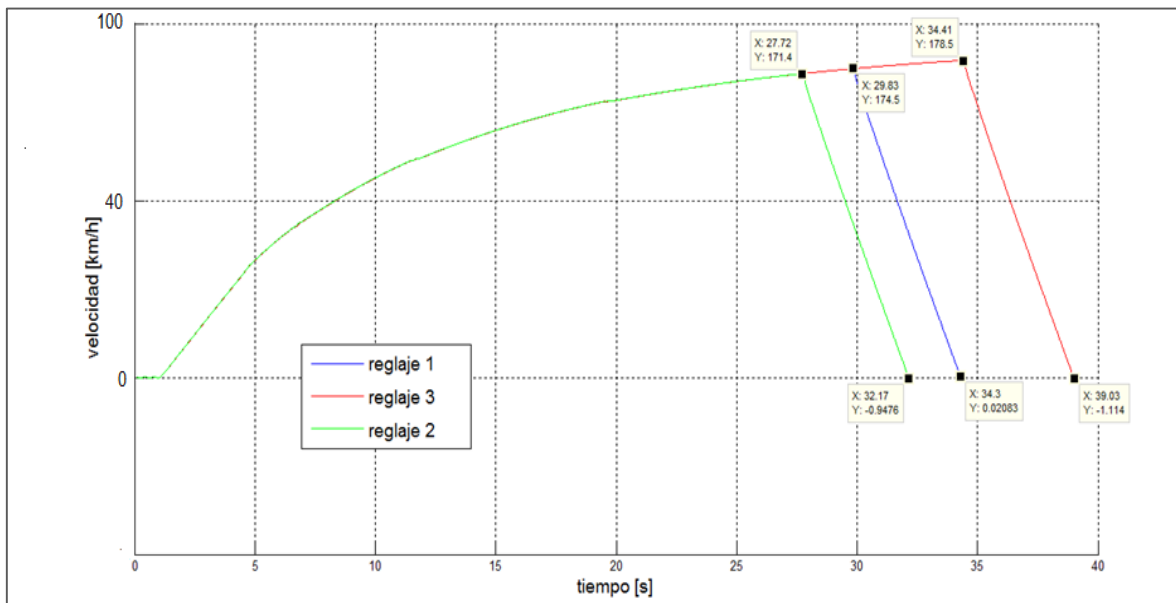


Figura 4.15 Velocidad vs tiempo (Simulación a 80 km/h)

Las distancias de recorrido y frenado de la prueba con los reglajes diferentes se muestran en la Tabla 4.1 que se presenta a continuación. Para calcular las distancias se utiliza la Ecuación 4.1 de Movimiento Rectilíneo Uniformemente Variado:

Tabla 4.3 Distancias de recorrido y frenado (Simulación a 80 km/h)

Reglaje	Tiempo de prueba [s]	Velocidad [m/s]	Tiempo de desaceleración [s]	Distancia de recorrido [m]	Distancia de frenado [m]
1	29,83	22,22	4,47	331,41	49,66
2	27,72	22,22	4,45	607,965	49,435
3	34,41	22,22	4,89	382,295	54,325

Cuando el vehículo alcanza los 80 km/h en la prueba, la distancia que recorre hasta detenerse utilizando el reglaje 1 es de 49,66 m, la distancia utilizando el reglaje 2 es de 49,435 m, y utilizando el reglaje 3 es de 54,325 m, siendo la distancia del reglaje 1 la menor de los 3 reglajes.

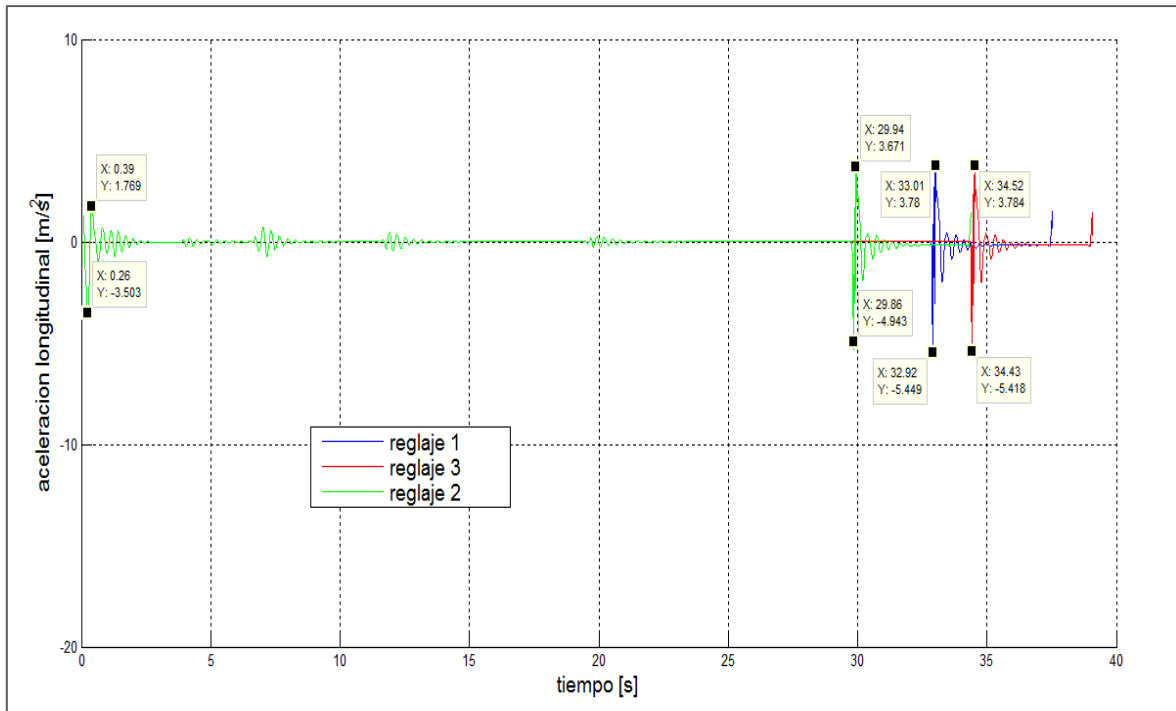


Figura 4.16 Aceleración longitudinal vs tiempo (Simulación a 80 km/h)

En la Figura 4.16 se muestra la gráfica de la aceleración longitudinal en función del tiempo de la simulación de la prueba de aceleración y frenado con una velocidad de 80 km/h.

Tabla 4.4 Aceleraciones longitudinales máximas (Simulación a 80 km/h)

Reglaje	Tiempo [s]	Aceleración longitudinal máxima [m/s ²]	
		Rueda derecha	Rueda izquierda
1	32,92	5,44	3,78
2	29,86	4,94	3,67
3	34,43	5,41	3,78

La Tabla 4.4 muestra las aceleraciones longitudinales máximas que experimentan las ruedas en la simulación de la prueba de aceleración y frenado con los 3 reglajes diferentes cuando el vehículo alcanza una velocidad de 80 km/h.

4.4 RESULTADOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS AIM

Los resultados que se presentan en la siguiente sección, pertenecen a los valores obtenidos en la adquisición de datos del equipo AIM implementado en el vehículo, cabe recalcar que las pruebas realizadas en el vehículo únicamente se ejecutan utilizando el reglaje 3.

4.4.1 PRUEBA DEL ALCE, AIM

La Figura 4.17 muestra la trayectoria trazada por el vehículo en la prueba del alce ejecutada por el vehículo en el autódromo con 3 velocidades diferentes. El vehículo cumple satisfactoriamente la prueba del alce con las 3 velocidades previamente establecidas

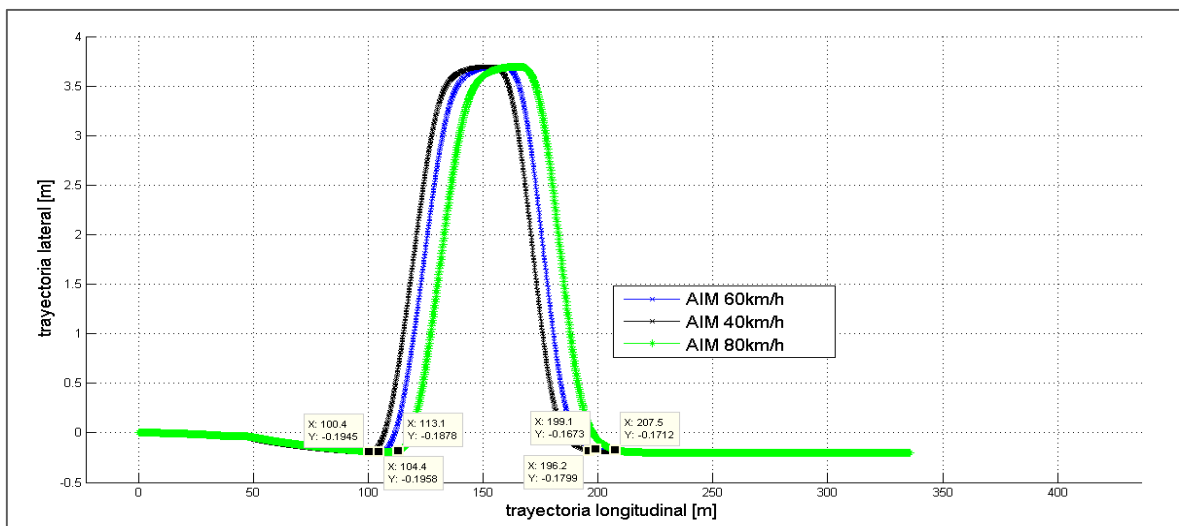


Figura 4.17 Trayectoria lateral vs trayectoria longitudinal (AIM)

En la gráfica anterior no se presentan diferencias en cuanto valores puesto que la prueba, recorre la misma trayectoria para las 3 velocidades.

La Figura 4.18 indica el ángulo de giro del volante durante las pruebas en pista para las 3 velocidades diferentes con que se ejecuta la prueba. En la Figura 4.18 se puede observar que entre las pruebas a 40 y 60 km/h existe una gran similitud en los valores máximos mínimos.

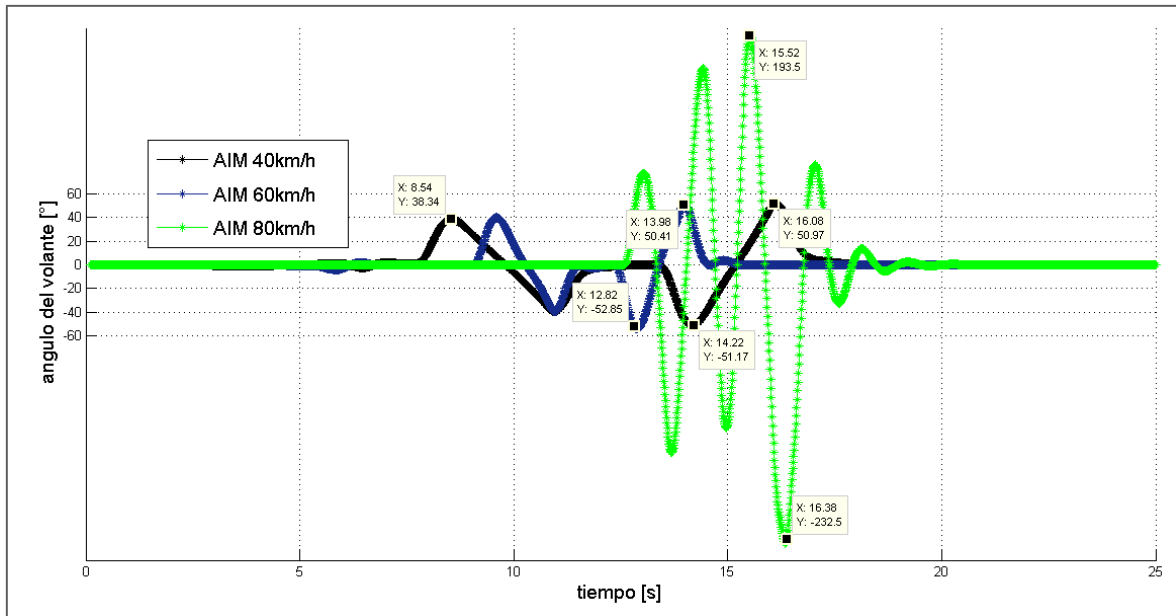


Figura 4.18 Ángulo del volante vs tiempo (AIM)

En la prueba realizada a 40 km/h los valores máximos de ángulo de giro del volante son de $50,97^\circ$ en sentido anti horario y $-51,17$ en sentido horario. En la prueba realizada con velocidad de 60 km/h los valores máximos de ángulo de giro del volante son de $50,41^\circ$ en sentido anti horario y $-52,85^\circ$ en sentido horario. Existe una amplia diferencia para los valores de la prueba ejecutada a 80 km/h, mismos que son $193,5^\circ$ de giro en sentido anti horario y $-232,5^\circ$ de giro en sentido horario.

