



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Análisis de vibraciones y estabilidad del vehículo Datsun 160J al
implementar un sistema de suspensión neumática con control electrónico**

Castillo Herrera, William Andrés y Rosero Ganchala, Kevin Alexander

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán MSc.

19 de enero de 2023

Latacunga

Document Information

Analyzed document	TESIS CASTILLO ROSERO GERMAN ERAZO PROCESO 01012023.pdf (D156139383)
Submitted	1/17/2023 1:21:00 PM
Submitted by	Cristian Laverde
Submitter email	claverde@uteq.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	claverde.uteq@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://core.ac.uk/download/pdf/289974702.pdf Fetched: 12/23/2020 12:48:15 PM	 3
W	URL: https://www.redalyc.org/journal/5722/572262171010/html/ Fetched: 1/17/2023 1:22:00 PM	 2
W	URL: https://www.motor.mapfre.es/consejos-practicos/consejos-de-conduccion/control-de-suspension-el... Fetched: 1/17/2023 1:22:00 PM	 1
W	URL: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2705/MAS_IME_AUT_011.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 7/19/2020 7:15:15 PM	 1
W	URL: https://www.profetolocka.com.ar/2015/05/09/modulo-de-4-reles-para-arduino/ Fetched: 1/17/2023 1:22:00 PM	 2
W	URL: https://spanish.alibaba.com/product-detail/3-Gallon-aluminum-Seamless-air-cylinder-16002309948... Fetched: 1/17/2023 1:22:00 PM	 2
W	URL: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1100280301-kit-suspension-neumatica-tebao-stage-2-blu... Fetched: 1/17/2023 1:22:00 PM	 1

Nota: Colocar únicamente la página que indica el porcentaje de similitud de la herramienta contratada por la Universidad.



Firma:

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán.

C. C.: 050143263-7

Reporte de verificación de contenido



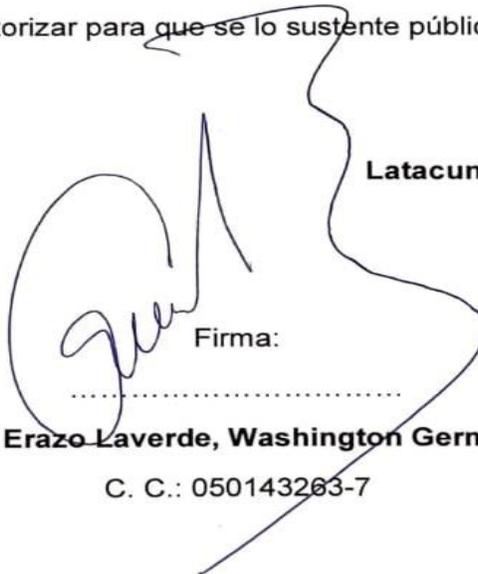
Departamento de Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **"Análisis de vibraciones y estabilidad del vehículo Datsun 160J al implementar un sistema de suspensión neumática con control electrónico"** fue realizado por los señores **Castillo Herrera, William Andrés ; Rosero Ganchala, Kevin Alexander** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 19 de enero del 2023


Firma:
.....

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán.

C. C.: 050143263-7



Departamento de Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Castillo Herrera William Andrés ; Rosero Ganchala Kevin Alexander**, con cédulas de ciudadanía N°172415695-3;172245045-7, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Análisis de vibraciones y estabilidad del vehículo Datsun 160J al implementar un sistema de suspensión neumática con control electrónico”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 19 de enero del 2023

Firma


Castillo Herrera William Andrés

C.C.: 172415695-3

Firma


Rosero Ganchala Kevin Alexander

C.C.: 172245045-7



Departamento de Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de Publicación

Yo/ nosotros **Castillo Herrera William Andrés ; Rosero Ganchala Kevin Alexander**, con cédulas de ciudadanía N°172415695-3;172245045-7, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Análisis de vibraciones y estabilidad del vehículo Datsun 160J al implementar un sistema de suspensión neumática con control electrónico”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 19 de enero del 2023

Firma


Castillo Herrera William Andrés

C.C.: 172415695-3

Firma


Rosero Ganchala Kevin Alexander

C.C.: 172245045-7

Dedicatoria

Este trabajo, se lo decido sin dudar a mis padres por siempre confiar y tener la certeza de que lo podría lograr, por todo el amor y sacrificio que hicieron, a mi hermana por ser mi acompañante y dar el apoyo moral necesario en todo este proceso, al resto de mi familia por apoyarme en las múltiples circunstancias que se han presentado a lo largo de la carrera universitaria, y a todas las personas que durante estos años de estudio estuvieron apoyándome incondicionalmente

William Andres Castillo Herrera

Dedicatoria

Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia.

Principalmente, a mis padres que me apoyaron, con su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, es un orgullo y privilegio ser su hijo les doy gracias por todo el esfuerzo que hicieron y todo el cariño que me demuestran día a día.

A mi hermana, por estar siempre presente, acompañándome, ayudándome, sacándome una sonrisa y brindándome una palabra de aliento para culminar esta etapa de mi vida.

A mis abuelitos, que con su amor incondicional supieron guiarme y ser un apoyo en todo momento de mi carrera, orando por mi bienestar salud y prosperidad.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que este trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que compartieron sus conocimientos.

Kevin Alexander Rosero Ganchala

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios por darme la vida y cada una de las cosas que ella implica, agradezco a mis padres por darme todo el apoyo necesario a lo largo de la carrera, aunque no fue un proceso fácil, siempre estuvieron allí, a mi hermana por la paciencia y acompañamiento que me hizo en los primeros semestres de la carrera, hasta adaptarme a esta nueva vida universitaria, por motivarme a seguir cuando parecía imposible, y apoyarme en cada decisión tomada en este tiempo, a la Universidad de las Fuerzas Armadas por la formación que me ha dado, y permitirme que me convierta en una profesional, y a aquellos docentes que inspiran a ser mejor cada día.

William Andres Castillo Herrera

Agradecimiento

Ustedes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida. Hoy cuando concluyo mis estudios, les agradezco a ustedes este logro amado padres, abuelitos primos y todos los que estuvieron para darme una mano como una meta más conquistada. Orgulloso de haberlos elegido mis padres y que estén a mi lado en este momento tan importante.

Gracias por ser quienes son y por creer en mí los amo”

Kevin Alexander Rosero Ganchala

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento	8
Agradecimiento	9
Índice de contenido.....	10
Índice de tablas.....	20
Índice de figuras.....	24
Índice de ecuaciones	30
Resumen.....	31
Abstract.....	32
Capítulo I: Planteamiento del problema de investigación.....	33
Antecedentes investigativos	33
Planteamiento del problema.....	34
Descripción resumida del proyecto	36
Justificación e importancia	37
Objetivos.....	37
<i>Objetivos del proyecto</i>	37
<i>Objetivos específicos</i>	37
Metas...	38

Hipótesis	39
Variables de la investigación	39
Metodología de desarrollo del proyecto	41
<i>Método documental bibliográfico</i>	42
<i>Método científico</i>	42
<i>Método analítico</i>	42
<i>Método inductivo</i>	42
<i>Método deductivo</i>	42
<i>Método experimental</i>	43
<i>Método comparativo</i>	43
<i>Método de medición</i>	43
<i>Método de matematización</i>	43
<i>Método de modelación</i>	43
Capítulo II: Fundamento teórico	44
Principios físicos	44
Ley de Boyle Mariotte.....	44
Principio de continuidad.....	44
Ley de Pascal	45
Vibraciones.....	46
Fuerzas que actúan en un vehículo.....	47
Sistema de muelles	48
Frecuencia propia de la carrocería.....	49

Sistemas de suspensión.....	50
Componentes del sistema de suspensión	51
<i>Muelles</i>	51
<i>Ballestas</i>	52
<i>Barra de torsión</i>	53
<i>Barras estabilizadoras</i>	54
<i>Tirantes de reacción</i>	54
<i>Brazos de suspensión</i>	55
<i>Mangueta</i>	56
<i>Rótula</i>	57
<i>Amortiguadores</i>	57
Amortiguador de simple efecto	58
Amortiguador de doble efecto	59
Tipos de sistemas de suspensiones	59
<i>Suspensión Rígida</i>	60
<i>Suspensión Semirrígida</i>	61
<i>Suspensión independiente</i>	62
Suspensión de eje oscilante	63
Suspensión de brazos tirados	64
Suspensión McPherson.....	65
Suspensión de paralelogramo deformable	66
Suspensión multibrazo o multilink.....	67

Suspensión Neumática	68
<i>Circuito neumático.....</i>	<i>68</i>
<i>Sistema mecánico.....</i>	<i>69</i>
<i>Circuito eléctrico.....</i>	<i>69</i>
<i>Circuito electrónico</i>	<i>69</i>
Componentes del sistema de suspensión neumática	69
<i>Unidad de control del sistema de suspensión</i>	<i>70</i>
Selector de control de suspensión.....	71
<i>Compresor de aire</i>	<i>72</i>
<i>Acumulador de aire.....</i>	<i>72</i>
<i>Bloque de electroválvulas.....</i>	<i>73</i>
<i>Amortiguador con muelle neumático</i>	<i>74</i>
Funcionamiento de la suspensión neumática	74
<i>Periodo de presurización</i>	<i>75</i>
<i>Despresurización</i>	<i>76</i>
Sensores del sistema.....	76
<i>Sensor de presión.....</i>	<i>76</i>
<i>Sensor de temperatura del compresor.....</i>	<i>77</i>
<i>Concepto general de regulación</i>	<i>77</i>
<i>Operaciones de cambio de nivel.....</i>	<i>78</i>
Ascenso	78
Descenso.....	78

Capítulo III: Diseño del sistema de suspensión neumática controlada electrónicamente	79
Parámetro de diseño	79
Modos de funcionamiento	79
<i>Modo manual</i>	<i>80</i>
<i>Modo automático.....</i>	<i>80</i>
Diseño mecánico	80
Selección del muelle neumático	81
<i>Presión mínima requerida para elevar el vehículo</i>	<i>81</i>
<i>Peso del vehículo.....</i>	<i>82</i>
Para el eje delantero.....	83
Para el eje posterior	83
<i>Presión de aire del sistema.....</i>	<i>83</i>
Para el eje delantero.....	84
Para el eje posterior	85
Muelle neumático seleccionado.....	86
<i>Para el eje delantero</i>	<i>86</i>
<i>Ficha técnica.....</i>	<i>87</i>
<i>Para el eje posterior.....</i>	<i>87</i>
<i>Características técnicas del muelle neumático.....</i>	<i>89</i>
Selección del compresor	90
<i>Ficha técnica.....</i>	<i>90</i>

Selección del tanque de reserva.....	91
<i>Cálculo del caudal necesario para cada muelle neumático.</i>	<i>92</i>
<i>Para el eje posterior.....</i>	<i>93</i>
<i>Para el eje delantero.....</i>	<i>93</i>
<i>Selección Final.....</i>	<i>94</i>
<i>Ficha técnica.....</i>	<i>95</i>
Selección del bloque de electroválvulas	95
Selección de mangueras.....	98
Distribución del sistema neumático.....	99
Diseño de las bases que soportan los muelles neumáticos.....	101
<i>Soporte eje posterior inferior.....</i>	<i>102</i>
Simulación de carga del soporte inferior posterior.	103
<i>Soporte eje posterior superior.....</i>	<i>106</i>
Simulación del soporte superior del eje posterior.....	107
Fase eléctrica y electrónica.....	109
<i>Sistema de monitoreo.....</i>	<i>109</i>
<i>Función del sistema de monitoreo.....</i>	<i>110</i>
Variación de distancia de los neumáticos	110
Arduino	111
<i>Arduino Uno.....</i>	<i>112</i>
<i>Arduino Mega.....</i>	<i>113</i>
Sensor Ultrasónico.....	114

Ficha técnica	115
<i>Módulo de relés</i>	115
Dinámica del vehículo	117
<i>WT901BLECL BLES5.0</i>	117
<i>Ficha técnica</i>	117
<i>Dimensiones del inclinómetro</i>	118
Para el eje delantero	121
Para el eje posterior	121
Ubicación del centro de gravedad	122
<i>Dimensión b</i>	122
<i>Dimensión a</i>	123
<i>Dimensión d</i>	123
<i>Dimensión y´</i>	123
<i>Altura del centro de gravedad</i>	124
Condiciones de prueba del sistema de suspensión	126
Implementación del sistema de suspensión neumático	127
<i>Sensores ultrasónicos</i>	127
<i>Inclinómetro WT901BLECL BLES5.0</i>	129
Compresor y tanque de reserva	133
Bloque de electroválvulas	136
Muelle neumático	138
<i>Mangueras de conexión</i>	141

<i>Sistema de control del sistema de suspensión</i>	142
<i>Tablero de control.....</i>	143
Capítulo IV: Adquisición de datos característicos.....	147
Datos característicos del sistema de suspensión convencional.	147
Condición de Adoquín	148
<i>Análisis de aceleraciones</i>	148
<i>Análisis de velocidades angulares</i>	149
<i>Análisis del ángulo de inclinación.....</i>	151
Condición de Asfalto.....	155
<i>Análisis de aceleraciones</i>	155
<i>Análisis de velocidades angulares</i>	157
<i>Análisis del ángulo de inclinación.....</i>	159
Condición de Tierra	163
<i>Análisis de aceleraciones</i>	163
<i>Análisis de velocidades angulares</i>	165
<i>Análisis del ángulo de inclinación.....</i>	168
Caso rompe velocidades	171
<i>Análisis de aceleraciones</i>	171
<i>Análisis de velocidades angulares</i>	173
<i>Análisis del ángulo de inclinación.....</i>	176
Condición de Frenado.....	180
<i>Análisis de aceleraciones.....</i>	180

<i>Análisis de velocidades angulares</i>	183
<i>Análisis de ángulos de inclinación</i>	185
Condición curva derecha e izquierda	189
<i>Análisis de aceleraciones</i>	189
<i>Análisis de velocidades angulares</i>	192
<i>Análisis del ángulo de inclinación</i>	194
Pruebas de la suspensión neumática	198
Condición adoquín	199
<i>Análisis de aceleraciones</i>	199
<i>Análisis de velocidades angulares</i>	201
<i>Análisis de ángulos de inclinación</i>	203
Condición Asfalto	205
<i>Análisis de aceleraciones</i>	205
<i>Análisis de velocidades angulares</i>	207
<i>Análisis de ángulos de inclinación</i>	209
Condición Tierra	211
<i>Análisis de aceleraciones</i>	211
<i>Análisis de velocidades angulares</i>	213
<i>Análisis de ángulos de inclinación</i>	215
Condición rompevelocidad	217
<i>Análisis de aceleraciones</i>	217
<i>Análisis de velocidades angulares</i>	219

<i>Análisis de ángulos de inclinación</i>	221
Condición frenada	223
<i>Análisis de aceleraciones</i>	223
<i>Análisis de velocidades angulares</i>	225
<i>Análisis de ángulos de inclinación</i>	227
Condición Curva derecha e izquierda	229
<i>Análisis de aceleraciones</i>	229
<i>Análisis de velocidades angulares</i>	231
<i>Análisis de ángulos de inclinación</i>	233
Capítulo V: Marco Administrativo	240
Factibilidad del proyecto	240
Recursos humanos.....	240
Recursos materiales.....	241
<i>Recursos mecánicos</i>	241
<i>Recursos eléctricos</i>	241
<i>Recursos electrónicos</i>	242
Presupuesto	242
Conclusiones	244
Recomendaciones.....	246
Bibliografía... ..	247
Anexos.....	251

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Operalización de las variables dependientes.....</i>	39
Tabla 2	<i>Operalización de las variables independientes.....</i>	41
Tabla 3	<i>Ficha técnica del muelle neumático</i>	87
Tabla 4	<i>Características del muelle neumático</i>	89
Tabla 5	<i>Ficha técnica del compresor VXO 4840B.....</i>	90
Tabla 6	<i>Dimensiones del muelle neumático del eje posterior.....</i>	92
Tabla 7	<i>Dimensiones del muelle neumático del eje delantero.....</i>	92
Tabla 8	<i>Datos característicos del tanque de reserva.....</i>	95
Tabla 9	<i>Ficha técnica bloque de electroválvulas.....</i>	96
Tabla 10	<i>Diámetros de mangueras recomendadas según el caudal</i>	98
Tabla 11	<i>Deformación del soporte posterior inferior en mm.....</i>	104
Tabla 12	<i>Tensiones generadas en el soporte posterior inferior en N/mm².....</i>	105
Tabla 13	<i>Resultados de deformación en el soporte posterior superior.....</i>	108
Tabla 14	<i>Resultados de las tensiones del soporte posterior superior.....</i>	109
Tabla 15	<i>Características del Arduino UNO</i>	112
Tabla 16	<i>Características técnicas del Arduino MEGA.....</i>	113
Tabla 17	<i>Especificaciones del sensor ultrasónico.....</i>	115
Tabla 18	<i>Ficha técnica del inclinómetro WT901BLECL BLES5.0.....</i>	118
Tabla 19	<i>Dimensiones necesarias para determinar el centro de gravedad</i>	120
Tabla 20	<i>Pesos que soportan los neumáticos.....</i>	121
Tabla 21	<i>Dimensiones del centro de gravedad.....</i>	123
Tabla 22	<i>Dimensiones de altura para el centro de gravedad.....</i>	125
Tabla 23	<i>Condiciones de prueba del sistema de suspensión.....</i>	126
Tabla 24	<i>Grupo de componentes mecánicos.....</i>	133
Tabla 25	<i>Propiedades del Duralon</i>	139
Tabla 26	<i>Función de cada botón del tablero de control.....</i>	144

Tabla 27 <i>Valores característicos de la prueba de aceleración</i>	149
Tabla 28 <i>Valores característicos de las velocidades angulares</i>	151
Tabla 29 <i>Valores de los ángulos de inclinación</i>	153
Tabla 30 <i>Valores característicos de la compresión del muelle helicoidal</i>	155
Tabla 32 <i>Valores característicos de las velocidades angulares</i>	159
Tabla 33 <i>Valores característicos de los ángulos de inclinación</i>	161
Tabla 34 <i>Valores característicos de la condición de asfalto</i>	163
Tabla 35 <i>Valores característicos de la condición tierra</i>	165
Tabla 36 <i>Valores característicos de la prueba realizada en tierra</i>	167
Tabla 37 <i>Valores característicos en la condición de tierra respecto al ángulo de inclinación</i>	169
Tabla 38 <i>Valores característicos en la condición de tierra</i>	171
Tabla 39 <i>Valores característicos de la prueba de aceleraciones</i>	173
Tabla 40 <i>Valores característicos de la prueba de rompevelocidades</i>	176
Tabla 41 <i>Valores característicos de los ángulos de inclinación</i>	178
Tabla 42 <i>Valores característicos en la condición de rompevelocidad</i>	180
Tabla 43 <i>Valores característicos de la prueba de frenado</i>	182
Tabla 44 <i>Valores característicos de la prueba de frenado</i>	185
Tabla 45 <i>Valores característicos de los ángulos de inclinación</i>	187
Tabla 46 <i>Valores característicos de la condición de frenado</i>	189
Tabla 47 <i>Valores característicos de la condición de curvas derecha e izquierda</i>	191
Tabla 48 <i>Valores característicos de las velocidades angulares en curva derecha e izquierda</i>	194
Tabla 49 <i>Valores característicos de la condición de curva derecha e izquierda</i>	196
Tabla 50 <i>Valores característicos de la condición de curva derecha e izquierda</i>	198
Tabla 51 <i>Valores característicos de la condición de adoquín</i>	200
Tabla 52 <i>Valores característicos de la condición de adoquín respecto a la velocidad angular</i>	202