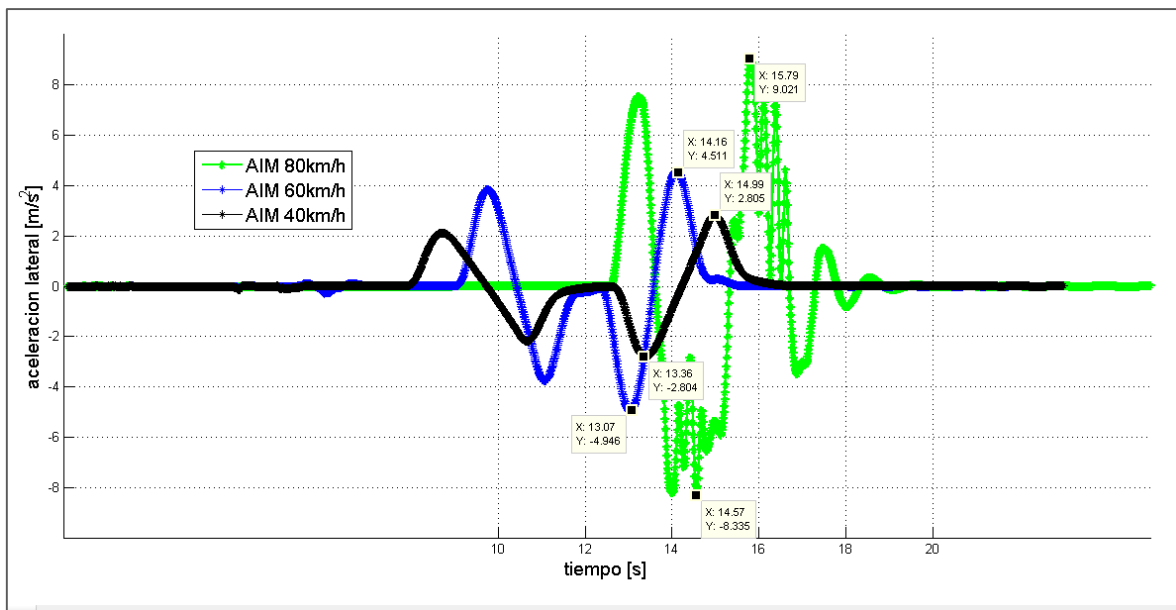


Figura 4.19 Aceleración lateral vs tiempo (AIM)

En la Figura 4.19 se muestra la aceleración lateral que soporta el vehículo durante la prueba del alce con las 3 velocidades diferentes. Cuando la prueba del alce se realiza a 40 km/h, los valores máximos de aceleración lateral están dados por $2,805 \text{ m/s}^2$ y $-2,804 \text{ m/s}^2$. Cuando la prueba se realiza a 60 km/h, los valores máximos de aceleración lateral, están dados por $4,511 \text{ m/s}^2$ y $-4,946 \text{ m/s}^2$. Cuando la prueba se realiza a 80 km/h, los valores máximos de aceleración lateral son de $9,021 \text{ m/s}^2$ y $-8,335 \text{ m/s}^2$.

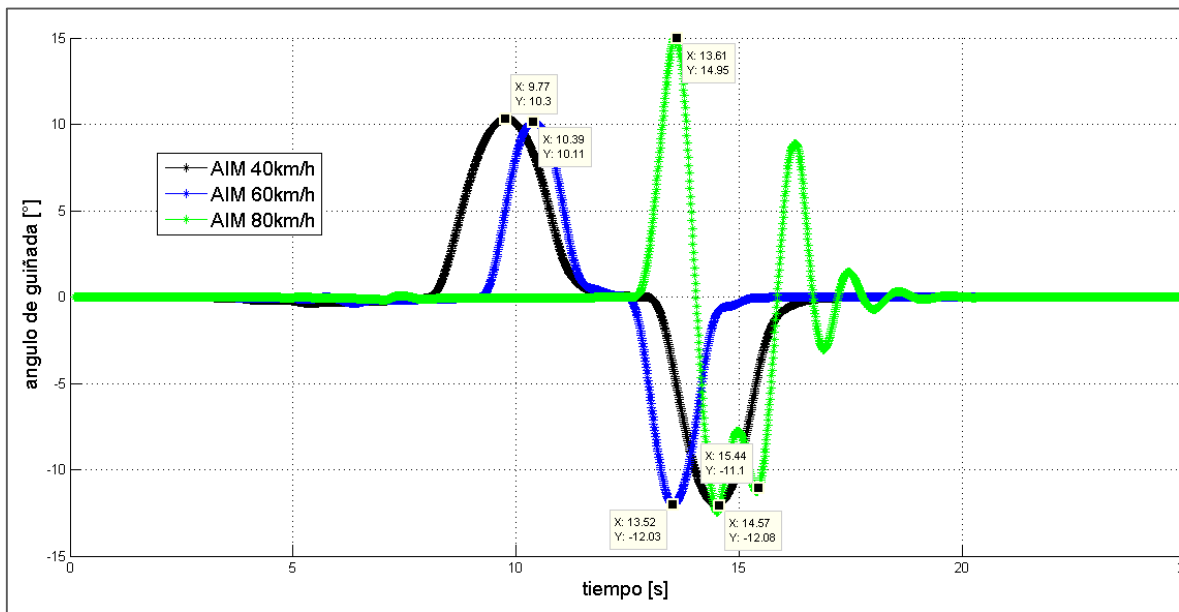


Figura 4.20 Ángulo de guiñada vs tiempo (AIM)

El ángulo de guiñada que experimenta el vehículo en la prueba del alce está representado en la Figura 4.20. Los ángulos máximos de guiñada para la prueba a 40 km/h son de $10,3^\circ$ y $-11,1^\circ$. El ángulo máximo de guiñada para la prueba a 60 km/h es de $10,11^\circ$ y $-12,03^\circ$. Para la prueba a 80 km/h, los ángulos máximos de guiñada son de $14,95^\circ$ y $-12,08^\circ$.

4.4.2 PRUEBA DE ACELERACIÓN Y FRENADO, AIM

Esta prueba se lleva a cabo para velocidades de 60 y 80 km/h, se excluye la velocidad de 40 km/h debido a que los resultados obtenidos con esta velocidad son despreciables. El valor que se obtiene en las siguientes gráficas a mostrar es la distancia de extensión de los potenciómetros lineales instalados en los amortiguadores del vehículo.

4.4.2.1 PRUEBA DE ACELERACIÓN Y FRENADO, AIM A 60 km/h

En la Figura 4.21 se muestra la extensión de los potenciómetros en aceleración cuando el vehículo alcanza una velocidad máxima de 60 km/h. La extensión máxima del potenciómetro derecho es de 15 mm y del potenciómetro izquierdo es de 12 mm.

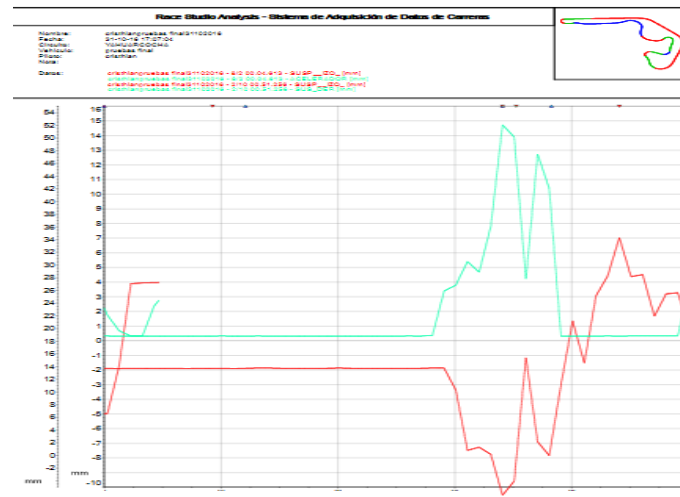


Figura 4.21 Extensión de potenciómetros en acelerada (AIM a 60 km/h)

En la Figura 4.22 se muestra la extensión de los potenciómetros en frenado cuando el vehículo alcanza una velocidad máxima de 60 km/h. La extensión máxima del potenciómetro derecho es de 12 mm y del potenciómetro izquierdo es de 8 mm.

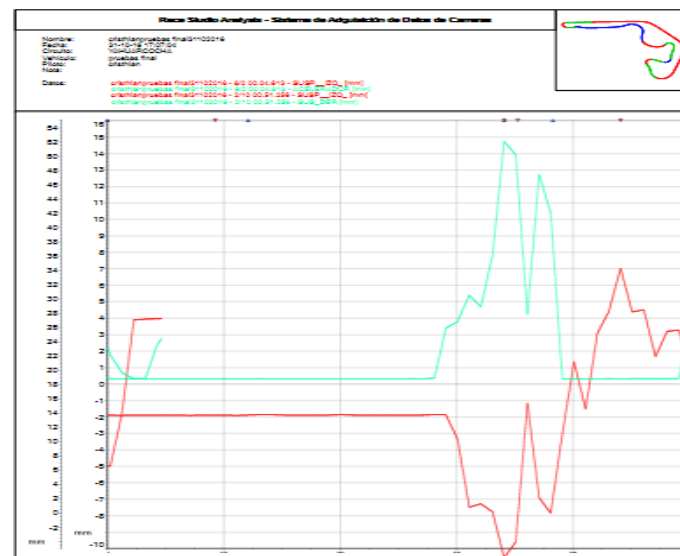


Figura 4.22 Extensión de potenciómetros en frenada (AIM a 60 km/h)

4.4.2.2 PRUEBA DE ACELERACIÓN Y FRENADO, AIM A 80 km/h

En la Figura 4.23 se muestra la extensión de los potenciómetros en aceleración cuando el vehículo alcanza una velocidad máxima de 80 km/h. La extensión máxima del potenciómetro derecho es de 32 mm y del potenciómetro izquierdo es de 28 mm.

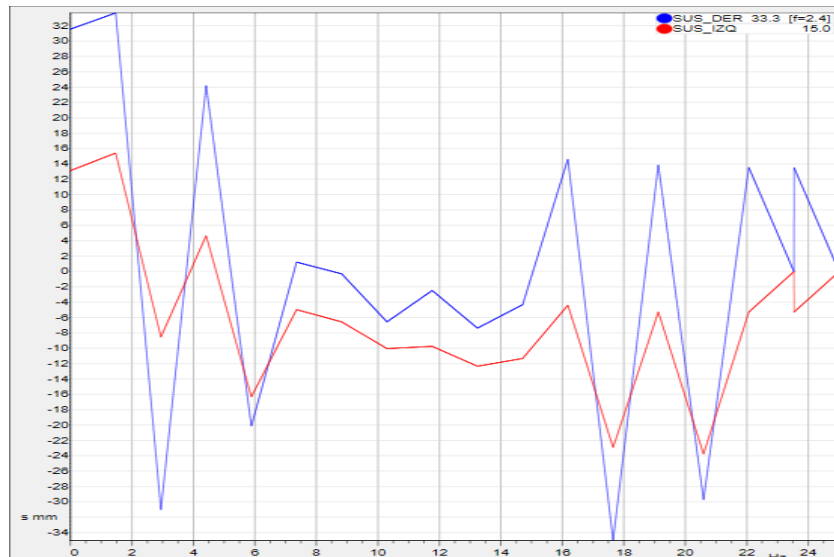


Figura 4.23 Extensión de potenciómetros en acelerada (AIM a 80 km/h)

En la Figura 4.24 se muestra la extensión de los potenciómetros en frenado cuando el vehículo alcanza una velocidad máxima de 80 km/h. La extensión máxima del potenciómetro derecho es de 30 mm y del potenciómetro izquierdo es de 34 mm.

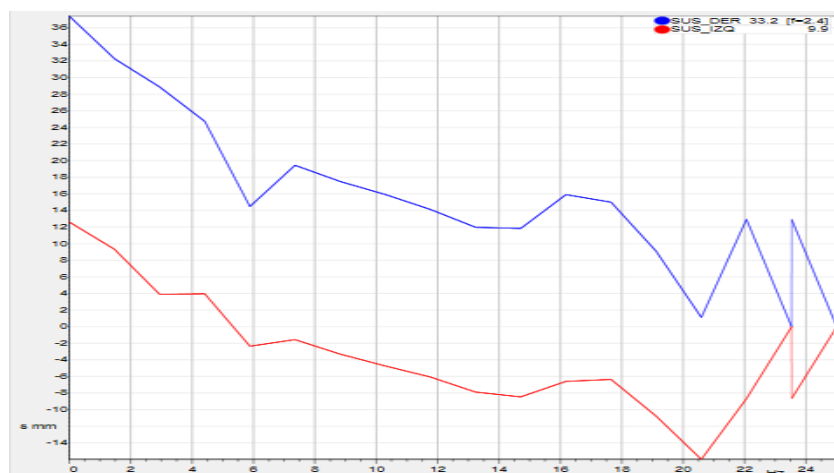


Figura 4.24 Extensión de potenciómetros en frenada (AIM a 80 km/h)

4.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

En la siguiente sección se comparan los resultados obtenidos en la simulación con los resultados obtenidos de las pruebas en pista, ambos con el sistema de suspensión del vehículo configurado con el reglaje 3.

4.5.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS A 40 km/h

Tanto la simulación como la ejecución real de las pruebas realizadas con una velocidad de 40 km/h concluyeron con éxito. En las siguientes gráficas se presenta la comparación entre la prueba real dibujada en color negro y la simulación de la prueba en color rojo. Para la velocidad de 40 km/h, se descartó la prueba de aceleración y frenado debido a que se consideran irrelevantes los resultados obtenidos en esta prueba.

4.5.1.1 PRUEBA DEL ALCE, COMPARACIÓN A 40 km/h

La Figura 4.25 muestra la comparación entre la trayectoria dibujada sobre el terreno por el vehículo al ejecutar la prueba del alce a una velocidad de 40 km/h.

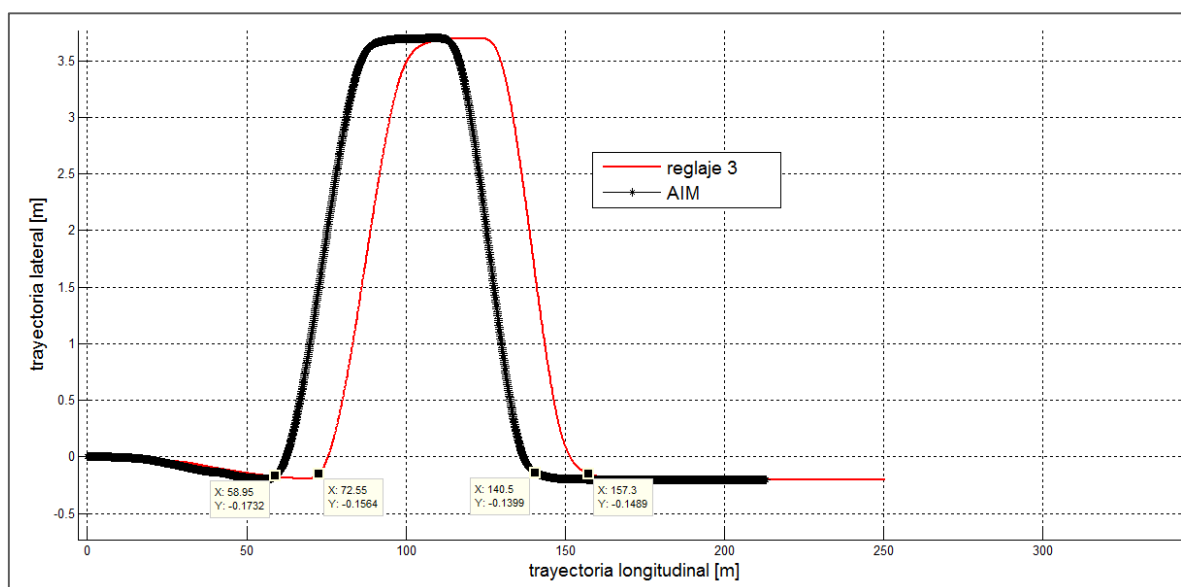


Figura 4.25 Trayectoria lateral vs trayectoria longitudinal (40 km/h)

En la figura 4.26 se representa la comparación del ángulo de giro del volante entre la prueba del alce real y la simulación cuando el vehículo alcanza 40 km/h. En la gráfica se observa que el piloto del vehículo en la prueba real tarda aproximadamente 2 segundos en la maniobra de regreso a la trayectoria central, respecto a la simulación en el software VeDyna.

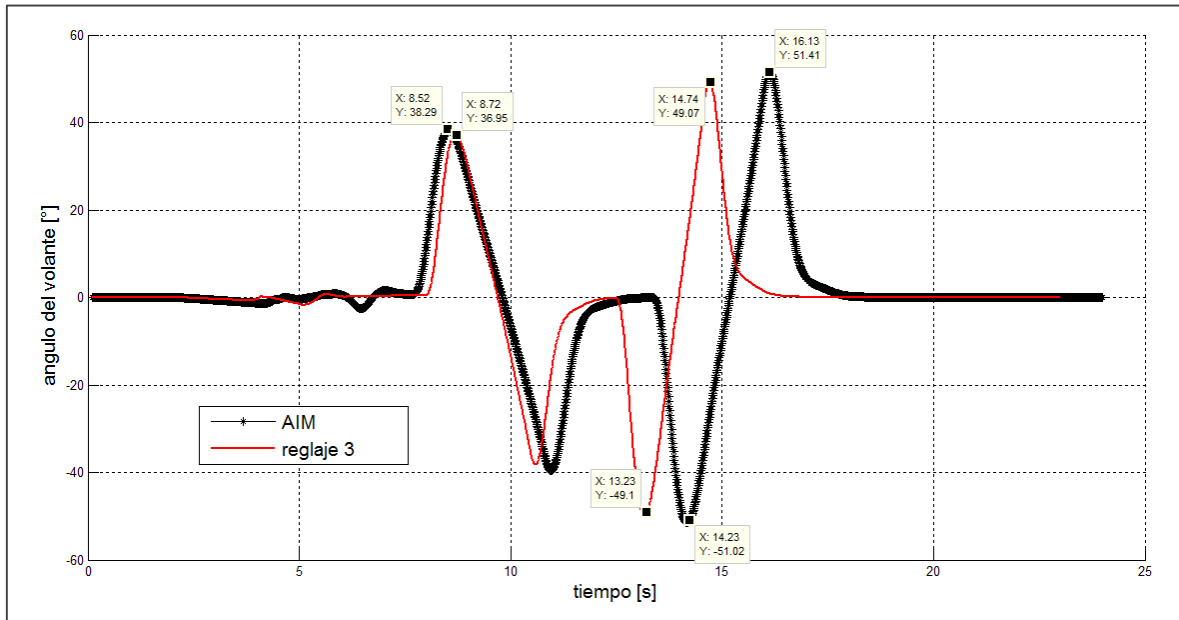


Figura 4.26 Ángulo del volante vs tiempo (40 km/h)

En la Figura 4.27 está representada la comparación de las aceleraciones laterales experimentadas por el vehículo durante la prueba del alce a una velocidad de 40 km/h.

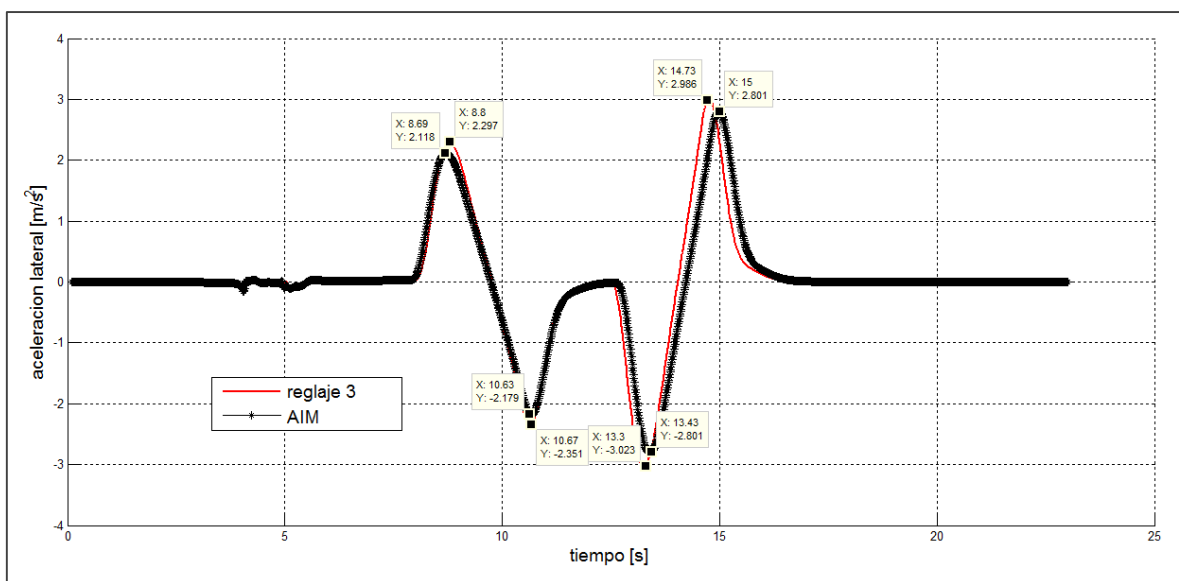


Figura 4.27 Aceleración lateral vs tiempo (40 km/h)

Existe una diferencia mínima respecto al tiempo en el ángulo de guiñada entre la prueba del alce real ejecutada en la pista y la simulación de dicha prueba cuando el vehículo se moviliza a una velocidad de 40 km/h, misma que se muestra a continuación en la Figura 4.28.