Tabla 53	<i>Valores característicos de la condición de adoquín respecto a los ángulos de inclinación.....</i>	204
Tabla 54	<i>Valores característicos de la condición de asfalto respecto a la aceleración. .</i>	206
Tabla 55	<i>Valores característicos de la condición de asfalto respecto a las velocidades angulares.</i>	208
Tabla 56	<i>Valores característicos de la condición de asfalto respecto a los ángulos de inclinación.....</i>	210
Tabla 57	<i>Valores característicos de la condición de tierra respecto a la aceleración.....</i>	212
Tabla 58	<i>Valores característicos de la condición de tierra respecto a la velocidad angular del vehículo.</i>	214
Tabla 59	<i>Valores característicos de la condición de tierra respecto a los ángulos de inclinación.....</i>	216
Tabla 60	<i>Valores característicos de la condición de rompevelocidades respecto a la aceleración</i>	218
Tabla 61	<i>Valores característicos de la condición de rompevelocidades respecto a la velocidad angular.</i>	220
Tabla 62	<i>Valores característicos de la condición de rompevelocidades respecto a los ángulos de inclinación.</i>	222
Tabla 63	<i>Valores característicos de la condición de frenada respecto a la aceleración..</i>	224
Tabla 64	<i>Valores característicos de la condición de frenada respecto a la velocidad angular.</i>	226
Tabla 65	<i>Valores característicos de la condición de frenada respecto a los ángulos de inclinación.....</i>	228
Tabla 66	<i>Valores característicos de la condición de curva derecha e izquierda respecto a la aceleración</i>	230
Tabla 67	<i>Valores característicos de la condición de curva derecha e izquierda respecto a la velocidad angular</i>	232
Tabla 68	<i>Valores característicos de la condición de curva derecha e izquierda respecto a los ángulos de inclinación.</i>	234
Tabla 69	<i>Porcentaje de ganancia o pérdida en la condición de adoquín.....</i>	235

Tabla 70 Porcentaje de ganancia o pérdida en la condición de asfalto.	236
Tabla 71 <i>Porcentaje de ganancia o pérdida en la condición de Tierra.</i>	236
Tabla 72 <i>Porcentaje de ganancia o pérdida en la condición de Rompevelocidad.</i>	237
Tabla 73 <i>Porcentaje de ganancia o pérdida en la condición de frenado.</i>	237
Tabla 74 <i>Porcentaje de ganancia o pérdida en la condición de curva derecha e izquierda</i>	238
Tabla 75 <i>Síntesis del porcentaje de ganancia y pérdida neto.</i>	238
Tabla 76 <i>Síntesis del porcentaje de ganancia y pérdida neto.</i>	239
Tabla 77 <i>Recursos Humanos</i>	240
Tabla 78 <i>Materiales mecánicos</i>	241
Tabla 79 <i>Recursos eléctricos</i>	242
Tabla 80 <i>Recursos eléctricos</i>	242
Tabla 81 <i>Recursos Materiales</i>	243

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Árbol de problemas</i>	35
Figura 2	<i>Principio de Pascal</i>	46
Figura 3	<i>Representación de un sistema de vibración</i>	47
Figura 4	<i>Fuerzas presentes en el vehículo</i>	48
Figura 5	<i>Sistemas de masas muelladas y no muelladas</i>	49
Figura 6	<i>Frecuencia propia de la carrocería</i>	50
Figura 7	<i>Sistema de suspensión convencional</i>	51
Figura 8	<i>Muelle de una suspensión</i>	52
Figura 9	<i>Ballestas</i>	53
Figura 10	<i>Barra de torsión</i>	53
Figura 11	<i>Barra estabilizadora</i>	54
Figura 12	<i>Tirantes de sujeción o links</i>	55
Figura 13	<i>Ejemplos de formas constitutivas de brazos de suspensión</i>	56
Figura 14	<i>Mangueta de la suspensión</i>	56
Figura 15	<i>Componentes internos y externos de la rótula</i>	57
Figura 16	<i>Amortiguador de simple efecto</i>	58
Figura 17	<i>Partes de un amortiguador de doble efecto bitubo</i>	59
Figura 18	<i>Sistema de suspensión con eje rígido</i>	61
Figura 19	<i>Sistema de suspensión semirrígido</i>	62
Figura 20	<i>Sistema de suspensión independiente de eje oscilante</i>	63
Figura 21	<i>Sistema de suspensión independiente con brazos tirados</i>	64
Figura 22	<i>Vista posterior del sistema de suspensión de brazos tirados</i>	65
Figura 23	<i>Sistema de suspensión McPherson</i>	66
Figura 24	<i>Sistema de suspensión de paralelogramo deformable</i>	67
Figura 25	<i>Sistema de suspensión multibrazo</i>	68
Figura 26	<i>Sistema de suspensión neumática</i>	70

Figura 27	<i>Unidad de control electrónico</i>	71
Figura 28	<i>Selector manual de control de altura</i>	71
Figura 29	<i>Compresor de aire</i>	72
Figura 30	<i>Acumulador de aire del sistema neumático</i>	73
Figura 31	<i>Bloque de electroválvulas</i>	73
Figura 32	<i>Muelle neumático del sistema de suspensión neumático</i>	74
Figura 33	<i>Sistema neumático con control electrónico</i>	75
Figura 34	<i>Sensor de presión</i>	76
Figura 35	<i>Sensor de temperatura</i>	77
Figura 36	<i>Ascenso y descenso del sistema de suspensión</i>	78
Figura 37	<i>Muelle neumático para el eje delantero</i>	86
Figura 38	<i>Muelle neumático utilizado en la suspensión neumática</i>	88
Figura 39	<i>Dimensiones del muelle neumático</i>	88
Figura 40	<i>Compresor seleccionado para el sistema de suspensión neumática</i>	90
Figura 41	<i>Tanque de reserva del sistema de suspensión neumática</i>	94
Figura 42	<i>Distribución de los puertos de conexión del tanque de reserva</i>	94
Figura 43	<i>Bloque de electroválvulas</i>	96
Figura 44	<i>Puertos de conexión de los solenoides del bloque de electroválvulas</i>	97
Figura 45	<i>Esquema neumático del sistema de suspensión</i>	100
Figura 46	<i>Plano neumático del sistema de suspensión</i>	101
Figura 47	<i>Soporte inferior del muelle neumático</i>	102
Figura 48	<i>Dimensiones de la base posterior inferior del muelle neumático</i>	103
Figura 49	<i>Simulación de carga del soporte posterior inferior</i>	104
Figura 50	<i>Simulación de tensiones del soporte posterior inferior</i>	105
Figura 51	<i>Soporte posterior superior del muelle neumático</i>	106
Figura 52	<i>Dimensiones del soporte superior</i>	106
Figura 53	<i>Simulación realizada del soporte superior posterior</i>	107

Figura 54	<i>Resultados de las tensiones obtenidas en el soporte posterior superior</i>	108
Figura 55	<i>Interfaz gráfica de Arduino</i>	110
Figura 56	<i>Hardware de Arduino</i>	111
Figura 57	<i>Arduino UNO</i>	112
Figura 58	<i>Arduino Mega</i>	113
Figura 59	<i>Sensor ultrasónico de Arduino</i>	114
Figura 60	<i>Partes del módulo de relés.</i>	115
Figura 61	<i>Esquema eléctrico del relé de conexión.</i>	116
Figura 62	<i>Inclinómetro WT901BLECL BLES5.0</i>	117
Figura 63	<i>Dimensiones del inclinómetro WT901BLECL BLES5.0.</i>	118
Figura 64	<i>Dimensiones del vehículo Datsun 160J</i>	119
Figura 65	<i>Posición del centro de gravedad de un vehículo</i>	122
Figura 66	<i>Determinación de la altura del centro de gravedad</i>	124
Figura 67	<i>Ubicación del centro de gravedad en los diferentes planos del vehículo.</i>	126
Figura 68	<i>Ubicación de los sensores ultrasónicos</i>	127
Figura 69	<i>Sensor ultrasónico implementado en el vehículo.</i>	128
Figura 70	<i>Módulo de recolección de datos de sensores ultrasónicos.</i>	128
Figura 71	<i>Interfaz gráfica para los sensores ultrasónicos.</i>	129
Figura 72	<i>Ubicación del inclinómetro</i>	130
Figura 73	<i>Orientación de los ejes coordenados</i>	130
Figura 74	<i>Interfaz gráfica del software utilizado por el inclinómetro.</i>	131
Figura 75	<i>Curvas de comportamiento de la suspensión convencional.</i>	132
Figura 76	<i>Ubicación del compresor y tanque de reserva.</i>	133
Figura 77	<i>Implementación del compresor y tanque de reserva</i>	134
Figura 78	<i>Conexión del compresor al tanque de reserva</i>	135
Figura 79	<i>Componentes del tanque de reserva</i>	135
Figura 80	<i>Bloque de electroválvulas</i>	136

Figura 81	<i>Esquema de conexión del bloque de electroválvulas</i>	137
Figura 82	<i>Bases del muelle helicoidal</i>	138
Figura 83	<i>Soportes implementados en el muelle neumático</i>	139
Figura 84	<i>Implementación de los muelles neumáticos en el eje posterior</i>	140
Figura 85	<i>Implementación de los muelles neumáticos delanteros</i>	141
Figura 86	<i>Implementación de las mangueras neumáticas</i>	141
Figura 87	<i>Acoples de conexión para mangueras neumáticas</i>	142
Figura 88	<i>Conexión del sistema neumático</i>	142
Figura 89	<i>Módulo de control del sistema de suspensión neumática</i>	143
Figura 90	<i>Código de programación del sistema de suspensión</i>	143
Figura 91	<i>Tablero de control del sistema de suspensión neumático</i>	144
Figura 92	<i>Diagrama de flujo del funcionamiento del tablero de control</i>	145
Figura 93	<i>Implementación del sistema de suspensión neumática</i>	146
Figura 94	<i>Aceleración en el eje x, y, z</i>	148
Figura 95	<i>Velocidades angulares en los diferentes ejes de coordenadas</i>	150
Figura 96	<i>Valores característicos del ángulo de inclinación</i>	152
Figura 97	<i>Comportamiento de los muelles helicoidales en los cuatro neumáticos</i>	154
Figura 98	<i>Curvas características de la aceleración en asfalto</i>	155
Tabla 31	<i>Valores característicos de aceleraciones de la prueba de asfalto</i>	157
Figura 99	<i>Velocidades angulares en la condición de asfalto</i>	157
Figura 100	<i>Curvas características del ángulo de inclinación</i>	159
Figura 101	<i>Curva característica en la condición de asfalto</i>	162
Figura 102	<i>Curvas características de la condición tierra</i>	163
Figura 103	<i>Curvas características de velocidades angulares en la condición tierra</i>	166
Figura 104	<i>Ángulos de inclinación de la condición de tierra</i>	168
Figura 105	<i>Curvas características en la condición de Tierra</i>	170
Figura 106	<i>Curvas características de las aceleraciones</i>	172

Figura 107	<i>Curvas características de las velocidades angulares</i>	174
Figura 108	<i>Curvas características del ángulo de inclinación.</i>	176
Figura 109	<i>Curva característica en la condición de rompevelocidad.</i>	179
Figura 110	<i>Curvas características de la prueba de frenado.</i>	181
Figura 111	<i>Curvas características de las velocidades angulares.</i>	183
Figura 112	<i>Curvas características de la prueba de frenado.</i>	185
Figura 113	<i>Curvas características de la condición de frenado</i>	188
Figura 114	<i>Curvas características condición de curvas derecha e izquierda.</i>	190
Figura 115	<i>Curvas características de la velocidad angular en la condición de curva derecha e izquierda</i>	192
Figura 116	<i>Curvas características del ángulo de inclinación.</i>	194
Figura 117	<i>Curva característica en la condición de curva derecha e izquierda.</i>	197
Figura 118	<i>Curvas características de las aceleraciones</i>	199
Figura 119	<i>Curvas características de las velocidades angulares.</i>	201
Figura 120	<i>Curvas características de los ángulos de inclinación.</i>	203
Figura 121	<i>Curvas características de aceleración en la condición de asfalto.</i>	205
Figura 122	<i>Curvas características de las velocidades angulares en la condición de asfalto.</i>	207
Figura 123	<i>Curvas características de los ángulos de inclinación en la condición de asfalto.</i>	209
Figura 124	<i>Curvas características de las aceleraciones en la condición de Tierra.</i>	211
Figura 125	<i>Curvas características de las velocidades angulares en la condición de Tierra.</i>	213
Figura 126	<i>Curvas características de los ángulos de inclinación en la condición de Tierra.</i>	215
Figura 127	<i>Curvas características de las aceleraciones en la condición de rompevelocidades.</i>	217
Figura 128	<i>Curvas características de las velocidades angulares en la condición de rompevelocidades.</i>	219

Figura 129 <i>Curvas características de los ángulos de inclinación en la condición de rompevelocidades.....</i>	221
Figura 130 <i>Curvas características aceleración.....</i>	223
Figura 131 <i>Curvas características velocidad angular.....</i>	225
Figura 132 <i>Curvas características ángulo de inclinación</i>	227
Figura 133 <i>Curvas características aceleración.....</i>	229
Figura 134 <i>Curvas características velocidad angular.....</i>	231
Figura 135 <i>Curvas características ángulo de inclinación</i>	233

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: <i>Ley de Boyle Mariotte</i>	44
Ecuación 2: <i>Principio de continuidad</i>	45
Ecuación 3: <i>Principio de pascal</i>	46
Ecuación 4: <i>Peso total del vehículo</i>	82
Ecuación 5: <i>Peso total del eje delantero del vehículo</i>	82
Ecuación 6: <i>Peso total del eje delantero del vehículo</i>	82
Ecuación 7: <i>Pesos que soporta cada neumático eje delantero</i>	83
Ecuación 8: <i>Pesos que soporta cada neumático eje posterior</i>	83
Ecuación 9: <i>Presión en un sistema de aire</i>	84
Ecuación 10: <i>Área de un círculo</i>	85
Ecuación 11: <i>Volumen total del muelle neumático</i>	93
Ecuación 12: <i>Volumen total del muelle neumático</i>	93
Ecuación 13: <i>Peso total del vehículo</i>	120
Ecuación 14: <i>Peso de los neumáticos del eje delantero</i>	121
Ecuación 15: <i>Peso de los neumáticos del eje delantero</i>	121
Ecuación 16: <i>Dimensión b</i>	122
Ecuación 17: <i>Dimensión a</i>	123
Ecuación 18: <i>Dimensión d</i>	123
Ecuación 19: <i>Dimensión y'</i>	123
Ecuación 20: <i>Dimensión l1</i>	124
Ecuación 21: <i>Dimensión b1</i>	124
Ecuación 22: <i>Relación de dimensiones</i>	125
Ecuación 23: <i>Dimensión de c</i>	125
Ecuación 24: <i>Dimensión de h1</i>	125

Resumen

En el presente trabajo de titulación, se comparó el comportamiento del sistema de suspensión convencional tipo McPherson del vehículo Datsun 160J año 1986 evaluando sus vibraciones traducidas en aceleraciones, velocidades angulares y ángulos de inclinación en los tres ejes de coordenadas X, Y, Z, mediante la utilización de un inclinómetro de alta precisión ubicado en el centro de gravedad del vehículo y estableciendo condiciones de prueba en diferentes rutas con variaciones de terreno y obstáculos para ambas suspensiones las cuales se sintetizan y describen en la tabla 23, para posteriormente diseñar e implementar un sistema de suspensión neumática controlada electrónicamente tomando en consideración parámetros constructivos como presiones mínimas, caudales máximos, voltajes de señal, proceso de control, elementos de seguridad, soportes requeridos, para realizar una selección de componentes adecuados como el compresor, tanque de aire comprimido, bloque de electroválvulas, muelles neumáticos, mangueras neumáticas, elementos de protección, plasmando los planos y descripción de cada componente seleccionado de acuerdo a los requerimientos de la suspensión con el fin de evaluar la ganancia y pérdida que posee la suspensión neumática a comparación de la convencional tipo McPherson en los parámetros de aceleración, velocidades angulares y ángulos de inclinación respetando las condiciones de prueba en ruta establecidas.

Palabras Clave: Suspensión convencional, comparación entre suspensiones, Suspensión neumática, vibraciones, inclinómetro.

Abstract

In the present degree work, the behavior of the conventional McPherson type suspension system of the Datsun 160J vehicle from 1986 was compared, evaluating its vibrations translated into accelerations, angular velocities and inclination angles in the three coordinate axes X, Y, Z, by means of the use of a high precision inclinometer located in the center of gravity of the vehicle and establishing test conditions on different routes with variations in terrain and obstacles for both suspensions which are synthesized and described in table 23, to later design and implement a electronically controlled pneumatic suspension system taking into consideration construction parameters such as minimum pressures, maximum flow rates, signal voltages, control process, security elements, required supports, to make a selection of suitable components such as the compressor, compressed air tank, block of solenoid valves, pneumatic springs attics, pneumatic hoses, protection elements, capturing the plans and description of each component selected according to the requirements of the suspension in order to evaluate the gain and loss that the pneumatic suspension has compared to the conventional McPherson type in the parameters acceleration, angular speeds and inclination angles respecting the established road test conditions.

Keywords: Conventional suspension, comparison between suspensions, Air suspension, vibrations, inclinometer.

Capítulo I

Planteamiento del problema de investigación

Antecedentes investigativos

El uso de automóviles a lo largo de la historia ha demostrado la innovación en los diferentes sistemas automotrices:

En los años, cuando los automóviles comenzaban a popularizarse, las presentaciones que demandaban los usuarios no eran muchas. Los automóviles tenían que ser más grandes y veloces, con precios más económicos, interviniendo en el desarrollo tecnológico de la parte electrónica y mecánica de los sistemas del vehículo. (Noroña M, B, & F, 2019)

El sistema de seguridad y estabilidad que presenta el vehículo ha ido cambiando durante el transcurso del tiempo. (Ponce, 2020) explica que:

“La clave es hacer que los sistemas funcionen de manera cooperativa y evitar que un sistema domine a los demás”. El chasis todavía tiene que funcionar de manera excelente sin la electrónica” (párr. 14)

El sistema de suspensión electrónica tiene como resultado una innovación en la seguridad y tecnología, según (Mapfre, 2020) indica que:

La suspensión electrónica aporta comodidad en la conducción y en el interior de tu vehículo, ofreciendo extras de seguridad que se notan y se sienten al volante. La innovación tecnológica actual ha permitido la llegada del control electrónico automático de los amortiguadores (párr. 1)

Planteamiento del problema

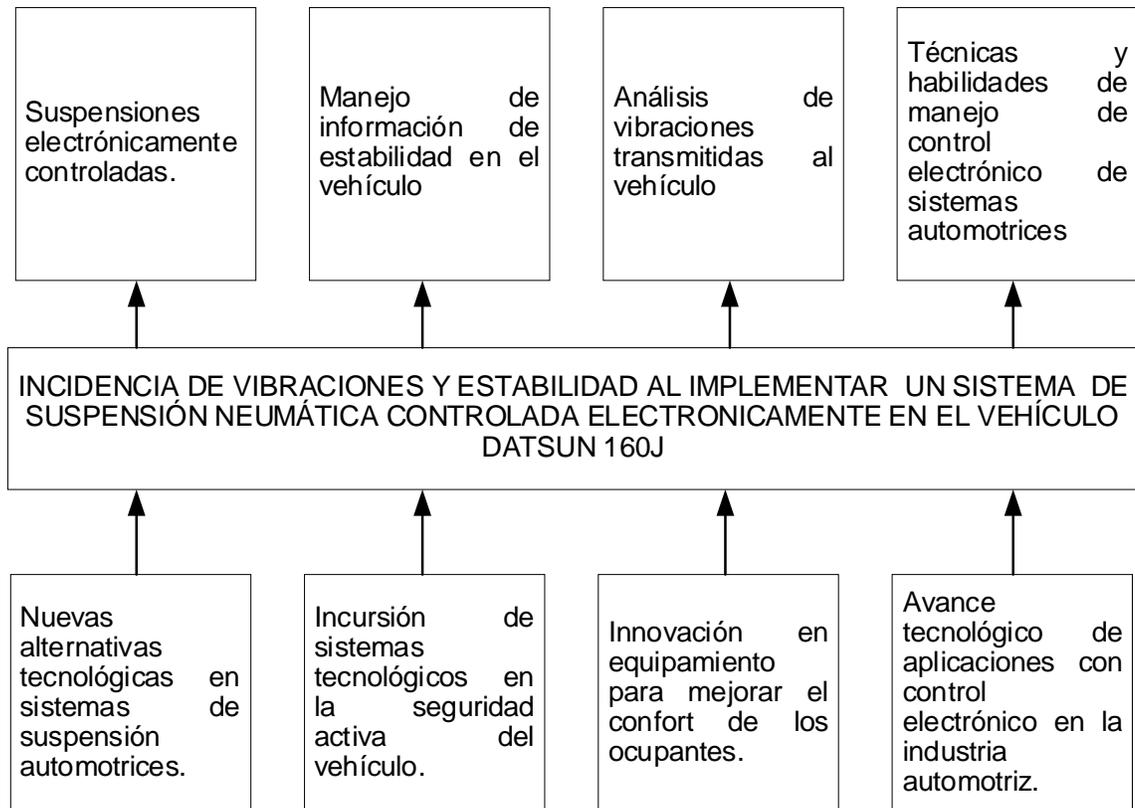
En la actualidad, los vehículos avanzan y mejoran día tras día presentando avances en sus características de potencia, por tal motivo los sistemas auxiliares deben adaptarse a las prestaciones actuales para poder alcanzar un mayor desempeño, en consecuencia, la implementación de diversos sistemas controlados electrónicamente como es la suspensión del vehículo.