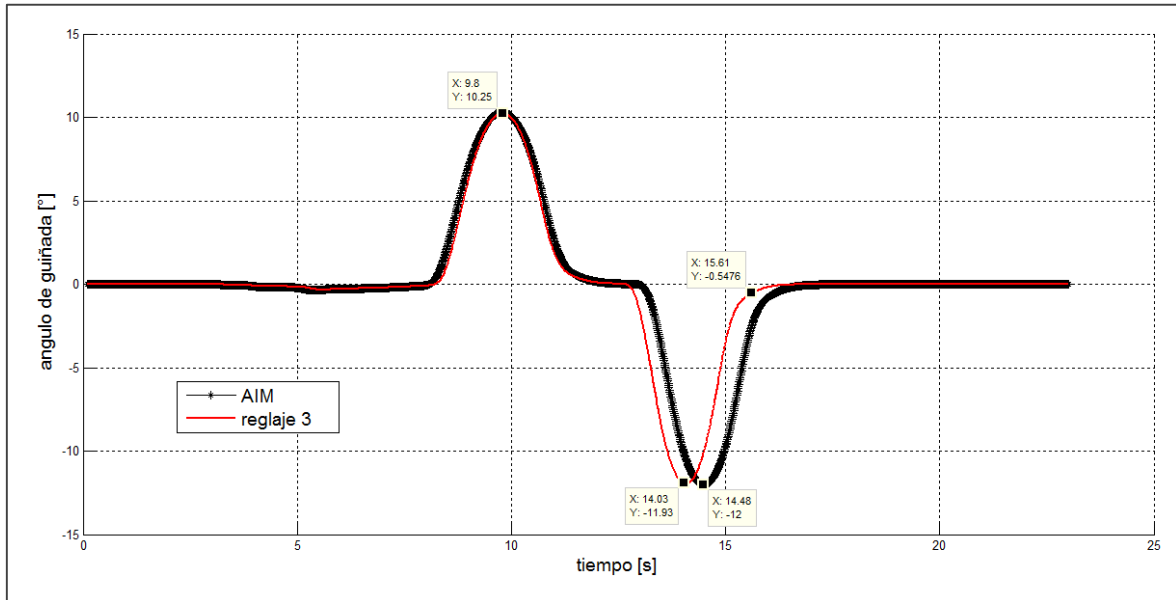


Figura 4.28 Ángulo de guiñada vs tiempo (40 km/h)

4.5.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS A 60 km/h

La simulación y la ejecución real de las pruebas realizadas con una velocidad de 60 km/h concluyeron con éxito. De igual manera que en las gráficas anteriores, en las siguientes gráficas se presenta la prueba real dibujada en color negro y la simulación de la prueba en color rojo. Para la velocidad de 60 km/h, se considera realizar la prueba del alce y la prueba de aceleración y frenado que determinan el comportamiento del sistema de suspensión del vehículo Corsa Sport.

4.5.2.1 PRUEBA DEL ALCE, COMPARACIÓN A 60 km/h

La Figura 4.29 muestra la comparación entre la trayectoria dibujada sobre el terreno por el vehículo al ejecutar la prueba del alce a una velocidad de 60 km/h.

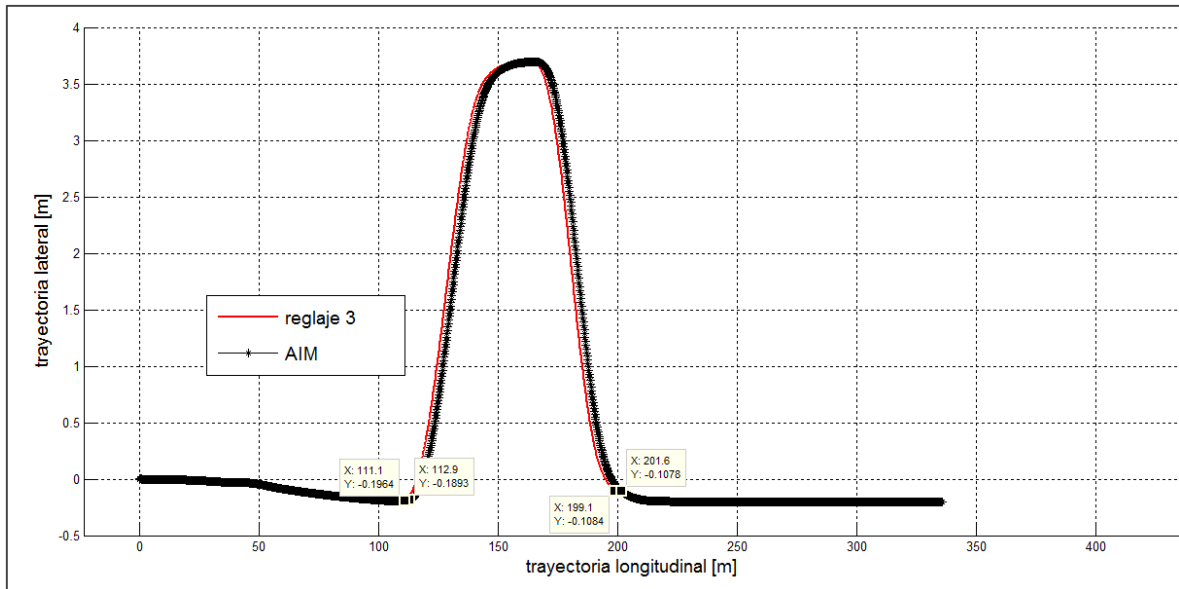


Figura 4.29 Trayectoria lateral vs trayectoria longitudinal (60 km/h)

En la figura 4.30 se representa la comparación del ángulo de giro del volante entre la prueba del alce real y la simulación cuando el vehículo alcanza 60 km/h. En la gráfica se observa que el piloto del vehículo en la prueba real se adelanta aproximadamente 1 segundo en la maniobra de evasión, respecto a la simulación en el software VeDyna.

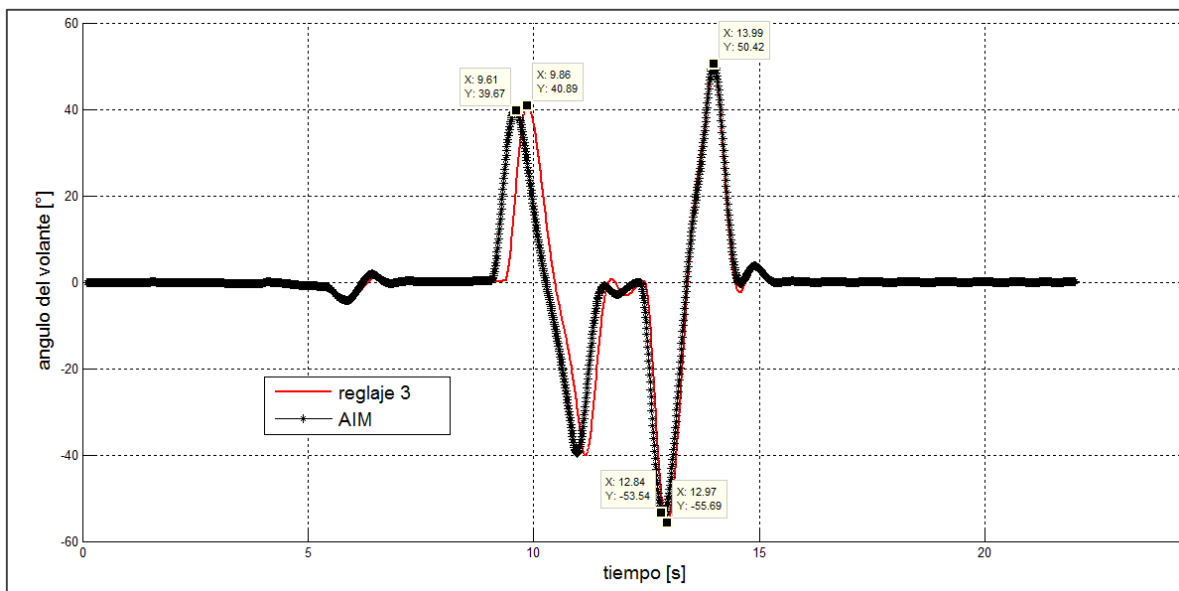


Figura 4.30 Ángulo del volante vs tiempo (60 km/h)

En la Figura 4.31 está representada la comparación de las aceleraciones laterales experimentadas por el vehículo durante la prueba del alce a una velocidad de 60 km/h.

Las aceleraciones laterales en la simulación son levemente superiores a las aceleraciones de la prueba real, debido a los factores aerodinámicos que no se consideran para la simulación, indicando una maniobra un poco más agresiva en la simulación.

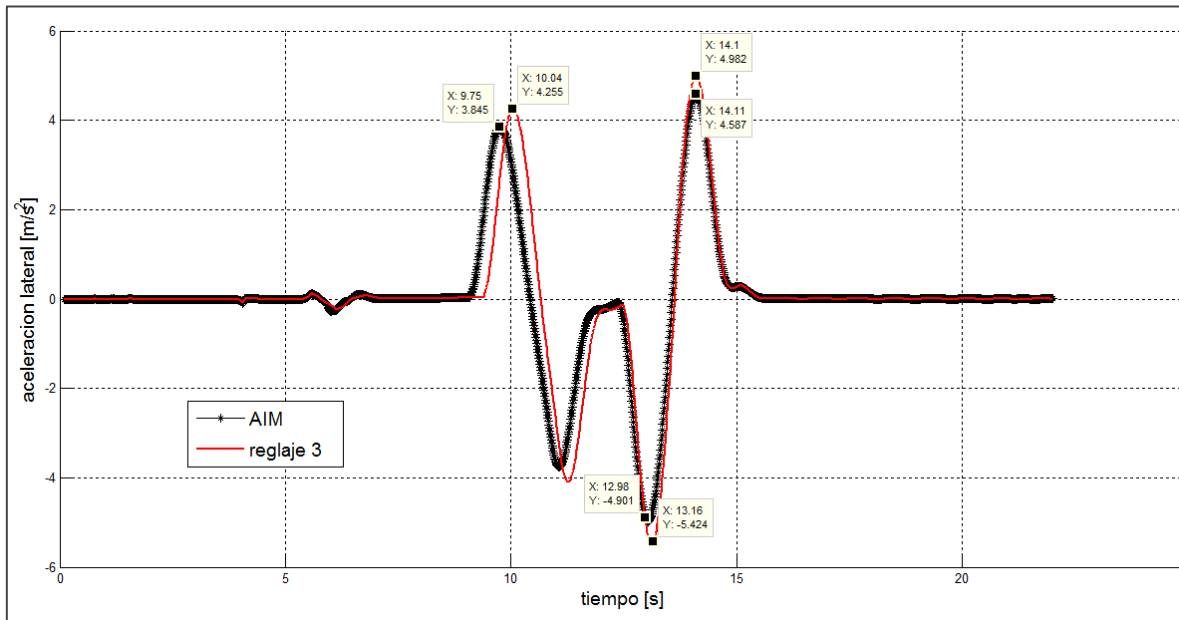


Figura 4.31 Aceleración lateral vs tiempo (60 km/h)

Existe una diferencia mínima respecto al tiempo en el ángulo de guiñada entre la prueba del alce real ejecutada en la pista y la simulación de dicha prueba cuando el vehículo se moviliza a una velocidad de 60 km/h, misma que se muestra a continuación en la Figura 4.32.

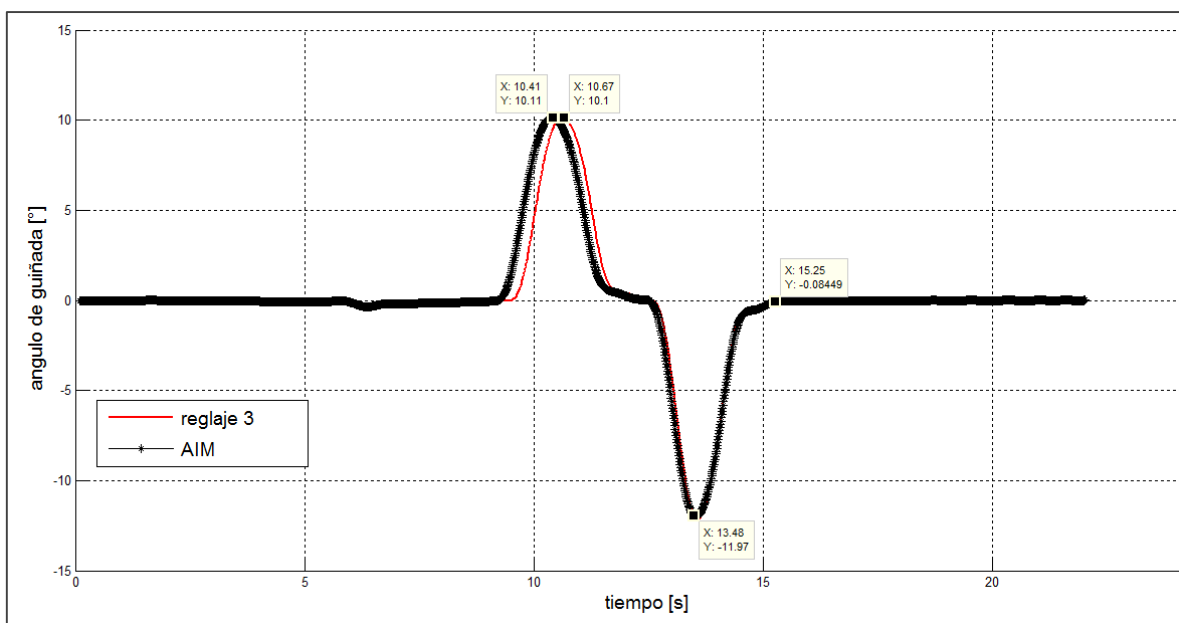


Figura 4.32 Ángulo de guiñada vs tiempo (60 km/h)

4.5.2.2 PRUEBA DE ACELERACIÓN Y FRENADO, A 60 km/h

En la Figura 4.33 se indica la comparación de velocidad versus tiempo entre la prueba de aceleración y frenado real y la simulación de dicha prueba. Los picos negativos que se muestran en la gráfica de comparación representan a la reducción de velocidad experimentada por el vehículo al cambiar la relación de la caja de transmisión. Se asume que la simulación considera un vehículo de transmisión automática debido a que no se presenta el mismo fenómeno en la línea de color rojo que representa a la simulación.

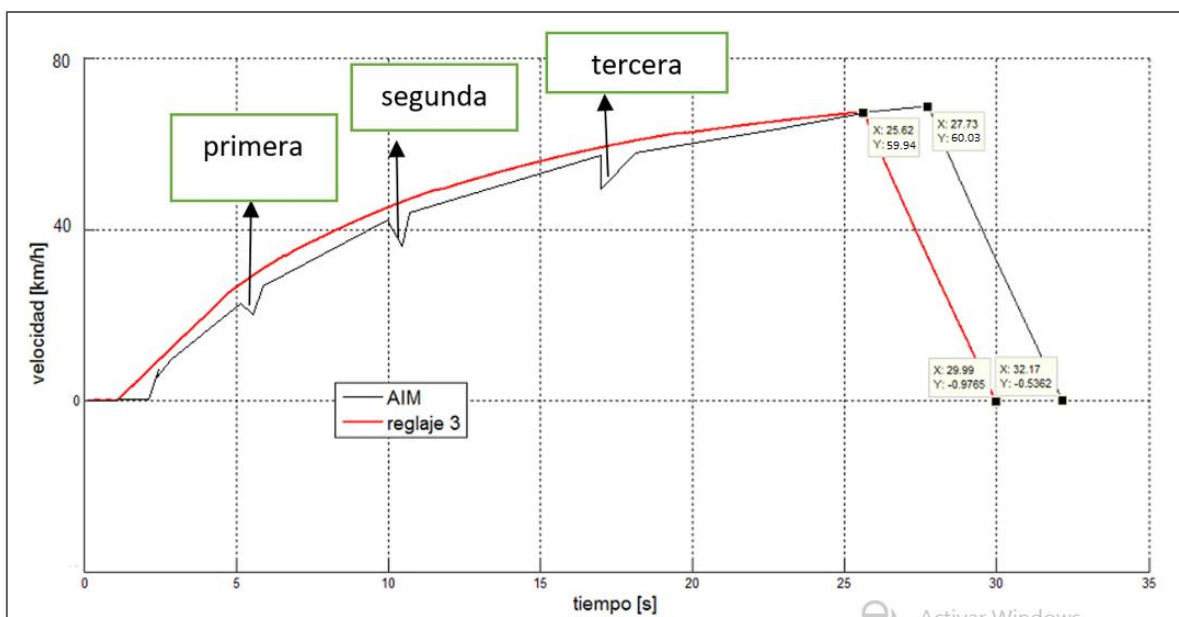


Figura 4.33 Velocidad vs tiempo (60 km/h)

Considerando que los 60 km/h de la prueba equivalen a 16,66 m/s, se procede a la realización de a Tabla 4.5, donde se tienen los siguientes resultados:

Tabla 4.5 Valores de distancia de la prueba de aceleración y frenado a 60 km/h

	Tiempo de prueba [s]	Velocidad [m/s]	Tiempo de deceleración [s]	Distancia de recorrido[m]	Distancia de frenado [m]
AIM 60 km/h	32,17	16,66	4,44	535,95	73,97
Reglaje 3	29,96	16,66	4,34	499,13	72,30

Mediante el análisis de los resultados adquiridos en la simulación y en la prueba real en pista, se establece que existe un 93.12 % de efectividad en la prueba versus la simulación.

En la Figura 4.34 se muestra la comparación de aceleración longitudinal versus tiempo, entre la prueba de aceleración y frenado real y la simulación de dicha prueba. Los picos que se muestran en la gráfica de comparación representan a la reducción de velocidad experimentada por el vehículo al cambiar la relación de la caja de transmisión. Se asume que la simulación considera un vehículo de transmisión automática debido a que no se presenta el mismo fenómeno en la línea de color rojo que representa a la simulación.

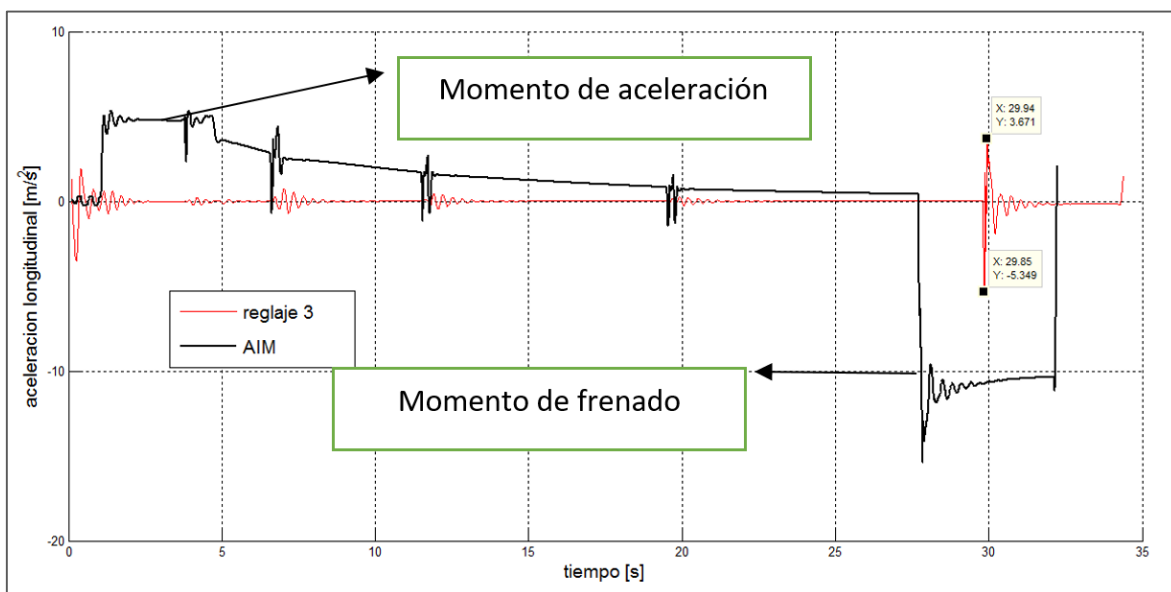


Figura 4.34 Aceleración longitudinal vs tiempo

Teniendo en cuenta los valores de la gráfica comparativa de aceleración longitudinal vs el tiempo, con una aceleración máxima de 3.67 m/s^2 y una desaceleración máxima de 5.34 m/s^2 en la simulación, mientras que en la prueba en pista una aceleración máxima de 8.57 m/s^2 y una desaceleración máxima de 14.56 m/s^2 , representados en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Valores de aceleración de la prueba de aceleración y frenado a 60 km/h

	Tiempo de prueba [s]	Aceleración longitudinal [m/s^2]	
		Derecha	Izquierda
AIM 60 km/h	27	8,50	2,25
	6	12,55 a 0	2,44 a 0
Reglaje 3	35	5,67	5,67
	8	5,34 a 0	5,34 a 0

4.5.3 RESULTADOS A 80 km/h

La simulación y la ejecución real de las pruebas realizadas con una velocidad de 80 km/h concluyeron con éxito. De igual manera que en las gráficas anteriores, en las siguientes gráficas se presenta la prueba real dibujada en color negro y la simulación de la prueba en color rojo. Para la velocidad de 80 km/h, se considera realizar la prueba del alce y la prueba de aceleración y frenado que determinan el comportamiento del sistema de suspensión del vehículo Corsa Sport.

4.5.3.1 PRUEBA DEL ALCE, A 80 km/h

La Figura 4.35 muestra la comparación entre la trayectoria dibujada sobre el terreno por el vehículo al ejecutar la prueba del alce a una velocidad de 80 km/h.

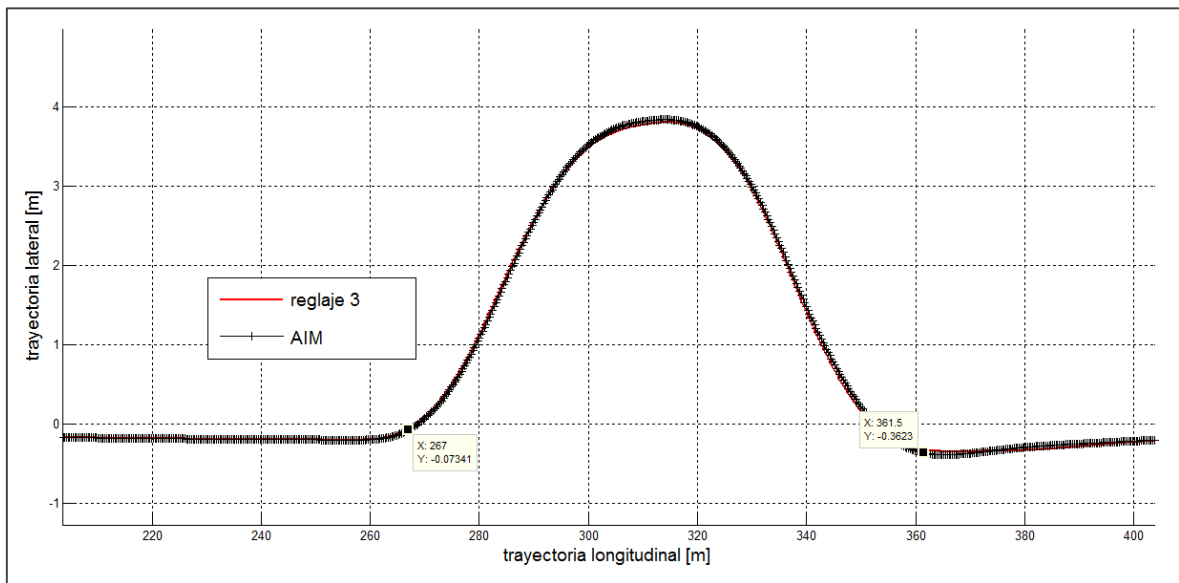


Figura 4.35 Trayectoria lateral vs trayectoria longitudinal (80 km/h)

En la figura 4.36 se representa la comparación del ángulo de giro del volante entre la prueba del alce real y la simulación cuando el vehículo alcanza 80 km/h. En la gráfica se observa que el piloto del vehículo en la prueba real se adelanta aproximadamente 1 segundo en la maniobra de evasión, respecto a la simulación en el software VeDyna.