El campo automotriz siempre se enfoca en mejorar la seguridad de los pasajeros, mediante diferentes sistemas mecánicos y electrónicos, el uso de una suspensión controlada electrónicamente brinda diferentes modos de funcionamiento que benefician directamente a la seguridad, como la estabilidad del vehículo.

Los sistemas de confort actuales de los vehículos cuentan con innovaciones constantes en sus elementos, con el objetivo de mejorar la calidad de conducción y confort que se transmite a los ocupantes, enfocándose al estudio y análisis de las vibraciones generadas con cada tipo de suspensión implementada.

Con el paso del tiempo los sistemas de control electrónico se encuentran en la mayoría de los sistemas automotrices actuales, por ende, la implementación de dichas tecnologías en sistemas básicos es posible mediante la adaptación de componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos.

Por lo tanto, el problema a investigar es la transmisión de vibraciones y la incidencia en la estabilidad en el vehículo con la implementación de una suspensión neumática controlada electrónicamente en comparación a una suspensión tradicional.

Figura 1*Árbol de problemas*

Por ende, para resolver la problemática planteada se propuso la investigación de “Incidencia de vibraciones y estabilidad al implementar un sistema de suspensión neumática controlada electrónicamente en el vehículo Datsun 160J”, a través de la recolección de datos en tiempo real para posteriormente analizar el comportamiento del vehículo, intercambiando los sistemas de suspensión.

Descripción resumida del proyecto

En el presente proyecto se obtiene información sobre las características fundamentales del sistema de suspensión neumático, considerando temas como ventajas, desventajas, implementación del sistema mediante contenidos relacionados con el tema del proyecto como: libros, artículos científicos, investigaciones científicas y páginas webs confiables.

Se selecciona el vehículo donde se implementará el sistema de suspensión neumático con control electrónico.

Se incorpora un sistema de monitoreo de los sistemas de suspensión evaluando aceleraciones, velocidades angulares, grados de inclinación en los tres ejes de coordenadas X, Y, Z.

Se analiza el comportamiento del sistema de suspensión convencional presente en el vehículo mediante el sistema de monitoreo.

Se selecciona los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos para la implementación del sistema de suspensión neumático con control electrónico.

Se implementa el sistema de suspensión neumático con control electrónico en el vehículo mediante la incorporación de sus componentes.

Se analiza el comportamiento del sistema en las diferentes condiciones de funcionamiento.

Se compara el comportamiento de los dos tipos de suspensiones para poder identificar las ventajas y desventajas que tienen una sobre la otra

Se realiza pruebas y ensayos para poder determinar las condiciones idóneas del uso de este sistema.

Se evalúa la factibilidad de la implementación de este sistema en los diferentes vehículos de acuerdo con costos y beneficios.

Justificación e importancia

Se han ido desarrollando mejoras en los sistemas automotrices enfocados en optimizar la seguridad y estabilidad del vehículo, es decir que cada sistema automotriz está en constante cambio orientándose al control electrónico.

Comprender el comportamiento de la suspensión convención obteniendo datos reales mediante la implementación de un sistema de monitoreo e interpretando sus curvas características.

Conocer la incidencia de la suspensión neumática en diferentes condiciones de uso, frente a la tradicional y comparar la viabilidad del uso frente a factores físicos como son las vibraciones y estabilidad del vehículo.

De igual importancia, el llevar a la par los sistemas automotrices tradicionales mediante la conversión de suspensiones convencionales a suspensiones electrónicamente controladas brinda un control total y autónomo sobre la suspensión, como una herramienta de adaptación a diferentes condiciones de conducción.

Objetivos

Objetivos del proyecto

Analizar y comparar el comportamiento de la suspensión convencional tipo McPherson con una suspensión neumática controlada electrónicamente con el fin de evidenciar la ganancia y pérdida de vibraciones mecánicas en las diferentes condiciones de prueba

Objetivos específicos

- Fundamentar teórica y científicamente los parámetros característicos de los diferentes tipos de suspensión, tomando en cuenta las ventajas y desventajas que presentan uno sobre el otro.

- Incorporar un sistema de monitoreo de los sistemas de suspensión evaluando aceleraciones, velocidades angulares, grados de inclinación en los tres ejes de coordenadas X, Y, Z.
- Analizar el comportamiento del sistema de suspensión convencional presente en el vehículo.
- Seleccionar los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos para la implementación del sistema de suspensión neumático con control electrónico.
- Implementar el sistema de suspensión neumático con control electrónico en el vehículo mediante la implementación de sus componentes.
- Analizar el comportamiento del sistema neumático con control electrónico implementado en el vehículo.
- Comparar el comportamiento de los dos tipos de suspensiones para poder identificar las ventajas y uno sobre el otro.
- Evaluar la factibilidad de la implementación de este sistema en los diferentes vehículos de acuerdo con costos y beneficios.

Metas

- Analizar los sistemas de suspensión tipo McPherson y Neumática en tiempo real obteniendo el comportamiento en las diferentes condiciones de prueba.
- Implementar un sistema de medición de vibraciones mediante la incorporación de sensores los cuales permiten visualizar de manera gráfica y estadística el comportamiento de las suspensiones.
- Obtener una notación matemática mejorando la eficiencia del sistema de suspensión al implementar el sistema neumático controlado electrónicamente en un 40%.

Hipótesis

¿Mediante la implementación del sistema de suspensión neumática controlada electrónicamente permitirá elevar el nivel de confort y estabilidad en el vehículo?

Variables de la investigación

Para el proyecto de investigación se aplicará las variables como son: variables dependientes y variables independientes.

- **Variables independientes**

Sistema de suspensión neumático controlado electrónicamente

Tabla 1

Operalización de las variables dependientes

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
	TECNICA TECNOLÓ GICA	Recorrido del pulmón neumático	m	Experimentació n	Protocolo de pruebas
El sistema de suspensión se encarga de mantener las ruedas pegadas al piso y transmitir mínimamente las irregularidades del terreno.	TECNICA TECNOLÓ GICA	Volumen de la cámara de aire sin carga	M3	Experimentació n	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓ GICA	Volumen de la cámara de aire con carga	M3	Experimentació n	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓ GICA	Volumen del gas a presión atmosférica	M3	Experimentació n	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓ GICA	Volumen parcial para la regulación	Pa	Experimentació n	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓ GICA	Peso máximo que soporta el vehículo	N	Experimentació n	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓ GICA	Peso del vehículo	N	Experimentació n	Protocolo de pruebas

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
	TECNICA TECNOLÓ GICA	Frecuencia de la carrocería	Hz	Experimentació n	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓ GICA	Resonancia de los muelles	Hz	Experimentació n	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓ GICA	Masas suspendidas	Kg	Experimentació n	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓ GICA	Masas no suspendidas	Kg	Experimentació n	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓ GICA	Distancia del centro de gravedad a la suspensión izquierda	m	Experimentació n	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓ GICA	Distancia del centro de gravedad a la suspensión derecha	m	Experimentació n	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓ GICA	Coefficiente de elasticidad del muelle		Experimentació n	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓ GICA	Presión interna del tanque de reserva	m	Experimentació n	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓ GICA	Presión interna del tanque de reserva	Pa	Experimentació n	Protocolo de pruebas

Nota. En la tabla se describe la variable independiente, misma que permite conocer la categoría, indicadores, ítem, técnicas e instrumentos.

- **Variable dependiente**

Vibraciones y estabilidad.

Tabla 2

Operalización de las variables independientes.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
La vibración es un efecto físico de oscilación mecánica en torno a una posición de referencia	TECNICA TECNOLÓGICA	Periodo de onda de vibración	s	Experimentación	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓGICA	Frecuencia de onda de vibración	Hz	Experimentación	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓGICA	Amplitud de onda de vibración	V	Experimentación	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓGICA	Tiempo de exposición a la vibración	s	Experimentación	Protocolo de pruebas
	TECNICA TECNOLÓGICA	Aceleración de la vibración	m/s ²	Experimentación	Protocolo de pruebas

Nota. En la tabla se describe la variable dependiente, misma que permite conocer la categoría, indicadores, ítem, técnicas e instrumentos.

Metodología de desarrollo del proyecto

Para el desarrollo formal del proyecto de investigación se utilizan diferentes metodologías y técnicas en los diferentes campos de la ciencia. En el proceso de investigación se van a aplicar procedimientos con mayor o menor incidencia, al realizar el proyecto los métodos empleados son documental bibliográfico, científico, analítico, inductivo, deductivo, experimental, comparativo, medición, matematización, modelación los cuales permiten llegar a cumplir los objetivos propuestos.

Método documental bibliográfico

La investigación documental bibliográfica permite obtener, seleccionar, compilar, organizar, interpretar y analizar información sobre nuestro objeto de estudio que se refiere al análisis a partir de fuentes documentales de credibilidad, tales como libros, documentos de archivos, registros audiovisuales, tesis, artículos científicos entre otros.

Método científico

Este método se utilizará para generar un diagrama del comportamiento de la suspensión en las diferentes condiciones de funcionamiento, mediante la recopilación de información proporcionado por los diferentes sensores, los cuales permiten evidenciar las mejores condiciones que debe poseer la suspensión al momento de estar en funcionamiento y así evaluar el aumento de confort proporcionado al pasajero.

Método analítico

Este método se utilizará para comprender el comportamiento del sistema en conjunto, como a su vez la función que tiene cada uno de sus componentes dentro del sistema, con ello se comprende el funcionamiento del sistema.

Método inductivo

Con este método se permitirá establecer bajo experimentación y observación, los valores del voltaje de señal de los diferentes sensores, para llegar a una generalización con el fin de determinar posibles fallas existentes en las lecturas del módulo de monitoreo.

Método deductivo

Este método permite generar una conclusión concreta sobre el funcionamiento del sistema de suspensión teniendo como referencia los valores de los sensores que permitan evaluar el comportamiento del sistema de suspensión controlada electrónicamente.

Método experimental

Mediante este método se realizarán pruebas sobre la obtención de los datos mediante el sistema de suspensión controlada electrónicamente para conocer su funcionamiento dentro de las diferentes condiciones y parámetros.

Método comparativo

Con la aplicación del método comparativo en la presente investigación, permitirá establecer la mejora en el confort del pasajero que presenta un sistema de suspensión convencional comparado con un sistema de suspensión neumático controlado electrónicamente mediante el análisis de vibraciones y estabilidad del vehículo a diferentes condiciones de funcionamiento, de esta manera se obtiene la eficiencia que tiene cada sistema.

Método de medición

Método por el cual se obtendrán datos del sensor de altura, registrando los voltajes generados a diferentes alturas.

Método con el que se obtendrá datos del sensor de vibración para evaluar las perturbaciones transmitidas con el sistema de suspensión.

Método de matematización

Este método se utilizará para determinar los componentes y modos de funcionamiento a implementar en el sistema de suspensión neumático controlado electrónicamente.

Método de modelación

Con este método se busca la simulación de los componentes que se encuentren expuesto a tensiones, deformaciones, los cuales son requeridos para el funcionamiento del sistema de suspensión neumática controlada electrónicamente.

Capítulo II

Fundamento teórico

Principios físicos

Ley de Boyle Mariotte

Esta ley nos permite relacionar tres tipos de magnitudes las cuales son: la presión, el volumen y la temperatura. Cuando varía una de las magnitudes, decimos que el gas sufre una transformación, las transformaciones que sufre un gas cuando varía la presión y el volumen manteniéndose constante la temperatura se rige por la ley de Boyle Mariotte la cual según (Gonzales, Rio, Tena, & Torres, 2011) estipula:

“A temperatura constante consideramos el producto de la presión a que está sometido a un gas por el volumen que ocupa o se mantiene constante”. (p.78)

La fórmula que representa dicha ley es la siguiente:

Ecuación 1: Ley de Boyle Mariotte

$$P * V = cte \text{ o bien } P_1 * V_1 = P_2 * V_2$$

En las que $P_1 =$ Presión antes de la transformación

$V_1 =$ Volumen antes de la transformación

$P_2 =$ Presión despues de la transformación

$V_2 =$ Volumen despues de la transformación

Principio de continuidad

El principio de continuidad establece que en un tubo cerrado el caudal del fluido que circula por él es el mismo en cualquier punto o tramo de su recorrido, aunque sean distintos diámetros. Considerando un tubo de sección S_1 y S_2 al cabo de un tiempo t las partículas contenidas en dichas superficies habrán recorrido una distancia e_1 y e_2 respectivamente, por lo tanto, los volúmenes de barrido en ambos casos han de ser iguales y se establece la siguiente ecuación.

Las ecuaciones que rigen el comportamiento del principio de continuidad de acuerdo con (Gonzales, Rio, Tena, & Torres, 2011) son las siguientes:

Ecuación 2: Principio de continuidad

$$S_1 * v_1 = S_2 * v_2 = cte$$

En las que $S_1 =$ Sección inicial del tubo

$v_1 =$ Velocidad inicial del fluido

$S_2 =$ Sección final del tubo

$v_2 =$ Velocidad final del fluido

Ley de Pascal

El principio de Pascal establece según (Gonzales, Rio, Tena, & Torres, 2011) establece que

“La presión ejercida en un punto de un líquido se transmite íntegramente a todos los puntos y en todas sus direcciones”, teniendo como síntesis la siguiente expresión. (p. 81)

$$P = \frac{F}{S}$$

En las que P Presión [Pa]

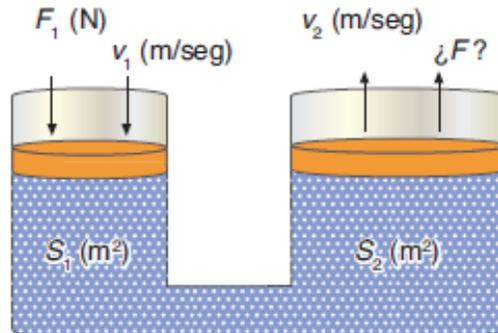
F Fuerza [N]

S Superficie [m²]

A continuación, se presenta un esquema para mejorar la comprensión del fenómeno físico.

Figura 2

Principio de Pascal



Nota. La figura muestra la multiplicación de la fuerza dependiendo el área de contacto en el cual se esté transmitiendo el fluido. Recuperado de (Gonzales, Rio, Tena, & Torres, 2011)

De lo cual la expresión del principio de pascal queda expresada de la siguiente manera.

Ecuación 3: Principio de pascal

$$\frac{F}{S_2} = \frac{F}{S_1}$$

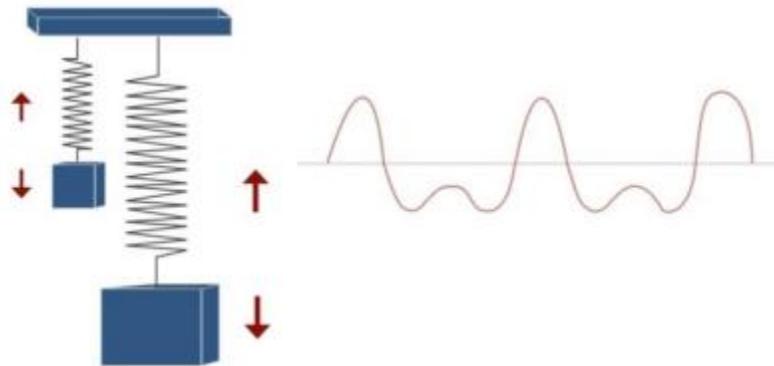
Vibraciones

Las vibraciones están presentes en un vehículo en movimiento debido a todas las irregularidades en el camino que se logran transmitir por todo el automóvil y sus ocupantes.

Una vibración mecánica puede describirse como el movimiento de un cuerpo sólido alrededor de una posición de equilibrio, sin que se produzca desplazamiento “neto” del mismo. Si el objeto vibra entra en contacto con alguna parte del cuerpo humano, le transmite energía generada por la vibración. Esta energía es absorbida por el cuerpo y puede producir diversos efectos que depende de la vibración. (IDEARA, 2013)

Figura 3

Representación de un sistema de vibración



Nota. En la figura se muestra la representación de un sistema de vibración masa-resorte con su curva característica correspondiente. Recuperado de (IDEARA, 2013)

Fuerzas que actúan en un vehículo.

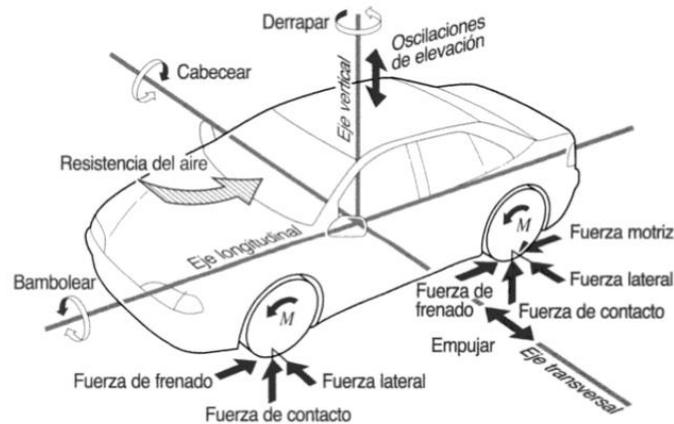
La misión fundamental del sistema de suspensión es reducir la transmisión de vibraciones y oscilaciones por parte de la calzada hacia el habitáculo del vehículo, estas vibraciones y oscilaciones son producidas por las fuerzas que comprenden el comportamiento dinámico del vehículo. (Bosch, 2005)

Un vehículo que se encuentra en movimiento comprende fuerzas que actúan dependiendo el eje de análisis y el sector en donde se analice, por ejemplo, si se refiere a los neumáticos las fuerzas pueden ser laterales y longitudinales.