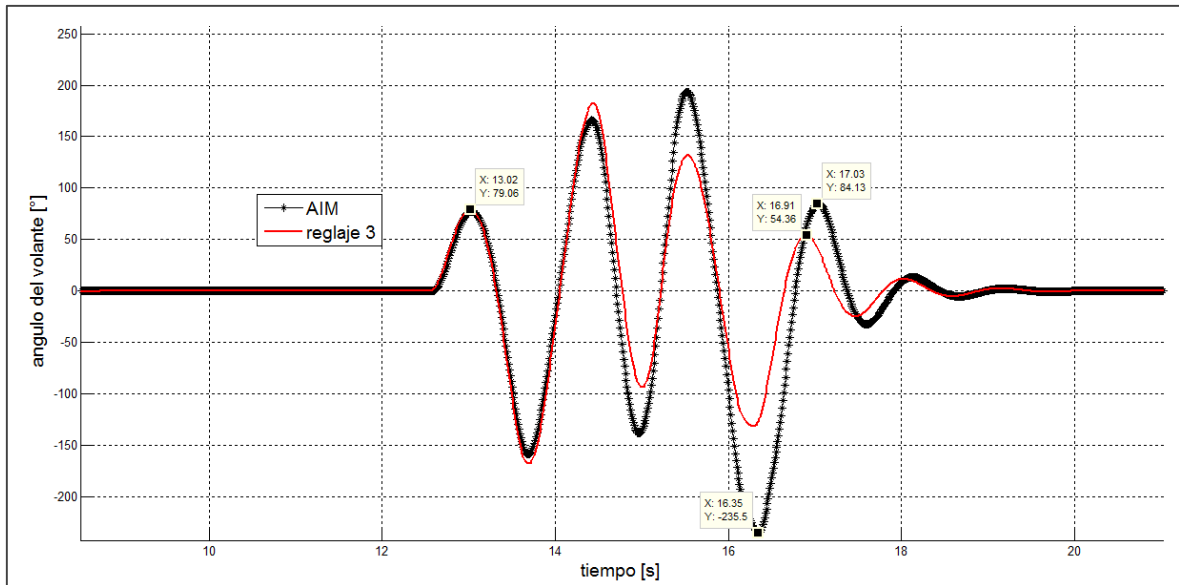


Figura 4.36 Ángulo del volante vs tiempo (80 km/h)

En la Figura 4.37 está representada la comparación de las aceleraciones laterales experimentadas por el vehículo durante la prueba del alce a una velocidad de 80 km/h. Las aceleraciones laterales en la simulación son levemente superiores a las aceleraciones de la prueba real, debido a los factores aerodinámicos que no se consideran para la simulación, indicando una maniobra un poco más agresiva en la simulación.

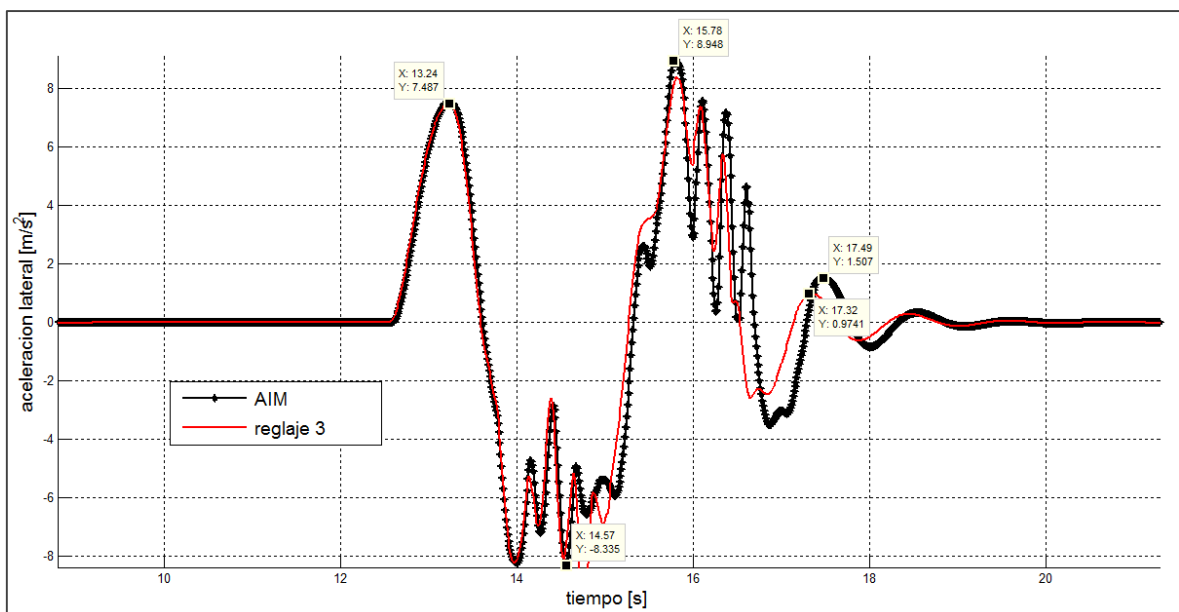


Figura 4.37 Aceleración lateral vs tiempo (80 km/h)

Existe una diferencia mínima respecto al tiempo en el ángulo de guiñada entre la prueba del alce real ejecutada en la pista y la simulación de dicha prueba cuando el vehículo se moviliza a una velocidad de 80 km/h, misma que se muestra a continuación en la Figura 4.38.

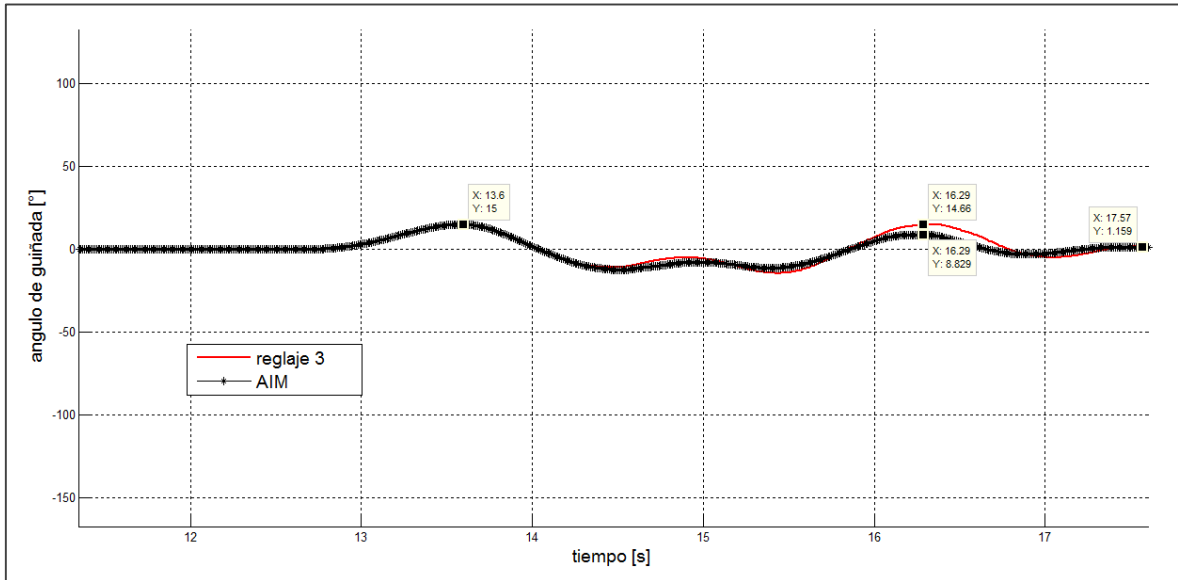


Figura 4.38 Ángulo de guiñada vs tiempo (80 km/h)

4.5.3.2 PRUEBA DE ACELERACIÓN Y FRENADO, A 80 km/h

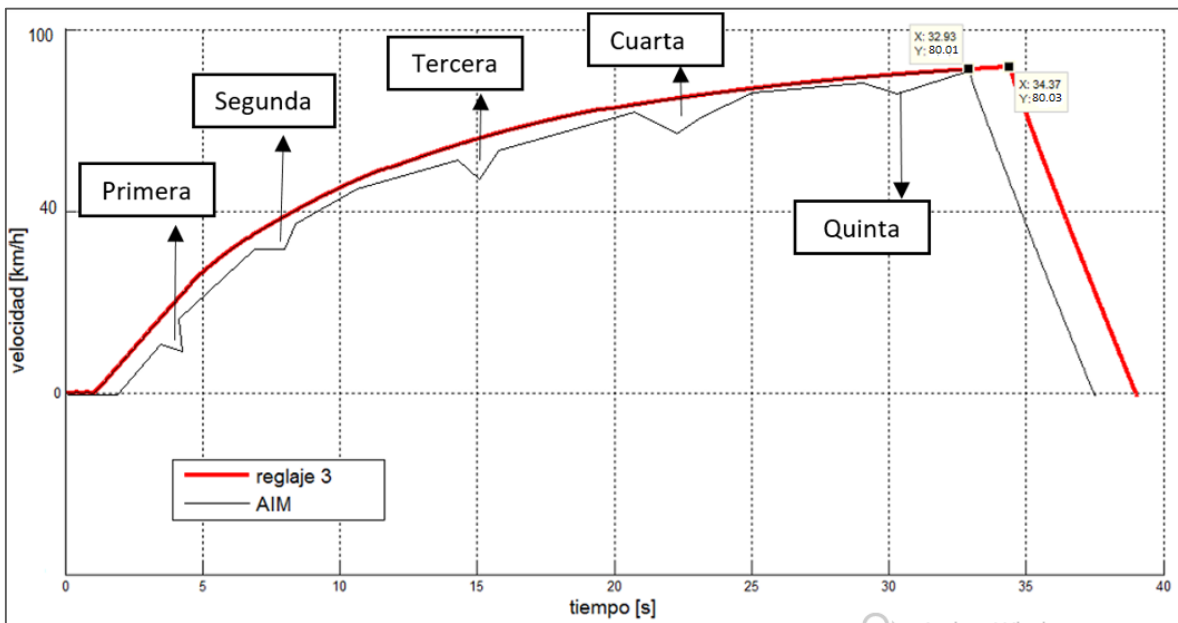


Figura 4.39 Velocidad vs tiempo (80 km/h)

En la Figura 4.39 se indica la comparación de velocidad versus tiempo entre la prueba de aceleración y frenado real y la simulación de dicha prueba. Los picos negativos que se muestran en la gráfica de comparación representan a la reducción de velocidad experimentada por el vehículo al cambiar la relación de la caja de transmisión. Se asume que la simulación considera un vehículo de transmisión automática debido a que no se presenta el mismo fenómeno en la línea de color rojo que representa a la simulación.

Considerando que los 80 km/h de la prueba equivalen a 22,22 m/s, se procede a la realización de a Tabla 4.7, donde se tienen los siguientes resultados:

Tabla 4.7 Valores de distancia de la prueba de aceleración y frenado a 60 km/h

	Tiempo de prueba [s]	Velocidad [m/s]	Tiempo de deceleración [s]	Distancia de recorrido[m]	Distancia de frenado [m]
AIM 80 km/h	32,93	22,22	4,07	731,70	90,43
Reglaje 3	34,41	22,22	4,89	764,59	108,65

Mediante el análisis de los resultados adquiridos en la simulación y en la prueba real en pista, se establece que existe un 93.12 % de efectividad en la prueba versus la simulación.

En la Figura 4.40 se muestra la comparación de aceleración longitudinal versus tiempo, entre la prueba de aceleración y frenado real y la simulación de dicha prueba. Los picos que se muestran en la gráfica de comparación representan a la reducción de velocidad experimentada por el vehículo al cambiar la relación de la caja de transmisión. Se asume que la simulación considera un vehículo de transmisión automática debido a que no se presenta el mismo fenómeno en la línea de color rojo que representa a la simulación.

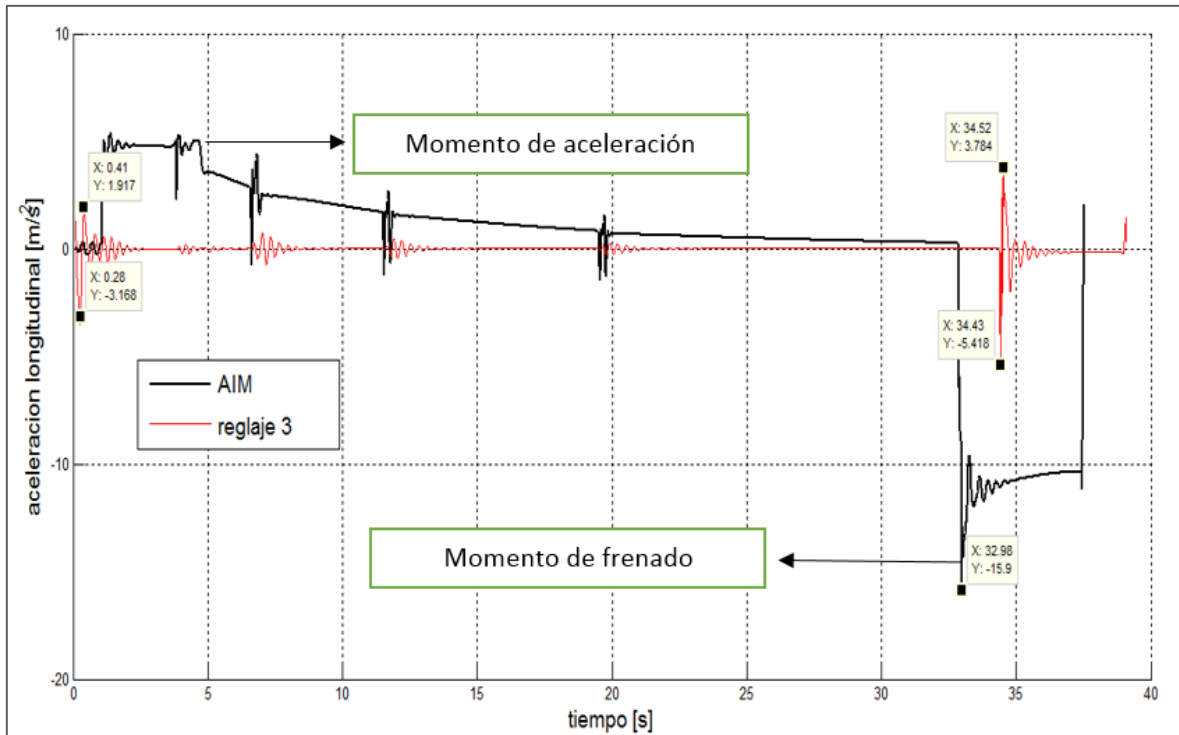


Figura 4.40 Aceleración longitudinal vs tiempo (80 km/h)

Teniendo en cuenta los valores de la gráfica comparativa de aceleración longitudinal vs el tiempo, con una aceleración máxima de 3.67 m/s^2 y una desaceleración máxima de 5.34 m/s^2 en la simulación, mientras que en la prueba en pista una aceleración máxima de 8.57 m/s^2 y una desaceleración máxima de 14.56 m/s^2 , representados en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8 Valores de aceleración de la prueba de aceleración y frenado a 80 km/h

	Tiempo de prueba [s]	Aceleración longitudinal [m/s^2]	
		Derecha	Izquierda
AIM 80 km/h	27	15,9	2,25
	6	15,9 a 0	2,25 a 0
Reglaje 3	34,43	5,41	5,41
	4,25	5,41 a 0	5,41 a 0

4.6 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Resultados de las evaluaciones comparativas mediante simulaciones y pruebas en pista.

Estos valores especificados y detallados son de la prueba de maniobra evasiva o prueba del alce.

Tabla 4.9 Resultados de la simulación y pruebas en pista

Pruebas en pista, prueba de maniobra evasiva														
ACELERACIÓN LATERAL Y GIRO DEL VOLANTE		Velocidad 40km/h				Velocidad 60km/h				Velocidad 80km/h				Frenos
		a.l. m/s ²	t segundos	g.v. grados	p.p. milímetros	a.l. m/s ²	t segundos	g.v. grados	p.p. milímetros	a.l. m/s ²	t segundos	g.v. grados	p.p. milímetros	
ACELERACIÓN LATERAL Y GIRO DEL VOLANTE	R1	2.57	14.56s	-62°, +61°	++42,42.3	4.55	15s	-66°, +62°	-42.5, +42.4	0	16s	0°	-33.2, +42.6	200bar
	R2	2.60	14.56s	-61°, +61°	++42,42.3	4.59	15s	-60°, +69°	-42.5, +42.4	0	16s	0°	-33.2, +42.6	200bar
	R3	2.57	14.56s	-61°, +60	++42,42.3	4.54	15s	-65°, +62°	-42.5, +42.4	6.8	16s	-79°, +74°	-33.2, +42.6	200bar
	AIM4	3.61	14s	-55°, +59°	++42,42.3	5.67	14s	-55°, +42°	-42.5, +42.4	8.27	15.5s	-82°, +87°	-33.2, +42.6	200bar
Simulación VeDyna, prueba de maniobra evasiva														
ACELERACIÓN LATERAL Y GIRO DEL VOLANTE		Velocidad 40km/h				Velocidad 60km/h				Velocidad 80km/h				Frenos
		a.l. m/s ²	T segundos	g.v. grados	p.p. milímetros	a.l. m/s ²	t segundos	g.v. grados	p.p. milímetros	a.l. m/s ²	t segundos	g.v. grados	p.p. milímetros	
ACELERACIÓN LATERAL Y GIRO DEL VOLANTE	R1	2.57	14.56s	-62°, +61°	0	4.55	15s	-66°, +62°	0	0	16s	0°	0	200bar
	R2	2.60	14.56s	-61°, +61°	0	4.59	15s	-60°, +69°	0	0	16s	0°	0	200bar
	R3	2.57	14.56s	-61°, +60	0	4.54	15s	-65°, +62°	0	6.8	16s	-79°, +74°	0	200bar

Los análisis realizados en la Tabla 4.1, en donde se toma en cuenta los valores y siglas representadas que son las siguientes:

Teniendo en cuenta los valores de aceleraciones laterales, ángulos del volante, distancia de recorrido del potenciómetro lineal y los valores de las simulaciones realizadas en comparación de las pruebas en pista se tiene un límite de error aproximado de 3 %, debido a la aerodinámica del vehículo, acción y reacción del piloto.

Tabla 4.10 Prueba de aceleración y frenado

Pruebas en pista, prueba de aceleración y frenado										
ÁNGULO DE GUIÑADA, VELOCIDAD DE GUIÑADA, ÁNGULO DE GIRO DEL VOLANTE		Velocidad 60km/h				Velocidad 80km/h				Frenos
		a.g. grados	t. segundos	g.v. grados	v.g. deg/s	a.g. grados	t. segundos	g.v. grados	v.g. deg/s	
	R1	0.09°	12s	1.15°	0.11	0.8°	22s	0.11	0.16	200bar
	R2	0.092°	12s	1°	0.10	0.86°	25s	0.10	0.18	200bar
	R3	0.01°	16s	1.30°	0.022	0.85°	26.5s	0.022	0.22	200bar
	AIM4	0.031	15s	1.47°	0.11	0.77°	22s	0.11	0.74	200bar
Simulación VeDyna, prueba de maniobra evasiva										
ÁNGULO DE GUIÑADA, VELOCIDAD DE GUIÑADA, ÁNGULO DE GIRO DEL VOLANTE		Velocidad 60km/h				Velocidad 80km/h				Frenos
		a.g. grados	t. segundos	g.v. grados	v.g. deg/s	a.g. grados	t. segundos	g.v. grados	v.g. deg/s	
	R1	0.09°	12s	1.15°	0.11	0.8°	22s	1.15°	0.16	200bar
	R2	0.092°	12s	1°	0.10	0.86°	25s	1°	0.18	200bar
	R3	0.01°	16s	1.30°	0.022	0.85°	26.5s	1.30°	0.22	200bar

La prueba de aceleración y frenado realizada a velocidades de 60 y 80 km/h , realizadas en el simulador y posteriormente las pruebas en pista, arrojaron los datos representados en la tabla 4.2, detallando de mejor manera las medidas generadas por las pruebas en el simulador y mediante estos datos, realizamos el análisis de las pruebas en pista mediante los equipos AIM, estableciendo según las comparativas en simulación y pruebas en pista para esta prueba la configuración del reglaje número 1, que nos brindó mayor estabilidad para las pruebas a realizarse

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES

- Llevando a cabo la investigación para el cumplimiento de los objetivos planteados, se recurrió a la adquisición de equipos pilotados, automatizados y fáciles de manipular como el sistema de adquisición de datos y software que nos permitirían cumplir con pruebas repetibles y reproducibles en condiciones seguras.
- Los parámetros de la suspensión y del vehículo que influyen en la dinámica longitudinal son: anti-hundimiento, anti-levantamiento, centro de gravedad, así mismo los parámetros fundamentales que intervienen en la dinámica lateral de un vehículo son: ángulo cáster, ángulo cámbler, ángulo toe (convergencia y divergencia), ángulo de inclinación. Los neumáticos suponen un elemento crítico para la dinámica del vehículo.
- El sistema de adquisición de datos AIM es un equipo utilizado en vehículos de la fórmula 3 para evaluar comportamiento dinámico, además de controlar los sistemas de control del tren motriz en tiempo real.
- Mediante el análisis de las simulaciones generadas por el software VeDyna, se estableció reglajes que se pueden modificar de manera rápida y sin dificultad alguna, teniendo en cuenta especificaciones del terreno, cálculos dinámicos y modificaciones viables, a bajo costo y realizarlas en el menor tiempo posible.
- Mediante el software VeDyna se desarrolló la simulación de protocolos de dinámica lateral y longitudinal en el vehículo, lo que facilitó el desarrollo de pruebas controladas y seguras. En la comparativa entre los datos obtenidos en las pruebas de pista y la simulación se obtuvo una desviación promedio del 0.94 %
- Mediante datos recolipados en pruebas de pista y simulación se estableció 3 reglajes, reglaje estándar, reglaje semi estándar y reglaje competición. Para el reglaje estándar se obtuvo una mejora de 0.91 metros en las pruebas de dinámica longitudinal y de 0.10 segundos en la prueba de dinámica lateral con respecto al reglaje semi estándar, lo que supone una mejora en el desempeño de 0.9 % y 0,1 % respectivamente. Para el reglaje de competición se obtuvo una mejora de 0.45 metros en las pruebas de dinámica longitudinal y de 0.06 segundos en la prueba de dinámica lateral con