Los movimientos de la carrocería se realizan en los tres ejes de simetría los cuales corresponden a X, Y, Z. Comenzando por el eje (Y) el movimiento que produce es un Balanceo, en el eje (X) se produce Cabeceo y en el eje (Z) un Viraje o derrape, Todos estos movimientos se encuentran referenciados desde el centro de gravedad (G).

Figura 4

Fuerzas presentes en el vehículo



Nota. En la figura se muestra la representación de las fuerzas que actúan en el vehículo de acuerdo con el comportamiento dinámico del mismo. Recuperado de (Bosch, 2005)

Sistema de muelles

El sistema de muelles es el encargado de la unión entre las ruedas, suspensión y la carrocería, los muelles pueden ser de diferente clase brindando mejoras a comparación de otros, los más comunes son: Muelle de acero, gas/aire y goma elastómeros o combinaciones de estos elementos. (Audi, 2010)

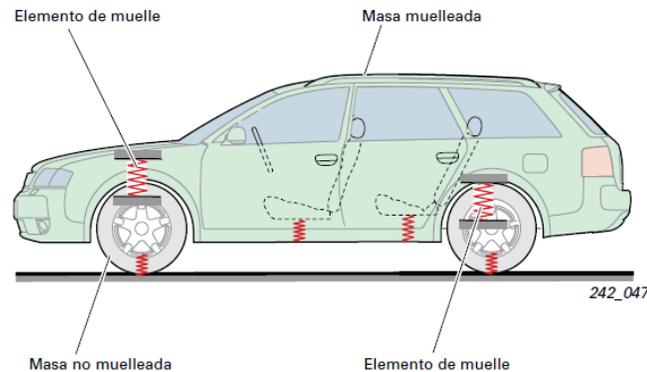
Generalmente en los vehículos de turismo la configuración de los muelles son de forma helicoidal los cuales son hechos de acero.

En la industria de la maquinaria pesada generalmente el sistema de suspensión se compone de muelles de gas/aire que presentan mejoras significativas con respecto a los contruidos de acero.

En el vehículo se encuentran dos tipos de muelles, las masas muelladas que se compone de la carrocería con el grupo motopropulsor y partes del tren de rodaje y las masas no muelladas, esto significa las ruedas con los frenos, así como partes del tren de rodaje y el sistema de palieres.

Figura 5

Sistemas de masas muelladas y no muelladas



Nota. En la figura se muestra la representación des sistema de masas muelladas y no muelladas. (Audi, 2010)

Frecuencia propia de la carrocería.

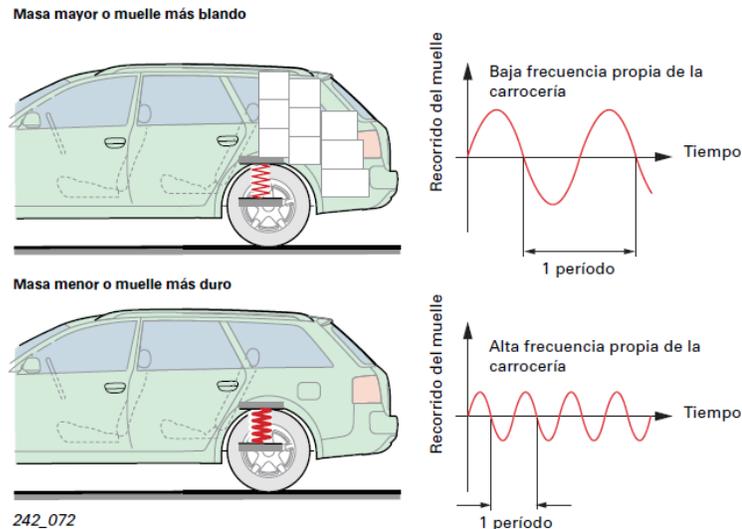
La frecuencia propia de la carrocería viene definida por los datos característicos de los muelles coeficiente de rigidez y por las masas muelleadas. La frecuencia propia de la carrocería mediante un tarado específico en particular de la masa muelleadas se halla entre 1Hz y 1.5Hz. (Audi, 2010)

Las condiciones que muestran las características de la frecuencia de la carrocería es que a una mayor masa o un muelle más blando se traduce en una baja frecuencia de la carrocería y un mayor recorrido del muelle.

Según la sensibilidad de la persona una frecuencia propia de la carrocería por debajo de 1 Hz causa nauseas. Las frecuencias superiores a 1.5 Hz afectan al confort y, a parto de unos 5Hz se perciben como sacudidas o agitaciones. (Audi, 2010)

Figura 6

Frecuencia propia de la carrocería



Nota. En la figura se muestra el comportamiento de la carrocería dependiendo el tipo de muelle que se utilice y a carga que se emplea. Recuperado de (Audi, 2010)

Sistemas de suspensión

La suspensión comprende el conjunto de órganos mecánicos que unen los elementos de rodadura con la carrocería del vehículo.

Debido a las irregularidades del camino, las ruedas de un vehículo poseen siempre un movimiento vertical a una velocidad media, se producen en espacios muy cortos de tiempo produciéndose aceleraciones verticales en las ruedas que pueden ser múltiplos de la aceleración de la gravedad.

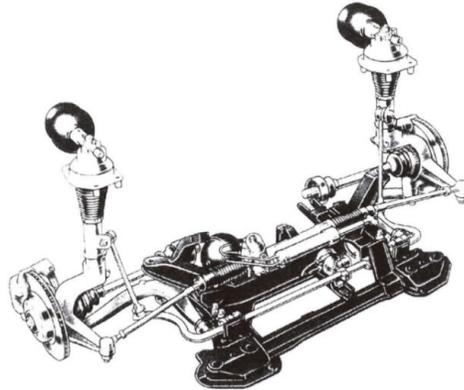
Para evitar las consecuencias de esta situación que comprenden notablemente la confortabilidad y estabilidad del vehículo, se acoplan entre el bastidor y las ruedas elementos de elasticidad que permiten transformar los golpes que producen el pavimento sobre las ruedas en oscilaciones.

Según (Martín & Marco, 2012) las funciones fundamentales de un sistema de suspensión son:

Dar estabilidad al vehículo ante las irregularidades del pavimento dando el mayor confort posible a sus ocupantes (p.45)

Figura 7

Sistema de suspensión convencional



Nota. La figura muestra un esquema del sistema de suspensión convencional visualizando los componentes internos que conforman el sistema. Recuperado de (Martín & Marco, 2012)

A continuación, se muestra la clasificación de los diferentes tipos de sistemas de suspensión existentes y sus respectivas aplicaciones.

Componentes del sistema de suspensión

Muelles

El muelle es una barra de acero elástico de sección circular, enrollada de forma continua en torno de un eje imaginario, trabajan de forma proporcional a la carga que deben soportar, acortando o alargando su longitud en función a las irregularidades de la calzada. (Casado, Navarro, Morales, & Díaz, 2018)

Se utilizan en vehículos en donde la carga no varía significativamente en condiciones de carga o descarga, generalmente se los puede encontrar en vehículos turismo.

Su flexibilidad depende de varios factores como:

- Diámetro de la barra de acero.
- Diámetro del arrollamiento
- Características del material de construcción.
- Distancia entre espiras
- Número de espiras
- Su forma constructiva

Figura 8

Muelle de una suspensión

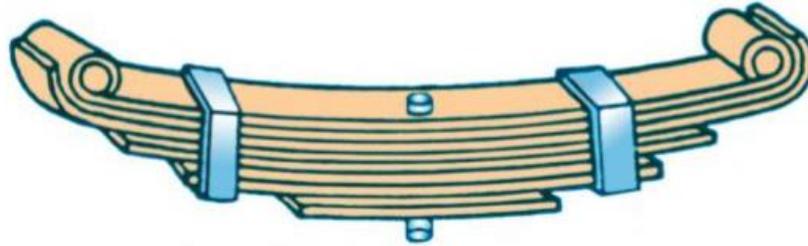


Nota. Muelle de una suspensión con sus factores constructivos. (Casado, Navarro, Morales, & Díaz, 2018)

Ballestas

Este componente se utiliza en la industria o en vehículos pesados, consta de un conjunto de hojas de acero superpuestas y unidas a través de abrazaderas las cuales permiten el desplazamiento entre ellas cuando se deforman por el peso que sufren o las aceleraciones a las cuales están sometidas.

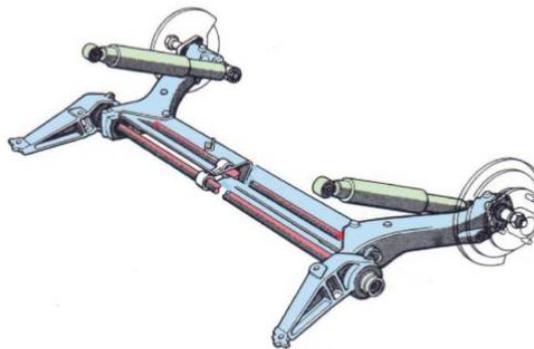
En su composición la hoja superior se llama maestra y en sus extremos se encuentran un buje para realizar la sujeción al chasis del vehículo. Su posición se puede encontrar longitudinal o transversalmente.

Figura 9*Ballestas*

Nota. En la figura se muestra el componente del sistema de suspensión el cual corresponde a las ballestas que son utilizados en vehículos que soportan grandes esfuerzos. Recuperado de (Casado, García, Morales, Navarro, & Jiménez, 2020).

Barra de torsión

Las barras de torsión se los utiliza generalmente en el eje trasero, se compone de una barra de acero elástico que está sometida a esfuerzos de torsión, de tal manera que uno de los extremos está fijados al chasis mientras que el otro está al brazo o trapecio de la rueda. Su función principal aborda en mantener la rueda presionada hacia el suelo y permite aumentar la torsión o liberarla de acuerdo con las irregularidades del terreno.

Figura 10*Barra de torsión*

Nota. En la figura se muestra la representación de una barra de torsión la cual es parte del sistema de suspensión. Recuperado de (Casado, Navarro, Morales, & Díaz, 2018)

Barras estabilizadoras

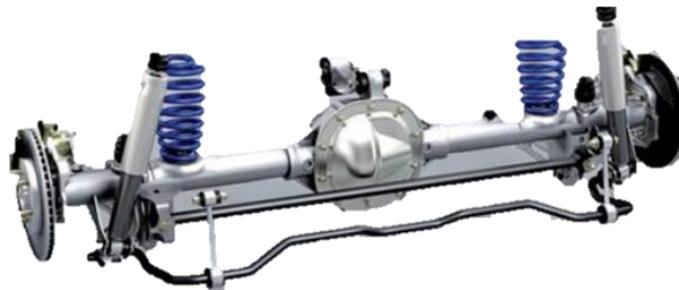
Las barras estabilizadoras se utilizan tanto en el muelle delantero como en el trasero. Su función consiste en disminuir el balanceo del vehículo al momento de entrar a una curva a cierta velocidad. Se trata de una barra de acero elástico situada entre los brazos de la rueda de un mismo eje, anclada en su parte central a la carrocería a través de soportes de caucho.

Al momento que el vehículo se encuentre estabilizado es gracias a la acción de la barra estabilizadora la cual ejerce presión sobre las ruedas.

En la situación que el vehículo entra a una curva la rueda que se encuentra en la parte interior de la curva tiende a levantarse por acción de las fuerzas del vehículo, la función principal de la barra es limitar el movimiento vertical de esta rueda manteniéndola en contacto con el suelo.

Figura 11

Barra estabilizadora



Nota. En la figura se muestra la barra estabilizadora conectada a las bieletas de sujeción. Recuperado de (Casado, García, Morales, Navarro, & Jiménez, 2020)

Tirantes de reacción

Son barras de acero que unen el eje trasero de las ruedas p determinados elementos de la suspensión delantera con la carrocería del vehículo. Su misión es sujetar longitudinalmente el eje o los elementos que conforman la suspensión para evitar el

desplazamiento tanto en las aceleraciones como en las retenciones. (Casado, Navarro, Morales, & Díaz, 2018)

Figura 12

Tirantes de sujeción o links



Nota. En la figura se muestra la posición de los tirantes de la suspensión. Recuperado de (Casado, Navarro, Morales, & Díaz, 2018)

Brazos de suspensión

Son elementos que unen la carrocería con la rueda mediante una mangueta o un buje, según sea el tipo de suspensión. La unión de la mangueta se realiza por medio de rótulas, según el autor (Casado, Navarro, Morales, & Díaz, 2018) las funciones principales son:

- Actúa como guía de la rueda
- Sujetar la mangueta
- Transmitir el empuje de las ruedas a la carrocería
- Ser soporte de otros componentes de la suspensión.

Son elementos articulados que pueden tener muchas formas constitutivas, aunque lo más habitual es en forma trapezoidal, de ahí que se lo conoce como trapecios o brazos de suspensión.

Figura 13

Ejemplos de formas constitutivas de brazos de suspensión.



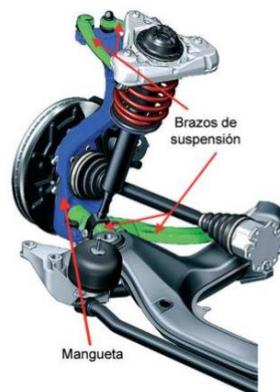
Nota. En la figura se muestra las diferentes formas que poseen los brazos de suspensión de acuerdo con el tipo de suspensión que utilice el vehículo. Recuperado de (Casado, Navarro, Morales, & Díaz, 2018)

Mangueta

Es el elemento donde va fijado la rueda a través del buje y donde se une el brazo inferior y superior de la suspensión.

Figura 14

Mangueta de la suspensión.



Nota. Mangueta de la suspensión donde se encuentran los brazos de la suspensión. Recuperado de (Casado, Navarro, Morales, & Díaz, 2018).

Rótula

La rótula está formada por un pivote cuyo extremo se acopla al elemento que los une, el otro extremo termina en forma de esfera y se encuentra alojada entre dos casquillos de fricción. Todo el conjunto se encuentra lubricado y protegido por un fuelle. El extremo tiene una forma cónica para conseguir un buen acoplamiento sin holguras, terminando en una zona roscada, donde se utiliza una tuerca autofrenante para el apriete de la unión. La rótula de la suspensión permite un pequeño movimiento vertical y una gran rotación.

Figura 15

Componentes internos y externos de la rótula.



Nota. En la figura se muestra los componentes de la rótula que se encuentra en los brazos de la mangueta. Recuperado de (Casado, Navarro, Morales, & Díaz, 2018)

Amortiguadores

El principal objetivo de los amortiguadores es controlar las oscilaciones de los elementos elásticos para contribuir con la estabilidad de marcha del vehículo y su confort. Este confort lo realiza con la acción de transformar en calor la energía cinética que poseen los elementos elásticos cuando sufren compresión o descompresión.

Las ventajas que se muestran cuando los amortiguadores se encuentran en buen estado son las siguientes:

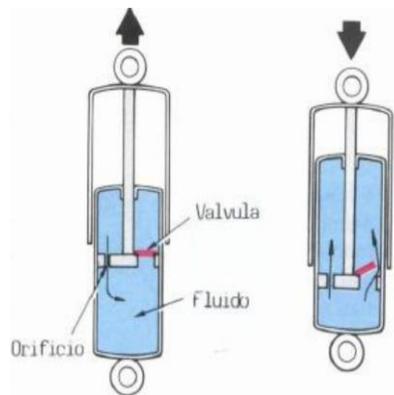
- Proporcionan una mayor seguridad y confortabilidad al disminuir las oscilaciones en la carrocería.
- Disminuye el balanceo del vehículo proporcionando una trayectoria más estable.
- Aumenta la adherencia al suelo y disminuye la distancia de frenado.
- Reduce considerablemente la inclinación de la carrocería, mejora la deformación del neumático con respecto al suelo beneficiando al agarre y a la tracción.

Los amortiguadores más utilizados en los automóviles son los de tipo telescópico y estos de los clasifica de la siguiente manera:

Amortiguador de simple efecto Este tipo de amortiguadores solo amortiguan en un solo sentido el cual es con el movimiento, compresión o expansión.

Figura 16

Amortiguador de simple efecto

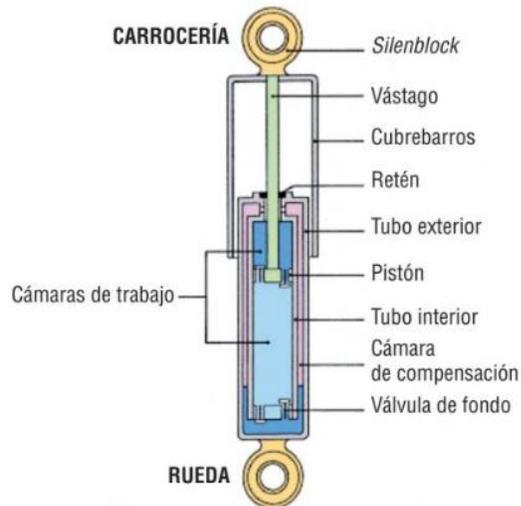


Nota. En la figura se muestra la representación de un amortiguador de simple efecto como sus componentes y movimientos que realiza. Recuperado de (Casado, Navarro, Morales, & Díaz, 2018)

Amortiguador de doble efecto Amortiguan en ambos sentidos, estos se los puede subclasificar en monotubos y bitubos.

Figura 17

Partes de un amortiguador de doble efecto bitubo



Nota. En la figura se muestra la representación de un amortiguador bitubo de doble efecto con todos sus componentes. Recuperado de (Casado, García, Morales, Navarro, & Jiménez, 2020)

Ambos amortiguadores basan su funcionamiento en la circulación de aceite de unas de las cámaras a otras a través de unas válvulas que controlan el paso. Su grado de amortiguación es según el diseño y la velocidad a la cual se produzca las compresiones y extensiones. (Casado, García, Morales, Navarro, & Jiménez, 2020)

Tipos de sistemas de suspensiones

Las suspensiones mecánicas convencionales se clasifican según (Jesús Calvo Martín, 2012) fundamentalmente en tres tipos:

- Rígidas
- Semirrígidas

- Independientes

Esta clasificación se establece de acuerdo con el grado de dependencia entre la suspensión y las ruedas que comprenden en el eje.

En la actualidad, el tipo de suspensión más utilizado en los vehículos turismos es el sistema independiente en la cual no se transmite vibraciones entre ruedas ni ejes.

(p.45)

Suspensión Rígida

El concepto de la suspensión rígida de acuerdo con el autor (Martín & Marco, 2012) determina que “La suspensión rígida es un tipo de suspensión que tiene unido las ruedas mediante un eje rígido de forma conjunta.

Este sistema presenta el inconveniente que, al estar unido ambas ruedas, las vibraciones producidas por acción de las irregularidades de la carretera o el pavimento se transmite de un lado al otro del eje, además el peso de las masas no suspendidas aumenta notablemente debido al peso del eje rígido y al peso del grupo cónico diferencial en los vehículos de tracción trasera” (p.46)

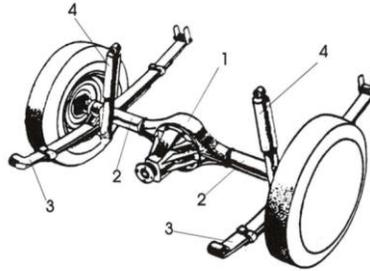
El principal uso de este tipo de suspensión se realiza sobre todo en vehículos industriales, autobuses y camiones.

En la actualidad se los utiliza en algunos vehículos de turismo en el eje trasero ya sean propulsores o no.

A continuación, se muestra una ilustración que representa el sistema de suspensión con eje rígido con tracción trasera.

Figura 18

Sistema de suspensión con eje rígido.



Nota. La figura muestra el sistema de suspensión de eje rígido con sus diferentes componentes que se muestran a continuación. Recuperado de (Martín & Marco, 2012)

El sistema se compone de los diferentes componentes.

1. Diferencial
2. Palieres
3. Ballestas
4. Amortiguadores telescópicos

Suspensión Semirrígida

De acuerdo con el autor (Martín & Marco, 2012)

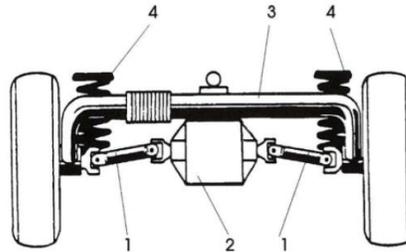
“La suspensión semirrígida es parte de la familia de las suspensiones de eje rígido, por lo tanto, la diferencia principal entre la suspensión de eje rígido y la semirrígida, es que la suspensión semirrígida transmite de forma parcial el movimiento entre las ruedas.

Las oscilaciones que se generan por este tipo de suspensión disminuyen notablemente, por otra parte, el peso no suspendido disminuye respecto a las suspensiones rígidas, igualando la funcionalidad de este sistema comparado con el anterior” (p.47)

A continuación, se muestra la representación del sistema de suspensión semirrígido.

Figura 19

Sistema de suspensión semirrígido



Nota. En la figura se muestra el sistema de suspensión semirrígido con sus diferentes componentes. Recuperado de (Martín & Marco, 2012).

A continuación, se muestra los diferentes componentes los cuales son parte del sistema de suspensión semirrígido.

Suspensión independiente

En la descripción que muestra el autor (Martín & Marco, 2012).

“La suspensión independiente es la más utilizada en la mayoría de los vehículos turismo debido a que no existe transmisión de oscilaciones entre las ruedas, reduciendo el peso no suspendido frente a otras suspensiones como son las suspensiones rígida y semirrígida. Actualmente es el único tipo de suspensión que se utiliza entre las ruedas directrices” (p.50)

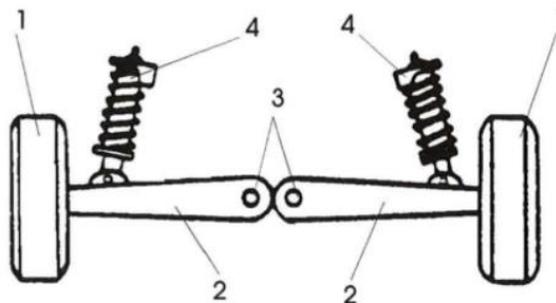
Las principales disposiciones que se utilizan en el sistema de suspensión independiente son:

Suspensión de eje oscilante. En el sistema de suspensión de eje oscilante lo particular recae en el elemento de rodadura y el semieje, son solidarios de forma en conjunto el cual oscila alrededor de una articulación próxima al plano medio longitudinal del vehículo. (Martín & Marco, 2012) (p.50).

A continuación, se muestra una ilustración del sistema de suspensión independiente de eje oscilante.

Figura 20

Sistema de suspensión independiente de eje oscilante.



Nota. En la figura se muestra la representación del sistema de suspensión independiente de eje oscilante con los componentes que lo comprenden. Recuperado de (Martín & Marco, 2012).

Los componentes que comprenden este sistema de suspensión son:

1. Ruedas.
2. Semi ejes.
3. Puntos de anclaje.
4. Resortes con amortiguadores.

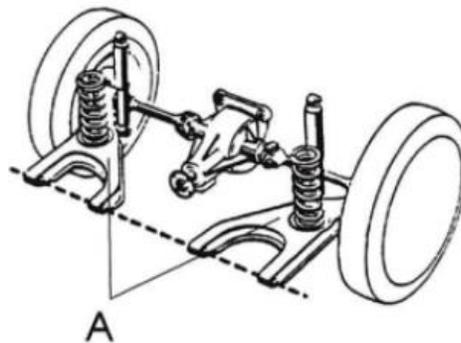
Suspensión de brazos tirados La suspensión de brazos tirados o arrastrados ha dado un gran número de variantes cuyas diferencias están fundamentalmente en cuál es el eje de giro del brazo tirado en el anclaje del bastidor y cuál es el elemento elástico que utiliza.

Uno de los elementos más utilizados actualmente en los trenos traseros es la barra de torsión según el autor (Martín & Marco, 2012) (p.51)

En la siguiente figura se muestra una representación de los componentes que posee el sistema de suspensión independiente con brazos tirados.

Figura 21

Sistema de suspensión independiente con brazos tirados.



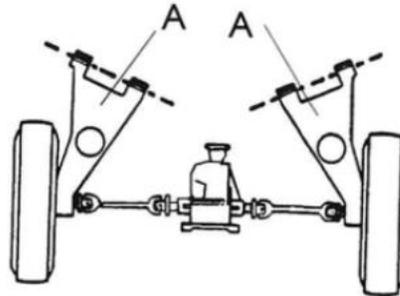
Nota. En la figura se muestra la representación de un sistema de suspensión independiente de brazos tirados con sus componentes. Recuperado de (Martín & Marco, 2012).

El funcionamiento del sistema de suspensión independiente de brazos oscilantes, los brazos longitudinales (A) pivotan sobre un eje de giro perpendicular al plano longitudinal del vehículo.

Este tipo de suspensión apenas produce variaciones de vía, caída o avance de la rueda.

Figura 22

Vista posterior del sistema de suspensión de brazos tirados



Nota. En la figura se muestra la vista posterior del sistema de brazos tirados, con sus componentes y configuración del sistema. Recuperado de (Martín & Marco, 2012)

La principal ventaja del sistema de suspensión es que no requieren de estabilizadores longitudinales, debido a la componente longitudinal que tiene el propio brazo o soporte, en este tipo de suspensión la variación de la caída y de vía depende de la posición e inclinación de los brazos longitudinales.

Suspensión McPherson. Según el autor (Martín & Marco, 2012) La suspensión tipo McPherson

“Es una de las suspensiones más utilizadas actualmente, puesto que la luz de los muelles helicoidales se dispone encerrado en su interior amortiguador”. (p.53)

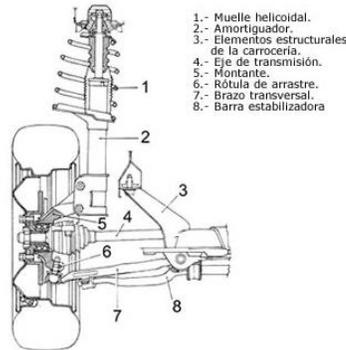
La unión de la carrocería se lo realiza mediante una unión flexible con un cojinete axial permitiendo el giro del conjunto amortiguador con la rueda, esta unión permite absorber además las posibles vibraciones y ruidos.

La suspensión McPherson tiene como principal ventaja que las reacciones de la suspensión sobre caen y se aplican en la carrocería en las zonas rígidas y bien espaciadas. La desventaja de este tipo de suspensión es que la fuerza de rozamiento que se genera produce consecuencia del deslizamiento de los elementos que hacen guía en los amortiguadores son elevadas al ser estos elementos portantes en las suspensiones.

A continuación, se muestra la representación del sistema de suspensión independiente tipo McPherson.

Figura 23

Sistema de suspensión McPherson



Nota. La figura muestra la representación del sistema de suspensión tipo McPherson con todos los componentes y disposición de ellos. Recuperado de (Martín & Marco, 2012)

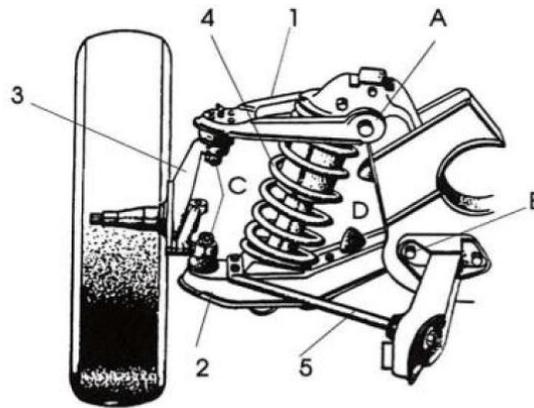
Suspensión de paralelogramo deformable. El tipo de suspensión de paralelogramo deformable según el autor (Martín & Marco, 2012)

“Es una de las suspensiones más utilizadas en un gran número de automóviles tanto para el tren delantero como para el tren trasero, este sistema está formado por un brazo superior y otro inferior que están unidos al chasis por los ejes A y B respectivamente cerrando el paralelogramo a un lado. (p.56)

La mangueta está articulada con los brazos mediante rótulas esféricas que permiten la orientación de la rueda, los elementos elásticos y amortiguadores coaxiales son del tipo resorte helicoidal e hidráulico telescópico respectivamente y están unidos por su parte inferior al brazo inferior y por su parte superior al bastidor.

Figura 24

Sistema de suspensión de paralelogramo deformable



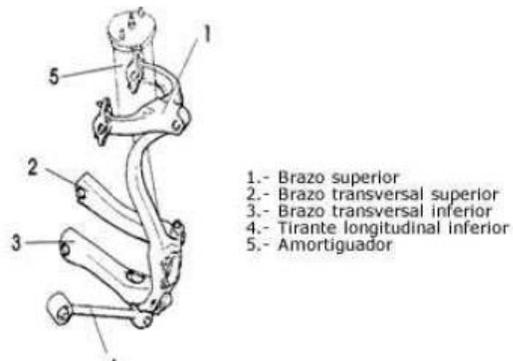
Nota. En la figura se muestra la representación del sistema de suspensión de paralelogramo deformable con todos sus componentes y disposición de estos. Recuperado de (Martín & Marco, 2012)

Suspensión multibrazo o multilink. Las suspensiones multibrazo se basan en el mismo concepto de los sistemas de suspensiones de paralelogramo deformable, lo cual consta de dos brazos transversales, la mangueta de la rueda y el propio bastidor. (Martín & Marco, 2012)

La diferencia de este sistema es que la regulación de la posición de la rueda puesto que es independiente para modificar la caída o la convergencia de esta, esto significa que las dinámicas longitudinales y transversales pueden modificarse de forma eficaz y precisa, teniendo como consecuencia un grado máximo de estabilidad.

Figura 25

Sistema de suspensión multibrazo



Nota. En la figura se representa un sistema de suspensión multibrazo con los componentes que lo conforman y la disposición en la que se encuentra. Recuperado de (Martín & Marco, 2012).

Suspensión Neumática

El sistema de suspensión neumática se basa en el principio que una suspensión convencional, el cual es reducir las oscilaciones causados por el pavimento hacia los ocupantes. (Audi, 2010)

Los principales objetivos de la suspensión neumática son los siguientes:

- Mantener la altura constante del vehículo independientemente de la carga.
- Corregir la altura del vehículo según el tipo de terreno
- Ofrecer más seguridad de circulación en diversos tipos de terrenos.
- Ofrece más confortabilidad a los ocupantes incluso en el acceso o carga del vehículo.

El sistema de suspensión neumática se compone de los siguientes sistemas.

Circuito neumático

Todos los elementos presentes en el sistema utilizan la presión de aire para su accionamiento el cual beneficia el sistema puesto que es un refrigerante integrado en el mismo.

Sistema mecánico

El sistema mecánico del sistema de suspensión neumático se compone de brazos de suspensión y amortiguadores, los cuales son órganos básicos del sistema de suspensión.

Circuito eléctrico

El circuito eléctrico se compone de sensores, actuadores y controladores los cuales mediante órdenes previamente programadas determinan el funcionamiento íntegro del sistema dependiendo las condiciones a las cuales está sometido al sistema.

Circuito electrónico

El circuito electrónico nos permite mediante la implementación de un microcontrolador configurar las condiciones de uno de los diferentes sensores actuadores, determinando parámetros de funcionamiento para todo el sistema.

Componentes del sistema de suspensión neumática

Los componentes principales de este tipo de suspensión son los siguientes.

1. Unidad de control del sistema de suspensión
2. Selector de control de suspensión
3. Compresor de aire
4. Acumulador de aire
5. Bloque de electroválvulas
6. Bloque de control de reserva
7. Sensor de altura
8. Filtro de aire
9. Silenciador
10. Amortiguadores con muelles neumáticos.

A continuación, se presenta la representación gráfica del sistema de suspensión neumática.

Figura 26

Sistema de suspensión neumática



Nota. En la figura se muestra la representación de un kit de suspensión neumática con todos los componentes. Recuperado de (Sound-Carss, 2023)

A continuación, se describe cada uno de los elementos que componen el sistema de suspensión neumático.

Unidad de control del sistema de suspensión

Controla el funcionamiento del sistema esto incluye los componentes como: compresor, electroválvulas, sensores y actuadores del sistema. Las condiciones que se emplean son previamente programadas para determinar el funcionamiento del sistema. Es el componente de control de la suspensión neumática.

Figura 27

Unidad de control electrónico



Nota. La figura representa la unidad de control del sistema de suspensión neumática el cual tiene la función de controlar el circuito eléctrico y electrónico del sistema. Recuperado de (Viking, 2023).

Selector de control de suspensión

El sistema de selector de control de altura permite al usuario determinar la condición de altura dada en la suspensión dependiendo de las condiciones de terreno y la velocidad a la cual se encuentre el vehículo.

Figura 28

Selector manual de control de altura



Nota. En la figura se muestra la representación del selector manual de altura el cual tiene la posibilidad de modificar la altura a voluntad del usuario. Recuperado de (Sound-Carss, 2023)

Compresor de aire

Consta de un motor eléctrico y una bomba de pistón el cual es el encargado de generar la presión de aire que necesita el sistema para poder realizar la elevación del vehículo siendo la presión del trabajo media alrededor de 16 bar. La bomba está constituida por una unidad de control para mantener la presión del sistema.

Figura 29

Compresor de aire



Nota. La figura muestra la representación del compresor del sistema de suspensión. Recuperado de (Arleyalvarezvento, 2021)

Acumulador de aire

Es el elemento que se encarga de acumular el aire a presión quedando como reserva para su posterior utilización, la presión de reserva nominal es aproximadamente de 16 *bares*, debido a la forma del tanque se genera el fenómeno de condensación del aire el cual produce agua en el interior del acumulador, por tal motivo es importante purgar el sistema periódicamente.

Figura 30

Acumulador de aire del sistema neumático



Nota. En la figura se muestra la representación del acumulador de aire presente en el sistema de suspensión neumática. Recuperado de (Alibaba, 2023)

Bloque de electroválvulas

El sistema se compone de un bloque de electroválvulas el cual controla el paso de aire hacia las boyas o pulmones neumáticos los cuales son los actuadores principales del sistema de suspensión ya que permiten la variación de altura del vehículo. Este bloque de electroválvulas se compone de 4 vías de entrada de aire y 4 vías de salida los cuales son controladas de manera manual o automáticamente mediante un microcontrolador.

Figura 31

Bloque de electroválvulas



Nota. En la figura se muestra la representación del bloque de electroválvulas las cuales controlan el paso de aire hacia los diferentes componentes del sistema neumático.

Recuperado de (Mercadolibre, 2023)

Amortiguador con muelle neumático

Es un depósito de aire que adquiere la presión aplicada al sistema para alcanzar la altura deseada del vehículo, cumple la función del muelle en el sistema de suspensión convencional. Su objetivo es absorber las oscilaciones generadas por el desplazamiento del vehículo y la irregularidad de la calzada donde se moviliza.

Figura 32

Muelle neumático del sistema de suspensión neumático



Nota. En la figura se muestra el muelle neumático el cual es el encargado de llenarse con aire cumpliendo la función de un muelle helicoidal de un sistema de suspensión convencional. Recuperado de (Made-in-China, 2023)

Funcionamiento de la suspensión neumática

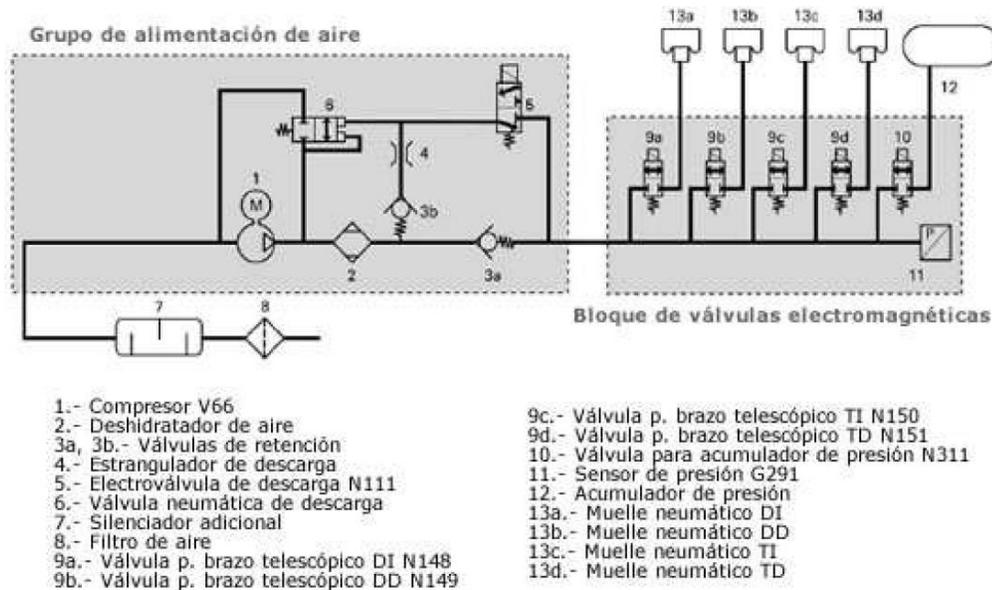
El funcionamiento de la suspensión neumática se basa en el aprovechamiento de la condición de elasticidad que posee una cantidad de gas (aire o nitrógeno) que ocupa el resorte neumático.

Este sistema mantiene constante la altura de la carrocería sin tomar en cuenta el valor de la carga. Básicamente un compresor envía aire hacia los diferentes resortes neumáticos para modificar la altura de la carrocería. La altura de la carrocería en el eje delantero y trasero es registrada por los sensores de nivel y es transmitido a la unidad de control.

El circuito neumático funciona en dos periodos los cuales corresponden a presurización y despresurización.

Figura 33

Sistema neumático con control electrónico



Nota. En la figura se muestra el esquema del sistema neumático con control electrónico.

Recuperado de (César & Alberto, 2011)

Periodo de presurización

Los muelles son cargados a través del acumulador de aire, para lo cual la válvula (10 y 9) se abren correspondientes a los ejes. El acumulador de aire (12) se carga haciendo que el compresor (1) alimente aire a través de la válvula (10) que se encuentra abierta. (César & Alberto, 2011)

Si el vehículo se encuentra lateralmente desigual las válvulas (9a y 9d) se excitan para compensar la altura y posición. Las válvulas (9a, 9b y 9c, 9d) son excitadas eléctricamente en parejas correspondientemente al eje que controlan. Siguiendo con el circuito, el aire es aspirado por el compresor (1) a través del filtro (8) y atraviesa el silenciador (7). Finalmente, el aire comprimido pasa por el deshidratador (2) y la válvula de retención (3a y 9) se abren para dar el paso de aire hacia los muelles neumáticos

Despresurización

El grupo de válvulas (9a, 9b y 9c, 9d) y la electroválvula de descarga (5) se abren. El aire pasas a través de la válvula de descarga (5) y abre así a válvula de descarga adicional (6) que se encuentra neumáticamente pilotada. (César & Alberto, 2011)

El aire se libera mediante la válvula (6) con el cual pasa por el silenciador (7) y el filtro de aire (8).