respecto al reglaje semi estándar, lo que supone una mejora en el desempeño de 0,45% y 0.010 % respectivamente.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Se recomienda que la manipulación del sistema de adquisición de datos se los realice, con las especificaciones de los ordenadores especificados, con la supervisión de un docente que tenga bases amplias de conocimiento en electrónica.
- Los equipos implementados trabajan a 12 voltios, tener conocimientos del sistema de computadora programable Haltech para no desprogramar el sistema y tampoco generar un voltaje externo, lo cual podría ocasionar un sobrecalentamiento del sistema de adquisición de datos.
- La calibración de los potenciómetros lineales y demás equipos de telemetría, deberán ser calibrados apagado el vehículo, pero encendido el programa de configuración AIM.
- Los potenciómetros se calibrarán, elevando el automóvil la parte delantera, para así iniciar con la apertura máxima del potenciómetro y de igual manera establecer el cierre máximo de este actuador.
- Para la calibración de sensor del volante se deberá tener en cuenta, los ángulos de giro del volante, así mismo con la posición de la polea del sensor con respecto a la alineación del volante.
- Se recomienda para próximas mejoras en el sistema de adquisición de datos la implementación de sensores ya actuadores compatibles con estos equipos como son: Receptor de vuelta óptica, Acelerómetro lateral, Sensor de presión del Turbo de -1 a 3 Bar, Cronómetro digital de mano, Válvula de potencia del gas de escape, Sensor de posición, Volante especializado para competencias, con el objetivo de realizar un análisis preciso de la aerodinámica del automóvil, dinámica de los neumáticos y posibles mejoras el sistema de transmisión.
- Se recomienda implementar el sistema de adquisición de datos en el vehículo Fórmula Student de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AiM, T. (Noviembre de 2015). *AiM Sportline (1ra ed.)*. Milan, Italy: AiM Tech Srl.
2. Alvarez, P. L., & Vera, C. D. (2005). *Ingenieria del Automovil (1ra ed.)*. Madrid, España: Thomson Ediciones Spain.
3. Arroyo, C. (1996). *Los Frenos en el Automovil (1ra ed.)*. Barcelona, España: CEAC.
4. Bosch, R. (2014). *Automotive Handbook (1ra ed.)*. Berlin, Alemania: staff.
5. Calvo, J., & Miravete, A. (1997). *Mecánica del Automóvil (1ra ed.)*. Zaragoza, España: INO Reproducciones,S.A.
6. Chavez, H. H. (2004). *Fisica General (1ra ed.)*. DistritoFederal, Mexico: Chiado.
7. Ferdinand, B. (2015). *Dinamica y Mecanica Vectorial Para Ingenieros (11ra ed.)*. Barcelona, España: McGraw-Hill.
8. Fisica Global. (15 de febrero de 2011). *Molwick*. Recuperado el 30 de marzo de 2017, de <https://molwick.com/es/movimiento/102-segunda-ley-newton-fuerza.html>
9. Formula Student. (2008). Diseño de Suspensiones. *anti-squat* (págs. 30-35). madrid: Maurice olley .
10. Gánem, R. (2014). *Estática y leyes del Equilibrio (1ra ed.)*. Distrito Federal, Mexico: Patria.
11. Gillespi, T. (2010). *Fundamentals of Vehicle Dynamics (1ra ed.)*. New York, USA: Society of Automotive Engineer.
12. Heitner, J. (1972). *Mecánica automotriz*. Valencia, España: Editorial Diana.
13. Jazar. (2008). *Vehicle Dynamics (7ma ed.)*. New York, USA: Springer.
14. Jazar, R. (2008). *Vehicle Dynamics - Theory and Application (2da ed.)*. New York, USA: Springer.
15. Jazar, R. N. (2010). *Vehicle Dynamics (8va ed.)*. New York, USA: Springer.

16. Maximo, A., & Alvarenga, B. (2004). *Fisica General (1ra ed.)*. Guadalajara, Mexico: Oxford University Press.
17. Nash, F. (2004). *Fundamentos De mecanica Automotriz (1ra ed.)*. Distrito federal, Mexico: Diana.
18. Orovio, M. (2010). *Tecnología del Automóvil (1ra ed.)*. Madrid, España: Ediciones Nobel.
19. Pacejka, H. (2006). *Tyre and Vehicle Dynamics (2da ed.)*. London, Inglaterra: 30 Corporate Drive.
20. Pacejka, H. (2009). *Vehicle Dynamics (3ra ed.)*. London, Inglaterra: El Servier.
21. Perez, J. M. (2010). *Técnicas del Automovil (1ra ed.)*. Madrid, España: Navalmorcaro.
22. PSO. (15 de mayo de 2016). PSO. *seguridad de oficiales del autovilismo*, págs. 2-3-6-8.
23. Rajamani, R. (2012). *Vehicle Dynamics (6ta ed.)*. New York, USA: Editor-in-Chief.
24. Rajamani, R. (2012). *Vehicle Dynamics: Dynamics Control*. New York, USA: Chief.
25. Rill, G. (2006). *Vehicle_Dynamics: Tyre motion*. Regensburg, Alemania: Elsevier.
26. Rojas, L. (2001). *Mantenimiento Automotriz (1ra ed.)*. Guadalajara, Mexico: INACAP.
27. Segers, J. (2011). *Analysis Techniques for Racecar Data Acquisition (2da ed.)*. Londres, Inglaterra: SAE International.
28. Subaru. (5 de enero de 2017). *Subaru*. Recuperado el 6 de noviembre de 2017, de <http://www.subaru-universidad.com/tecnologia.html>
29. Svendsen, N. (2013). *Analysis and Simulation of the suspension System in the FS (1ra ed.)*. New York, USA: Stavanger.
30. Tyre and Vehicle Dynamics. (2006). *Tyre and Vehicle Dynamics*. Tottenham: Elsevier.

ANEXOS

ANEXO I

HOJA DE DATOS SENSOR LINEAL

The potentiometer ends with a 4 pins Binder 719 male connector. The image below shows the connector from solder termination side.



Binder connector pin	Function
1	Analog signal 0-5 V
2	GND
3	Not connected
4	Vreference (4.5V)

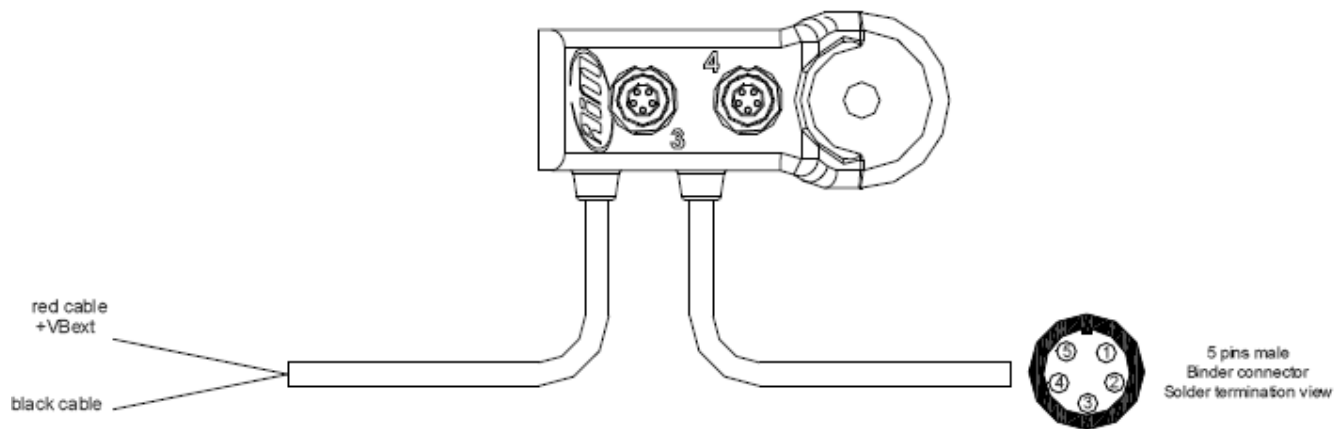
Car/Bike linear potentiometer **technical characteristics** are:

- Maximum supply voltage: 40 Vdc
- Resolution: essentially infinite
- Repeatability: ≤ 0.01 mm
- Operational speed: 10 m/s max
- Mechanical life: >25 millions cycles
- Temperature range: from -40° to $+150^{\circ}$
- Protection: IP67
- Independent linearity: $\leq \pm 0.5\%$
- Cable type: Raychem 55M 26 AWG, Viton Sleeve
- Cable length: 450 mm
- Housing: Aluminium
- Mechanical fixing: Pop joints (2x Ball Pins $\varnothing 8\text{mm}$ – M4x6 mm)
- Weight: 26÷46 g

Activ
Ira Co

ANEXO I Conexión y características de los potenciómetros lineales

ANEXO II DIAGRAMA DATA HUB Two ways Data Hub pinout

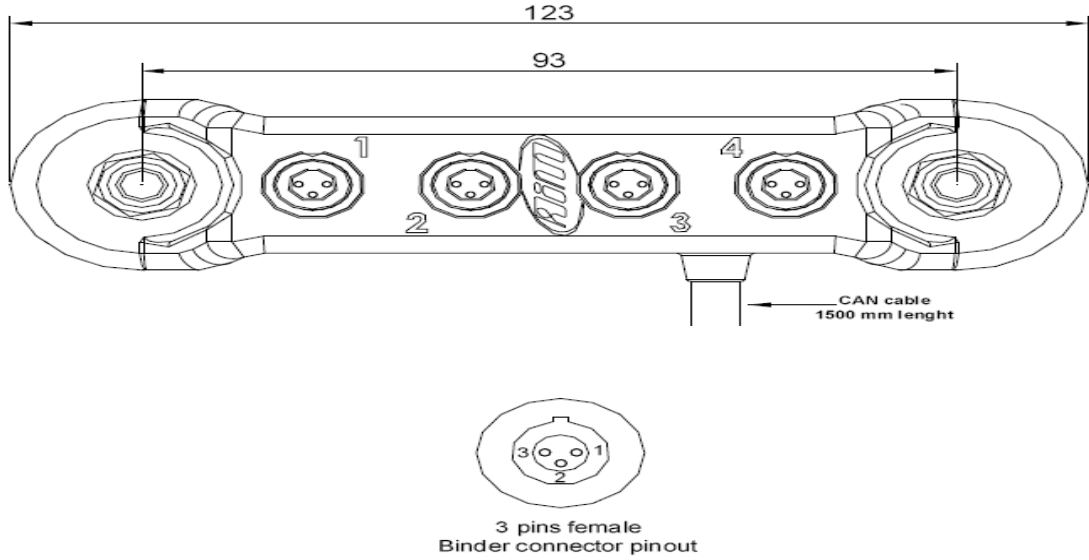


5 pins female Binder connector pinout Position 3		5 pins female Binder connector pinout Position 4	
1	CAN+	1	CAN+
2	GND	2	GND
3	+Vb	3	+Vb
4	CAN-	4	CAN-
5	+VBext	5	+VBext

5 pins male Binder connector pinout	
1	CAN+
2	GND
3	+Vb
4	CAN-
5	+VBext

ANEXO II Conexión y características del sistema de almacenamiento de datos análogos DATA HUB

ANEXO III
CONEXIÓN TC HUB
TC Hub pinout



Position 1		Position 2		Position 3		Position 4	
1	Temperature Channel 1	1	Temperature Channel 2	1	Temperature Channel 3	1	Temperature Channel 4
2	GND	2	GND	2	GND	2	GND
3	n.c.	3	n.c.	3	n.c.	3	n.c.

ANEXO III Sistema de expansión de canales, para distribución de equipos en el automóvil.