Sensores del sistema

Sensor de presión

El sensor de presión se lo utiliza para poder controlar la presión suministrada por el compresor hacia el acumulador de aire, el principio de funcionamiento se realiza directamente a través de una deformación de una membrana o por medio de un sensor de fuerza. La aplicabilidad en los diferentes sistemas se lo clasifica depende de la presión máxima que soporta el sensor, para el caso de una suspensión neumática la presión de trabajo máxima corresponde a 16 bar. (Bosch, 2005)

Figura 34

Sensor de presión



Nota. La figura muestra la representación del sensor de presión existente en el sistema de suspensión neumática. Recuperado de (Ulupar Tır Yedek Parça Ulupar Truck Spare, 2023)

Sensor de temperatura del compresor

El sensor de temperatura comprende de una resistencia NTC en un cuerpo de vidrio. Su trabajo es detectar la temperatura en la culata del compresor. Su resistencia se reduce a medida que la temperatura aumenta, esta variación de la resistencia es analizada por la unidad de control.

Figura 35

Sensor de temperatura



Nota. En la figura se muestra la representación de un sensor de temperatura NTC utilizado en el compresor. Recuperado de (Emerson, 2023)

Concepto general de regulación

La regulación de altura o de nivel se lo realiza generalmente por ejes los cuales compensan la estabilidad del vehículo de acuerdo con la carga focalizada que se encuentre en los diferentes puntos de este.

Las condiciones de compensación están dadas por ciertas características de manejo, como la situación que el vehículo se encuentre a menos de 35 *km/h*, la opción de regulación es utilizar la presión del acumulador a manera de fuente de energía. Esto compensa la falta de presión entre el acumulador y los muelles neumáticos.

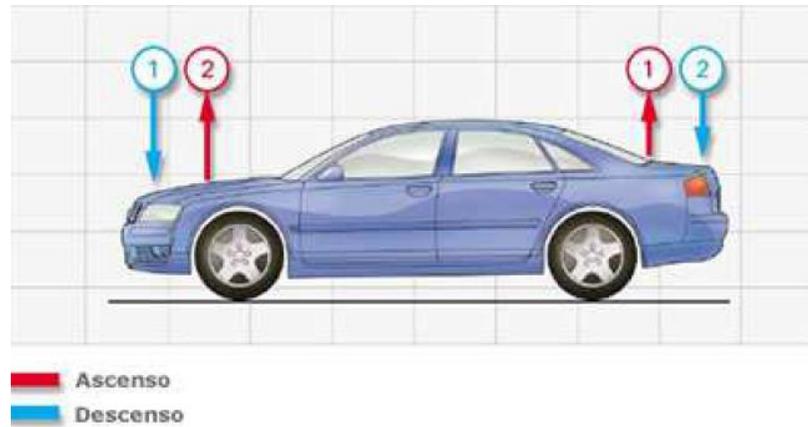
Operaciones de cambio de nivel

Ascenso Primero asciende el eje trasero y luego el eje delantero.

Descenso Primero desciende el eje delantero y luego el trasero.

Figura 36

Ascenso y descenso del sistema de suspensión.



Nota. En la figura se muestra la representación de las acciones que se realizan mediante el sistema de suspensión neumática. Recuperado de (César & Alberto, 2011)

Capítulo III

Diseño del sistema de suspensión neumática controlada electrónicamente

Para iniciar con el proceso de diseño e implementación del sistema de suspensión se considera los parámetros de diseño, los modos de funcionamiento, selección de componentes a implementar tanto mecánicos, eléctricos y electrónicos como a su vez los diagramas de conexión y consideraciones requeridas al momento de implementar el sistema.

El diseño del sistema considera aspectos de estabilidad y confort a los ocupantes, evidenciado en el comportamiento del vehículo mediante el análisis de vibraciones, aceleraciones y velocidades angulares en tiempo real considerando los parámetros de pruebas previamente establecidos, para la obtención de datos a fin de comparar los datos obtenidos con el sistema de suspensión convencional y el sistema neumático controlado electrónicamente.

Parámetro de diseño

Se dimensionó los parámetros caracterizando el funcionamiento del sistema de suspensión neumática controlada electrónicamente como: presión, caudal, voltaje, recorrido del muelle, así también condiciones del vehículo como: peso de carga, velocidad de viaje, distancia recorrida, obstáculos en vía; de tal manera que al seleccionar materiales y componentes adecuadas a través de procedimientos óptimos en cada etapa de manufactura del sistema de suspensión.

Modos de funcionamiento

Los modos de funcionamiento están enfocados en los parámetros de control y la intervención del usuario, el objetivo principal es la mejora de estabilidad y el confort del usuario por tal motivo los modos de funcionamiento son manual y automático.

Modo manual

En este modo de funcionamiento el usuario tendrá la capacidad de modificar la altura del vehículo a voluntad a las condiciones más recomendadas para su correcto funcionamiento.

En este modo de funcionamiento la lectura de los sensores no es relevantes puesto que el usuario tiene el control de la altura mediante la activación del sistema para permitir que el compresor se active y se pueda llenar el tanque de reserva que es el eje principal del sistema de suspensión.

Modo automático

En el modo automático se trabaja mediante parámetros previamente establecidos en la unidad de control, en la cual se toma los valores obtenidos por los diferentes sensores de la suspensión neumática.

El módulo automático brinda dos condiciones de altura que pueden ser seleccionados por el usuario, con el fin de establecer al vehículo a dos alturas previamente registradas en la unidad de control electrónico.

Las características de funcionamiento del sistema de suspensión neumática en el modo automático son:

- Regular la altura del vehículo
- Regular la altura de acuerdo con la carga que soporta
- Disminuir las vibraciones que se producen cuando el vehículo se encuentra desplazándose

Diseño mecánico

El diseño mecánico se compone de la selección de componentes fundamentales del sistema de suspensión neumático considerando aspectos constructivos de cada uno de ellos y sobre todo analizando los requerimientos que presenta el vehículo en funcionamiento.

En primera instancia se realiza la selección del sistema neumático básico como: compresor, mangueras, válvulas neumáticas, acoples y otros.

La suspensión neumática consta de los siguientes componentes principales:

- Sistema de muelles neumáticos tubulares arrollables.
- Amortiguadores estándar incorporados en muelles neumáticos.
- Grupo de alimentación de aire el cual consta de: compresor de aire, tanque de reserva, bloque de electroválvulas, mangueras de conexión.

Para la selección de estos elementos se los determina de acuerdo con los requerimientos del vehículo en las diferentes condiciones de conducción.

Selección del muelle neumático

Para la selección del muelle neumático es uno de los elementos principales ya que mediante este elemento neumático se controla la altura de elevación del vehículo, por lo tanto, para la implementación en el vehículo Datsun 160J se diferencia la selección de los muelles de acuerdo con el eje de trabajo.

Para el eje posterior los muelles que se utilizan son muelles neumáticos sin amortiguador

Para el eje delantero los muelles que se utilizan son muelles neumáticos con amortiguador hidráulico.

En el mercado existen varios ejemplares con diferentes prestaciones, pero para seleccionar el que se adapta a los requerimientos se debe conocer parámetros claves que determinan esta selección como es la presión mínima requerida para elevar el vehículo.

Presión mínima requerida para elevar el vehículo

Para determinar la presión mínima para elevar el vehículo se determina el peso que se debe levantar por eje.

Peso del vehículo

El peso del vehículo en una balanza sin carga adicional corresponde a 970 Kg. Teniendo un coeficiente de seguridad del 50% del peso total del vehículo, tomando en consideración número de pasajeros, carga adicional y fuerzas externas presentes en el vehículo. Por lo tanto el cálculo del peso de trabajo es:

Ecuación 4: Peso total del vehículo

$$\text{Peso } (P_t) = P_{nt} + \lambda$$

$$\text{Peso normal del vehículo } (P_{nt}) = 970 \text{ kg}$$

$$\text{Coeficiente de seguridad } (\lambda) = 0.5P_{nt} = 0.5(970)$$

$$\lambda = 485 \text{ kg}$$

$$P_t = 970 \text{ kg} + 485 \text{ kg}$$

$$P_t = 1455 \text{ Kg}$$

$$\text{Equivalencia } P_t = 1455 \text{ Kg} = 1455 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 14273,55 \text{ N}$$

Para considerar la repartición de pesos se considera el tipo de tracción que posee el vehículo, en este caso al ser tracción trasera la repartición de pesos es de 55% eje delantero 45% eje trasero con la configuración motor delantero y tracción trasera, teniendo los siguientes valores.

Ecuación 5: Peso total del eje delantero del vehículo

$$\text{Peso del eje delantero} = P_{td} = 55\%P_t$$

$$P_{td} = 0,55(14273,55 \text{ N}) = 7850,45 \text{ N}$$

Ecuación 6: Peso total del eje trasero del vehículo

$$\text{Peso del eje posterior} = P_{tp} = 45\%P_t$$

$$P_{tp} = 0,45(14273,55 \text{ N}) = 6423,10 \text{ N}$$

Una vez obtenido el peso distribuido entre los ejes delantero y posterior se procede al cálculo del peso que soporta cada neumático para poder determinar parámetros de diseño necesarios para la selección de los muelles neumáticos.

Para el eje delantero

Ecuación 7: *Pesos que soporta cada neumático eje delantero*

$$\text{Peso que soporta cada neumático} = \frac{P_{td}}{n}$$

$$P_{ed} = \frac{7850,4525 \text{ N}}{2} = 3925,23 \text{ N}$$

Para el eje posterior

Ecuación 8: *Pesos que soporta cada neumático eje posterior*

$$\text{Peso que soporta cada neumático} = \frac{P_{tp}}{n}$$

$$P_{ed} = \frac{6423,09 \text{ N}}{2} = 3211,54 \text{ N}$$

Una vez establecida la fuerza que soporta cada eje, es notorio que el eje delantero soporta mayor peso puesto que en esta posición se encuentra ubicado el motor, por lo tanto, es necesario calcular la presión mínima ejercida en cada uno de los ejes para poder variar su altura. Con esta información se procede a la selección de los muelles neumáticos que soporten la presión mínima y máxima requerida.

Presión de aire del sistema

Para determinar si el muelle neumático seleccionado va a satisfacer las necesidades de presión se procede a calcular la presión mínima que necesita el muelle neumático para levantar el peso máximo del eje.

Para el eje delantero

De los valores obtenidos anteriormente se deduce que el peso máximo que debe soportar los muelles neumáticos del eje delantero es 3925,23 N, y el espacio en que va alojado el muelle neumático es de 11 cm; esta medida se determinó con las dimensiones del muelle helicoidal de acero propia de la suspensión convencional.

Para determinar la presión mínima (P_{min}) del eje delantero se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 9: *Presión en un sistema de aire.*

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

En las que σ Presión [Pa]

F Fuerza [N]

A Área [m^2]

Para poder determinar la presión mínima requerida por el sistema se requiere de los siguientes datos que se presentan a continuación.

Como dato se presenta los siguientes valores

$$Fuerza = P_{td} = 7850,45 N$$

El espacio disponible para la implementación del muelle neumático corresponde a 11 cm, pero por factores de seguridad y evitar fricciones con otros componentes aledaños, para lo cual el espacio de implementación del pulmón es de 10 cm.

Se considera que el área de contacto entre el muelle neumático y el chasis del vehículo es en las dos partes del muelle puesto que la fuerza ejercida es en ambas direcciones, por lo tanto, se suman los diámetros para encontrar la presión requerida.

$$Diámetro \text{ útil del muelle neumático} = \phi_p = 6.3in = 0.16 m$$

Se procede a calcular el área de la base del muelle neumático para poder determinar la presión que existe en el muelle neumático.

Ecuación 10: Área de un círculo.

$$A = \pi * \frac{\phi_p^2}{4}$$

$$A = \pi * \frac{(0.16)^2}{4} = 0.02 \text{ m}^2$$

Para determinar la presión mínima corresponde a:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{3925,23 \text{ N}}{0.02 \text{ m}^2} = 196261.5 \text{ Pa} = 28.47 \text{ PSI}$$

Para el eje posterior

De igual manera, se realiza el mismo procedimiento para poder determinar la presión mínima requerida para poder levantar el eje posterior del vehículo.

Con los datos obtenidos con anterioridad se puede determinar que la fuerza ejercida en el eje posterior corresponde a 3211,54 N, para lo cual se debe determinar la presión mínima

Se considera que el área de contacto entre el muelle neumático y el chasis del vehículo es en las dos partes del muelle puesto que la fuerza ejercida es en ambas direcciones, por lo tanto, se suman los diámetros para encontrar la presión requerida.

$$\text{Diámetro del muelle neumático} = \phi_{pext} + \phi_{pint} = 2.65 + 2.12 \text{ in} = 0.12 \text{ m}$$

Área de la base del pulmón

$$A = \pi * \frac{\phi_p^2}{4}$$

$$A = \pi * \frac{(0.12)^2}{4} = 0.013 \text{ m}^2$$

Para determinar la presión mínima corresponde a:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{3211,54 \text{ N}}{0.013 \text{ m}^2} = 283961.81 \text{ Pa} = 41.18 \text{ PSI}$$

Una vez determinada la presión mínima para cada eje se procede a la selección del muelle neumático que cumpla con los requerimientos de presión y dimensiones.

Los muelles neumáticos existentes en el mercado brindan diferentes prestaciones de uso y de recorrido, así como calidad. Para el caso de la suspensión neumática se utilizará los siguientes pulmones los cuales cumplen los parámetros de presión y dimensiones.

Muelle neumático seleccionado

Para el eje delantero

El muelle seleccionado para el eje delantero presenta las siguientes características constructivas las cuales benefician al propósito del proyecto puesto que su geometría permite incluir al amortiguador actual dentro del muelle neumático

Figura 37

Muelle neumático para el eje delantero



Nota. En la figura se muestra la representación del muelle neumático utilizado en el eje delantero. Recuperado de (Tebao, 2023)

Las características técnicas se presentan en la siguiente tabla, el cual permite considerar aspectos constructivos del muelle neumático.

Ficha técnica**Tabla 3***Ficha técnica del muelle neumático*

Parámetro	Valor	Unidad
Agujero del vástago	20	<i>mm</i>
Diámetro	90	<i>mm</i>
Altura	150	<i>mm</i>
Caudal	10	$\frac{mm^2}{s}$
Base	Aluminio	-
Presión máxima de trabajo	250	<i>Psi</i>
Presión mínima de trabajo	10	<i>Psi</i>
Vida útil	30000-50000	<i>km</i>

Nota. En la tabla se muestra un resumen de las características técnicas del muelle neumático utilizado en el eje delantero. (Tebao, 2023)

Para el eje posterior

El muelle seleccionado, es un muelle neumático generalmente utilizado para camiones el cual presenta las diferentes especificaciones técnicas.

Figura 38

Muelle neumático utilizado en la suspensión neumática

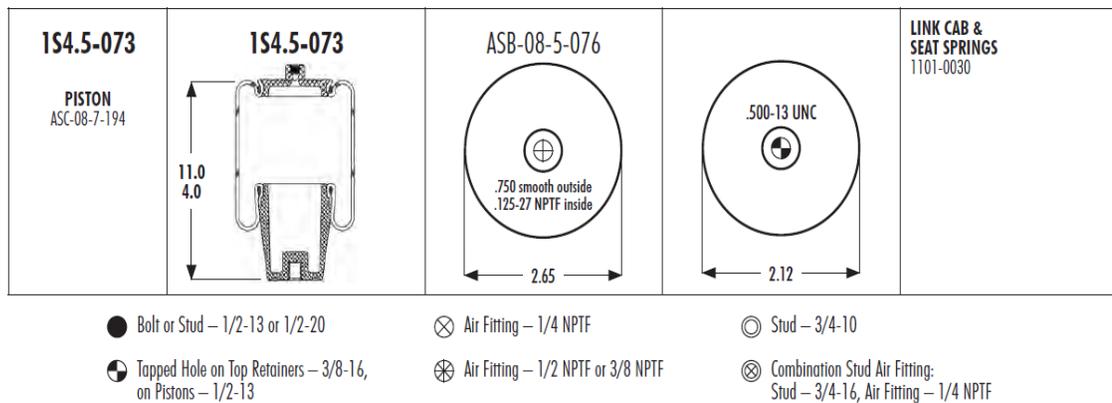


Nota. En la figura se muestra la representación del muelle neumático utilizado en el sistema de suspensión neumática. Recuperado de (Stemco, 2023)

Las dimensiones que presenta el manual del propietario se muestran a continuación, se puede verificar en el Anexo 1.

Figura 39

Dimensiones del muelle neumático



Nota. La figura muestra las dimensiones del muelle neumático el cual es el seleccionado para la implementación en el sistema de suspensión neumática. Recuperado de (Stemco, 2023)

Características técnicas del muelle neumático

Tabla 4

Características del muelle neumático

Parámetro	Valor	Unidad
Diámetro exterior	<i>67.31</i>	<i>mm</i>
Diámetro interior	<i>53.848</i>	<i>mm</i>
Carrera mínima	<i>101.6</i>	<i>mm</i>
Carrera máxima	<i>279.4</i>	<i>mm</i>
Presión de rotura	<i>200</i>	<i>Psi</i>
Presión máxima de trabajo	<i>100</i>	<i>Psi</i>
Presión mínima de trabajo	<i>25</i>	<i>Psi</i>

Nota. La tabla resumen los valores principales del muelle neumático. (Stemco, 2023)

El muelle neumático seleccionado cumple con las especificaciones de la implementación del sistema de suspensión neumática puesto que las presiones necesarias para levantar el vehículo no sobrepasa de la presión máxima que soporta el muelle neumático.

La entrada de aire tiene una dimensión de 1/8 " NTP en su conexión de aire.

Selección del compresor

En la selección del compresor se considera la demanda de presión que registra el sistema que levante el vehículo en ambos ejes, de tal manera, la suma de las presiones del eje delantero y posterior corresponde a 69.50 *Psi* por tal motivo para tener una tolerancia de consumo mayor se selecciona el siguiente compresor.

Figura 40

Compresor seleccionado para el sistema de suspensión neumática



Nota. En la figura se muestra el compresor seleccionado para el sistema de suspensión neumático el cual cumple con las especificaciones de diseño. Recuperado de (Amazon, 2023)

Ficha técnica

Tabla 5

Ficha técnica del compresor VXO 4840B

Parámetro	Unidad	Parámetro
Valor		Valor
Capacidad de carga	200	<i>PSI</i>
Ciclo de trabajo (100 PSI)	100	%

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal	1.8=0,85	<i>Cfm; l/s</i>
Interruptor de presión	170 ON – 200 OFF	<i>PSI</i>
Dimensiones	13.7 x 4.0 x 6.75	<i>in</i>
Material	Acero inoxidable	–
Voltaje	12	<i>V</i>
Nivel de ruido	115	<i>dB</i>
Peso	26.9	<i>lb</i>
Consumo máximo	23	<i>A</i>
Temperatura de trabajo	60	<i>°C</i>

Nota. La tabla resume las especificaciones técnicas del compresor seleccionado para el sistema de suspensión neumática. (Amazon, 2023)

Selección del tanque de reserva

Para la selección del tanque de reserva es necesario conocer el cual requerido por cada muelle neumático con el cual es capaz de levantar el vehículo a la altura deseada.

Cálculo del caudal necesario para cada muelle neumático.

Para el cálculo del caudal se tiene como principal objetivo el cálculo de los volúmenes de los muelles neumáticos los cuales son los receptores del caudal que se encuentra en el tanque de reserva. Para ello se considera los siguientes datos iniciales.

Tabla 6

Dimensiones del muelle neumático del eje posterior.

Parámetro	Valor	Unidad
Altura Total	27,94	
Altura del lóbulo	10,16	
Diámetro exterior del muelle	6,73	<i>cm</i>
Diámetro interior del muelle	5,38	

Tabla 7

Dimensiones del muelle neumático del eje delantero

Parámetro	Valor	Unidad
Altura Total	15	
Agujero del vástago	2	<i>cm</i>
Diámetro	9	

Nota. En la tabla se resumen las dimensiones de los muelles implementados en el sistema de suspensión neumático.

Para poder determinar el caudal de entrada necesario para inflar el muelle neumático se considera cada eje por separado puesto que los muelles neumáticos son diferentes dependiendo el eje.

Para el eje posterior

Para este eje se considera la geometría del muelle neumático como un cilindro por lo cual su volumen corresponde a:

Ecuación 11: *Volumen total del muelle neumático.*

$$V_{mp} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times l$$

Para lo cual los resultados son los siguientes:

$$V_{mp} = \frac{\pi \times 6,73^2}{4} \times 10,16 = 361,53 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto, al ser dos muelles neumáticos, el volumen se multiplica por dos en el eje posterior para poder determinar el caudal necesario para levantar el eje posterior.

$$V_T = 2 \times V_{mp} = 723,06 \text{ cm}^3$$

El caudal necesario corresponde a:

$$V_T = 723,06 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}}$$

Para el eje delantero

Para poder determinar el volumen del muelle neumático del meje delantero se considera su geometría como un cilindro.

Ecuación 12: *Volumen total del muelle neumático.*

$$V_{mp} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times l$$

Para lo cual los resultados son los siguientes:

$$V_{mp} = \frac{\pi \times 9^2}{4} \times 10,16 = 954,26 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto, al ser dos muelles neumáticos, el volumen se multiplica por dos en el eje posterior para poder determinar el caudal necesario para levantar el eje posterior.

$$V_T = 2 \times V_{mp} = 1908,52 \text{ cm}^3$$

El caudal necesario corresponde a:

$$V_T = 1908.52 \frac{cm^3}{seg}$$

El caudal total del suministro de los muelles neumáticos es $2631.58 \frac{cm^3}{seg} = 0.16 \frac{m^3}{min}$

Selección Final

El tanque seleccionado corresponde al modelo *VXO 4840B* que presenta las siguientes características:

Figura 41

Tanque de reserva del sistema de suspensión neumática

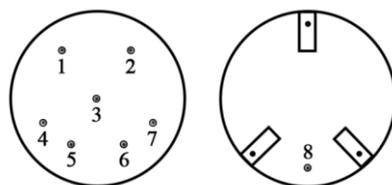


Nota. En la figura se muestra la representación del tanque de reserva seleccionado para el sistema de suspensión neumática. Recuperado de (Amazon, 2023).

A continuación, se muestra la ficha técnica del tanque de reserva con todas sus características como la disposición de sus entradas.

Figura 42

Distribución de los puertos de conexión del tanque de reserva



VXT4000P	1	2	3	4	5	6	7	8
	3/8"	3/8"	1/4"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/4"

Nota. En la figura se muestra la distribución de los puertos de conexión del tanque de reserva. Recuperado de (Amazon, 2023)

Ficha técnica

Tabla 8

Datos característicos del tanque de reserva

Parámetro	Valor	Unidad
Material	Acero	-
Capacidad	4	Gal
Dimensiones	7.0 (alto) X 14.0 (diámetro)	in
Puertos totales	8(4x1/2";2x3/8"; 2x1/4")	NTP
Dimensiones	13.7 x 4.0 x 6.75	in

Nota. En la tabla se resume las características del tanque de reserva seleccionado. (Amazon, 2023)

Selección del bloque de electroválvulas

El bloque de electroválvulas es seleccionado teniendo en consideración el tipo de entrada y salida que poseen, como a su vez el voltaje de activación de los solenoides con los cuales se controla la apertura y cerrado de las líneas de aire que llegan hacia los muelles neumáticos.

Figura 43*Bloque de electroválvulas*

Nota. En la figura se muestra el bloque de electroválvulas seleccionado para el sistema de suspensión. Recuperado de (Amazon, 2023)

El bloque de electroválvulas cuenta con 12 puertos de conexión repartidos entre entradas y salidas de aire los cuales poseen diferentes diámetros que corresponden a 10 puertos de ¼ “NTP y 2 puertos de 1/8” NTP

Las características técnicas del bloque de electroválvulas son las siguientes:

Tabla 9*Ficha técnica bloque de electroválvulas*

Parámetro	Unidad	Parámetro
Valor		Valor
Material	EPDM	–
Caudal	0.2	<i>CV</i>
Presión de trabajo	0-300	<i>Psi</i>
Puertos totales	12(10x1/4”;2x 1/8”)	<i>NTP</i>

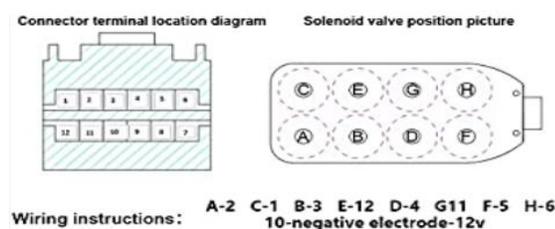
Parámetro	Unidad	Parámetro
Valor		Valor
Dimensiones	7.87 x 4.69 x 3.66	<i>in</i>
Tiempo de respuesta	< 3	<i>ms</i>
Potencia	12.6	<i>W</i>
Voltaje de trabajo	12	<i>V</i>
Voltaje mínimo de trabajo	8	<i>V</i>
Temperaturas de trabajo	-40 a 85	<i>°C</i>
Antivibración	10/500	<i>g/Hz</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de las características técnicas que presenta el bloque de electroválvulas. (Amazon, 2023)

EL bloque de electroválvulas presenta la siguiente configuración de sus solenoides se encuentra de la siguiente manera

Figura 44

Puertos de conexión de los solenoides del bloque de electroválvulas



Nota. En la figura se muestra los puertos de conexión de los solenoides del bloque de electroválvulas. Recuperado de (Amazon, 2023)

Selección de mangueras

Para la selección de las mangueras de suministro y mangueras que son las que conforman las líneas neumáticas se debe considerar el caudal de salida y la presión máxima a la cual va a estar sometida el sistema, para lo cual se presenta la siguiente tabla donde se muestran los diámetros de mangueras recomendadas.

Tabla 10

Diámetros de mangueras recomendadas según el caudal

Consumo de aire (FAD)		Medidas recomendadas
Cfm	m ³ /min	
		5/16" (8 mm.) para long. hasta 10 ft. (3 m).
0 – 20	0 – 0.57	3/8" (9.5 mm.) para long. hasta 25 ft. (7.5 m.). 3/8" (9.5 mm.) para long. hasta 25 ft. (7.5 m.).
20 – 30	0.57 – 0.85	1/2" (12.5 mm.) para long. hasta 50 ft. (15 m.). 3/8" (9.5 mm.) para long. hasta 25 ft. (7.5 m.).
30 – 40	0.85 – 1.13	1/2" (12.5 mm.) para long. hasta 50 ft. (15 m.). 1/2" (12.5 mm.) para long. hasta 50 ft. (15 m.).
40 – 50	1.13 – 1.42	3/4" (19 o 20 mm) para long. hasta 50ft. (15 m.). 1/2" (12.5 mm.) para long. hasta 50 ft. (15 m.).
50 – 60	1.42 – 1.70	3/4" (19 o 20 mm) para long. hasta 50ft. (15 m.). 1/2" (12.5 mm.) para long. hasta 50 ft. (15 m.).
60 – 70	1.70 – 2	3/4" (19 o 20 mm) para long. hasta 50ft. (15 m.).
70 – 80	2 – 2.27	3/4" (19 o 20 mm) para long. hasta 50ft. (15 m.). 3/4" (19 o 20 mm) para long. hasta 50ft. (15 m.).
80 – 90	2.27 – 2.55	1" (25 mm.) para long. hasta 50 ft. (15m.). 3/4" (19 o 20 mm) para long. hasta 50ft. (15 m.).
90 – 100	2.55 – 2.83	1" (25 mm.) para long. hasta 50 ft. (15m.).

Nota. En la tabla se resume los diámetros de las mangueras neumáticas dependiendo el caudal que se considera. (César & Alberto, 2011)

De acuerdo con el caudal previamente calculado, la selección de la manguera corresponde a una manguera de $3/8''$ (9,5 mm) hasta 7.5 m de diámetro.

Distribución del sistema neumático

El sistema neumático cuenta con un compresor el cual es el encargado de suministrar aire comprimido hacia el tanque de reserva el cual consta de varias entradas, para la protección del compresor se instala una válvula antirretorno entre el tanque y el compresor.

En una de las salidas del tanque se instala un deshidratador de aire el cual se encuentra conectado al bloque de electroválvulas, su función principal es permitir que el aire entre en el bloque de electroválvulas sin la presencia de agua en el sistema puesto que el aire comprimido genera humedad que se condensa dentro del tanque de reserva.

En el tanque de reserva se encuentra conectado un interruptor de presión el cual se encuentra conectado eléctricamente al compresor y mecánicamente al tanque de reserva, su función principal es cortar el suministro de aire a la presión de 200 *Psi* y conectarlo cuando la presión sea inferior a 170 *Psi*, con este sistema se garantiza que la presión no decaiga lo cual podría generar averías en el sistema de suspensión.

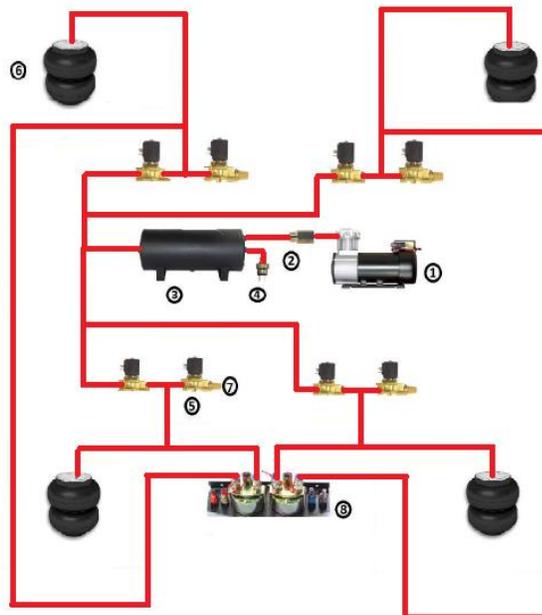
Una vez controlada el aire en el tanque de reserva se traslada esta presión al bloque de electroválvulas el cual su principal objetivo es controlar el caudal de entrada de aire de manera eléctrica/electrónica mediante pulsos de activación el cual permite la apertura de las válvulas.

Los muelles neumáticos se conectan directamente con el bloque de electroválvulas mediante mangueras de conexión y acoples que embonan perfectamente con el tipo de rosca del muelle neumático.

El esquema neumático se muestra a continuación con la representación de cada uno de los componentes.

Figura 45

Esquema neumático del sistema de suspensión

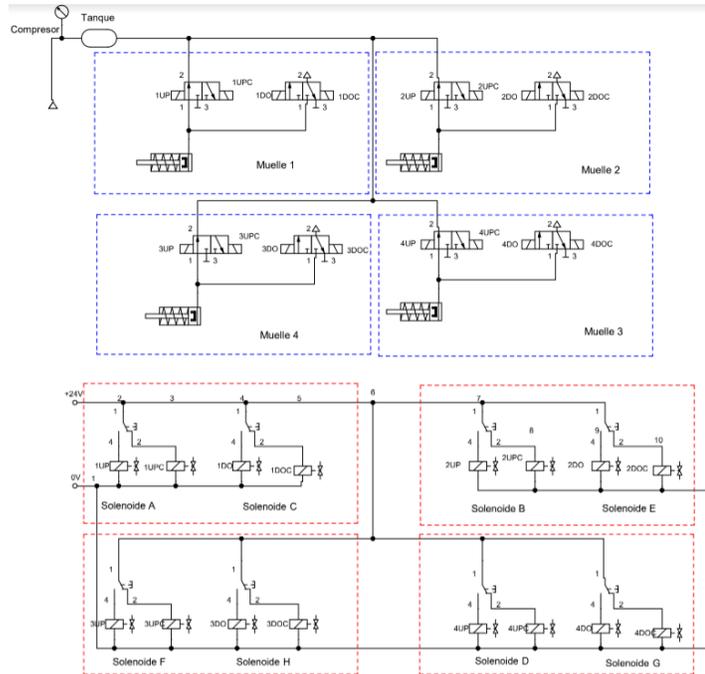


Nota. En la figura se muestra la representación del sistema neumático presente en el sistema de suspensión. Recuperado de (César & Alberto, 2011)

Los elementos que componen el sistema neumático son los siguientes:

1. Compresor de aire
2. Válvula check
3. Tanque de reserva
4. Interruptor de presión
5. Bloque de electroválvulas
6. Muelles neumáticos
7. Desfogue de aire (Muffles)
8. Manómetros de control

El plano neumático el cual es el documento guía para poder realizar la conexión neumática se muestra a continuación y se detalla al Anexo 1.

Figura 46*Plano neumático del sistema de suspensión*

Nota. En la figura se muestra el plano neumático del sistema de suspensión detallando cada uno de sus componentes.

Diseño de las bases que soportan los muelles neumáticos

Debido a la geometría que presenta el vehículo Datsun 160J fue necesario la creación de bases que contengan al muelle neumático para garantizar el recorrido vertical del mismo, eliminando la posibilidad de que la trayectoria del muelle se descarrile por acciones de las fuerzas que presentan el vehículo.

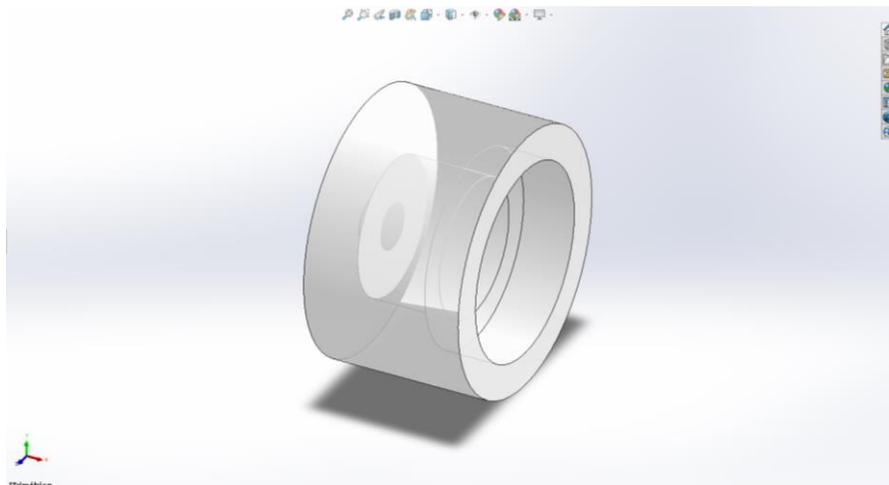
Para el diseño de las bases donde se encuentran los muelles neumáticos del eje posterior se lo realiza considerando la carga que soporta y el tipo de esfuerzo que soporta, para lo cual se realiza una simulación de esfuerzos de las bases con las cargas del eje posterior.

Soporte eje posterior inferior

Para este soporte se encuentra alojado en las guías donde se encontraba el muelle helicoidal de acero, para lo cual la carga que soporta es 3211,55 N el cual corresponde con el factor de seguridad del 50% y con la distribución de pesos de 55% y 45% con el eje delantero y posterior respectivamente.

Figura 47

Soporte inferior del muelle neumático

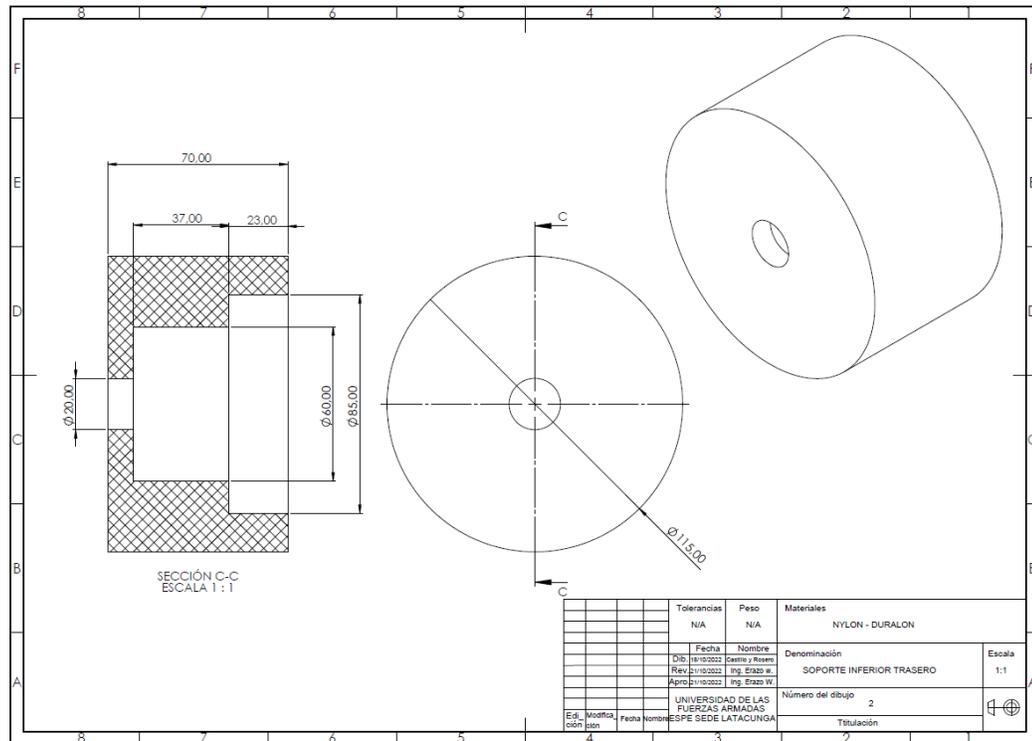


Nota. En la figura se muestra la representación del soporte inferior posterior de los muelles neumáticos del sistema de suspensión neumática.

Las dimensiones que presenta la base que sujeta el muelle neumático se las muestra en el siguiente plano el cual esta detalla en el Anexo 2.

Figura 48

Dimensiones de la base posterior inferior del muelle neumático



Nota. En la figura se muestra las dimensiones que presenta la base del muelle neumático con sus respectivas acotaciones.

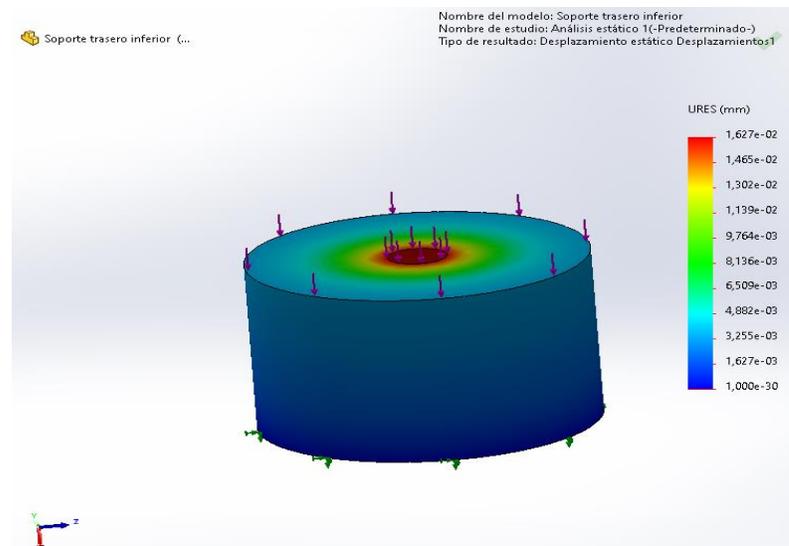
Simulación de carga del soporte inferior posterior. La simulación que se realiza en el software CAD cumple las siguientes características:

- El material seleccionado es duralon el cual posee un límite elástico de 76.43 MPa
- Los puntos de anclaje se encuentran en la base de la pieza.
- La carga que presenta es de tipo distribuida.
- El valor de carga corresponde a $3211,55 \text{ N}$, el cual corresponde al peso presente en ese neumático.
- El mallado es fino para tener mayor precisión en los datos obtenidos.

La visualización del comportamiento de las cargas aplicadas en los soportes del muelle neumático se visualiza en las siguientes figuras, donde posterior a ellos se muestran los resultados obtenidos.

Figura 49

Simulación de carga del soporte posterior inferior.



Nota. En la figura se muestra la simulación de carga del soporte posterior inferior teniendo en consideración los puntos de apoyo y las condiciones anteriormente preestablecidas.

Las tablas de resultados muestran los valores máximos, mínimos y promedios de deformaciones y tensiones existentes en el soporte.

Tabla 11

Deformación del soporte posterior inferior en mm

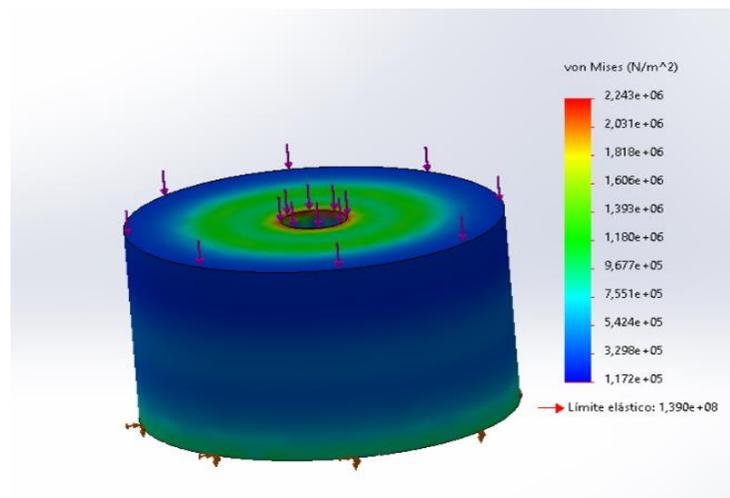
Parámetro	Valor	Unidad
Suma:	$1,57E+00$	
Máx:	$1,63E-02$	mm
Min:	$1,00E-30$	
RMS:	$5,36E-03$	

Nota. En la tabla se muestra un resumen de las deformaciones que se generan en el soporte posterior inferior al ser sometido por dicha carga.

Una vez conocidas las deformaciones, se procede a obtener las tensiones generadas en el soporte como sus valores máximos, mínimos y promedio.

Figura 50

Simulación de tensiones del soporte posterior inferior.



Nota. En la figura se muestra la simulación de las tensiones generadas en el soporte posterior inferior y las zonas donde existe mayor concentración dependiendo del código de colores.

Tabla 12

Tensiones generadas en el soporte posterior inferior en N/mm²

Parámetro	Valor	Unidad
Suma:	2,51E+08	
Máx:	2,24E+06	$\frac{N}{m^2}$
Min:	1,17E+05	
RMS:	8,73E+05	

Nota. En la tabla se resume los resultados de las tensiones generadas en el soporte posterior inferior.

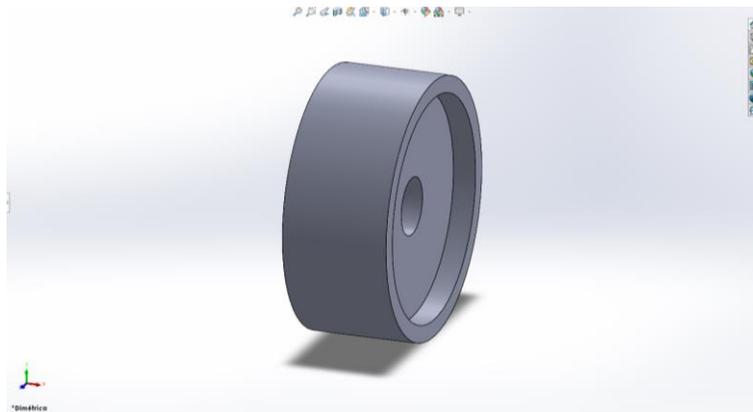
Soporte eje posterior superior

Para el soporte del eje posterior en la posición superior se muestra la siguiente estructura que garantiza un acople del muelle neumático con la carrocería del vehículo.

El soporte se encuentra sometido a una carga distribuida de 3211,55 N.

Figura 51

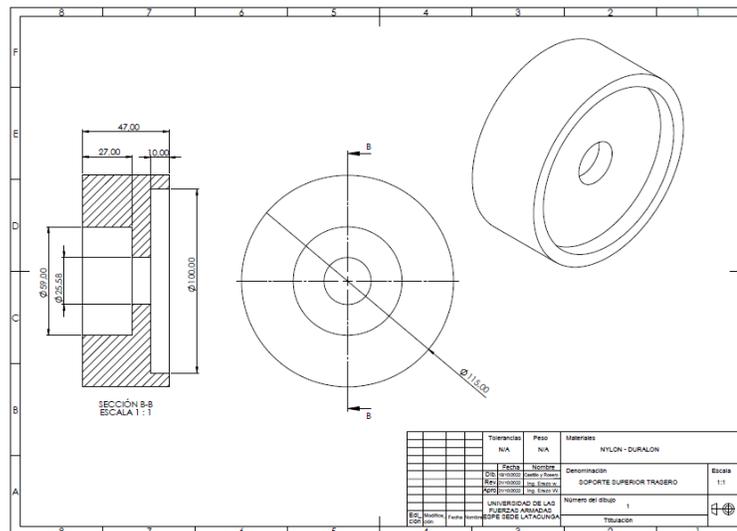
Soporte posterior superior del muelle neumático



Nota. En la figura se muestra la representación del soporte superior del muelle neumático. Las dimensiones del soporte se las presenta en la siguiente figura como a su vez en el Anexo 3.

Figura 52

Dimensiones del soporte superior.



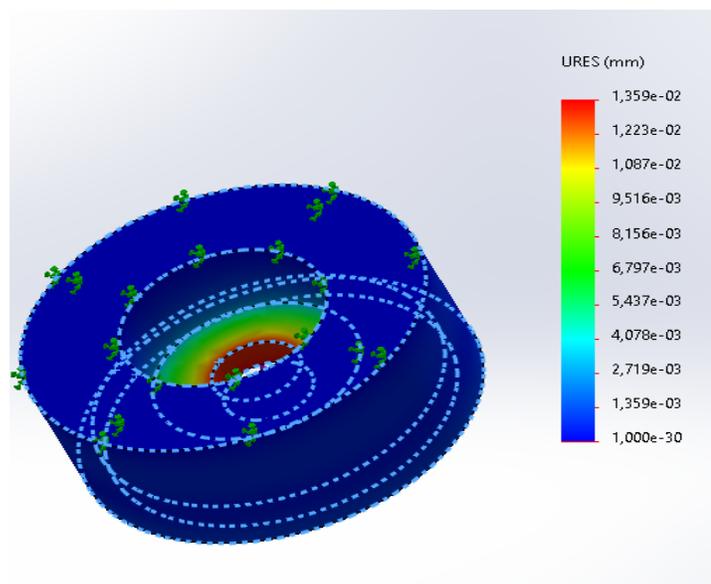
Nota. En la figura se muestra las dimensiones que presenta el soporte superior del eje posterior.

Las dimensiones se obtuvieron experimentalmente, considerando la geometría que presenta el vehículo.

Simulación del soporte superior del eje posterior La simulación del soporte superior del eje posterior se la realiza considerando la carga, puntos de apoyo, el tipo de carga que recibe, obteniendo resultados de deformaciones máximas, tensiones y zonas críticas de la pieza estudiada. A continuación, se muestra la representación de la simulación realizada en el software CAD.

Figura 53

Simulación realizada del soporte superior posterior



Nota. En la figura se muestra la simulación del soporte superior del eje posterior con los valores de deformación existentes.

A continuación, se muestra la tabla de resultados la cual contiene los valores máximos de deformación con la carga aplicada lo que representa cuando el vehículo se encuentra en movimiento

Tabla 13

Resultados de deformación en el soporte posterior superior

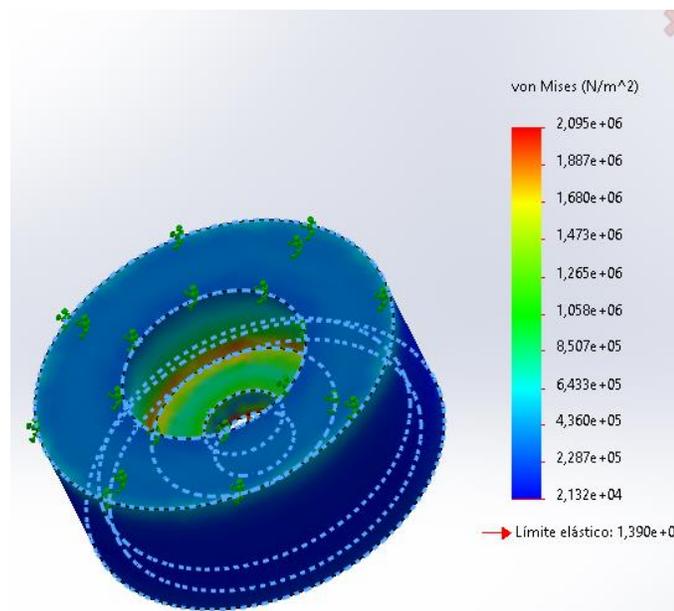
Parámetro	Valor	Unidad
Suma:	1,19E+00	
Máx:	1,36E-02	mm
Min:	1,00E-03	
RMS:	4,12E-03	

Nota. En la tabla se muestra un resumen de los resultados obtenidos en la simulación del soporte posterior superior con sus valores de deformación.

A continuación, se muestran los resultados de las tensiones existentes en el soporte posterior superior como a su vez la tabla de resultados de estos.

Figura 54

Resultados de las tensiones obtenidas en el soporte posterior superior



Nota. En la figura se muestra la simulación del soporte posterior superior, así como a su vez las tensiones generadas en él.

A continuación, se muestra la tabla de resultados de las tensiones generadas en el soporte posterior superior.

Tabla 14

Resultados de las tensiones del soporte posterior superior.

Parámetro	Valor	Unidad
Suma:	$2,94E+08$	
Máx:	$2,09E+06$	$\frac{N}{m^2}$
Min:	$1,43E+05$	
RMS:	$7,61E+05$	

Nota. En la tabla se muestra un resumen de los valores obtenidos de las tensiones generadas en el soporte posterior superior.

Fase eléctrica y electrónica

En esta fase se realiza la implementación de equipos de monitoreo, sensores, actuadores los cuales son los encargados de controlar los componentes del sistema de suspensión neumática como a su vez permiten dar las condiciones de uso del sistema en conjunto.

Sistema de monitoreo

El sistema de monitoreo se lo realiza con el fin de obtener datos en tiempo real del comportamiento del sistema de suspensión convencional y neumático controlado electrónicamente. Los requisitos de este sistema es que sea capaz de registrar los datos de velocidad angular, aceleraciones, grados de inclinación del vehículo en las diferentes rutas preseleccionadas.

El sistema de monitoreo consta de los siguientes elementos:

- Sensores ultrasónicos instaladas en los 4 guardabarros.
- Inclinómetro WithMotion.
- Arduino Uno.

- Cables de conexión UTP
- Aplicación Arduino.exe
- Software Witmotion.exe

Función del sistema de monitoreo

El sistema de monitoreo tiene la función principal de obtener datos en tiempo real de los diferentes factores de testeo, los parámetros que se evalúan son los siguientes:

- Variación de distancia de los neumáticos
- Dinámica del vehículo

Variación de distancia de los neumáticos

Para registrar la distancia de variación de los neumáticos se instalaron sensores ultrasónicos los cuales se encuentran conectados a un Arduino que posteriormente se conecta con la aplicación Arduino.exe, esta aplicación mediante un código de programación permite registrar la variación de altura de los neumáticos en tiempo real mientras el vehículo se encuentra circulando, la interfaz de usuario es la siguiente.

Figura 55

Interfaz gráfica de Arduino

```

COM12
17:38:15.954 -> 0 9
17:38:15.954 -> 24 23 9 8
17:38:15.954 -> 24 24 9 8
17:38:15.954 -> 24 24 9 8
17:38:15.954 -> 24 24 9 8
17:38:15.954 -> 23 25 9 8
17:38:16.558 -> 24 25 9 8
17:38:16.892 -> 24 25 9 8
17:38:17.190 -> 24 25 9 8
17:38:17.489 -> 23 25 9 8
17:38:17.800 -> 24 24 9 8
17:38:18.120 -> 23 24 9 8
17:38:18.458 -> 23 24 9 8

 Autoscroll  Mostrar marca temporal
Retorno de carro \n 9600 baudio Limpiar salida

```

Nota. En la figura se muestra la interfaz gráfica de la aplicación Arduino la cual presenta los datos de variación de altura.

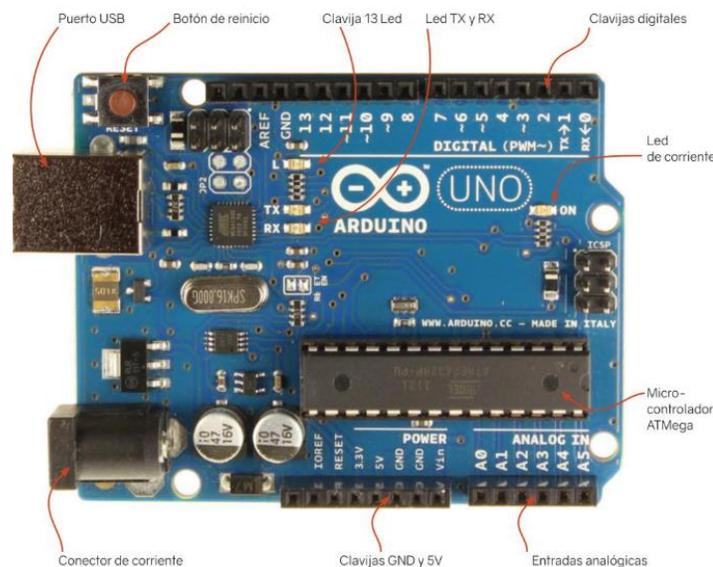
Arduino

Arduino es una plataforma que incorpora hardware y software de código abierto el cual permite la programación e implementación de varios componentes electrónicos los cuales son necesarios para la creación de proyectos eléctricos y electrónicos.

Si se analiza el hardware se encuentra una placa de circuito impreso con un microcontrolador (Atmel AVR) y un conjunto de puertos digitales y analógicos de entrada/salida. Como complemento posee un puerto USB mediante el cual se alimenta y se comunica con la PC. (Alejandro, 2020)

Figura 56

Hardware de Arduino



Nota. En la figura se muestra la representación del hardware del microcontrolador Arduino.

El software de Arduino permite al usuario establecer las instrucciones y los parámetros para controlar su funcionamiento y de esta forma generar nuevos proyectos.

En Arduino es necesario considerar los diferentes modelos que se encuentran disponibles dependiendo de la necesidad del usuario, para el desarrollo de este proyecto se utilizan dos modelos de Arduino los cuales corresponden a Uno y Mega.

La ficha técnica del Arduino UNO se muestra en el Anexo 4.

Arduino Uno

Arduino uno es la primera placa que salió al mercado el cual se compone de varios puertos digitales y analógicos (Alejandro, 2020).

Las características que presenta se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 15

Características del Arduino UNO

Parámetro	Valor	Unidad
Microcontrolador	ATmega328	–
Frecuencia	16	<i>MHz</i>
Voltaje	5	<i>V</i>
Memoria Flash	32	<i>Kb</i>
SRam	2	<i>Kb</i>
Pines digitales	14	–
Pines analógicos	6	–

Nota. En la tabla se resumen las características que tiene Arduino UNO

Figura 57

Arduino UNO



Nota. En la figura se muestra la representación del Arduino UNO.

Arduino Mega

La diferencia principal entre los diferentes modelos de Arduino radica en la cantidad de pines digitales y analógicos como también en el tipo de microprocesador que posee puesto que las mejoras son significativas entre varios modelos dependiendo el uso que se vaya a realizar. (Alejandro, 2020)

A continuación, se muestra las características principales del modelo Mega.

Tabla 16

Características técnicas del Arduino MEGA

Parámetro	Valor	Unidad
Microcontrolador	<i>ATmega2560</i>	–
Frecuencia	<i>16</i>	<i>MHz</i>
Voltaje	<i>5</i>	<i>V</i>
Memoria Flash	<i>8</i>	<i>Kb</i>
SRam	<i>4</i>	<i>Kb</i>
Pines digitales	<i>16</i>	–
Pines analógicos	<i>4</i>	–

Nota. En la tabla se resumen las características del Arduino Mega.

Figura 58

Arduino Mega



Nota. En la figura se muestra la representación del Arduino Mega.

En el anexo 4 se muestra las características técnicas del Arduino Mega.

Sensor Ultrasónico. Los sensores ultrasónicos son muy utilizados en sistemas de medición no invasivos para determinar la distancia del emisor a un objeto dado. Un sensor ultrasónico puede ser considerado como un transductor de entrada, sino también como uno de salida.

Este tipo de sensores se los utiliza para poder testear la distancia en ambientes hostiles o de difícil acceso puesto que no requiere del contacto con la superficie en sí, sino, la onda que emite registra la distancia de contacto. (Alejandro, 2020)

Figura 59

Sensor ultrasónico de Arduino



Nota. En la figura se muestra la representación de un sensor ultrasónico compatible con Arduino.

A continuación, se presenta las características técnicas del sensor ultrasónico, considerando sus valores de trabajo.

Ficha técnica

Tabla 17

Especificaciones del sensor ultrasónico.

Parámetro	Valor	Unidad
Voltaje	5	V
Consumo	15	mA
Max Rango	4	m
Min Rango	2	cm
Angulo de medición	15	°
Frecuencia de salida	40	Hz
Velocidad de respuesta	10	µS
Dimensiones	42x20x15	mm

Nota. En la tabla se resumen las características técnicas que presenta el sensor ultrasónico compatible con Arduino. (Elecbreaks, 2023)

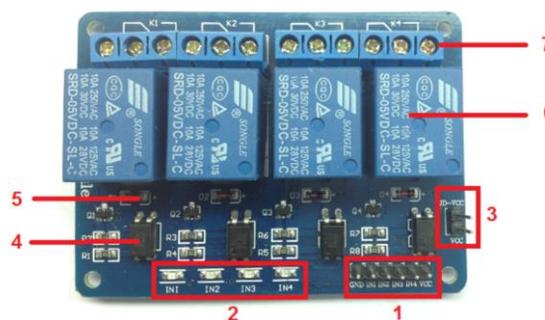
La ficha técnica del sensor ultrasónico se muestra en el Anexo 5

Módulo de relés

Se trata de un grupo de relés que funcionan a 5 voltios, capaces de manejar cargas hasta 10 Amperios en 250 Voltios, cuentan con indicadores de estado para saber el comportamiento de los relés. (Tolocka, 2022)

Figura 60

Partes del módulo de relés.



Nota. En la figura se muestra los componentes del módulo de relés. Recuperado de (Tolocka, 2022)

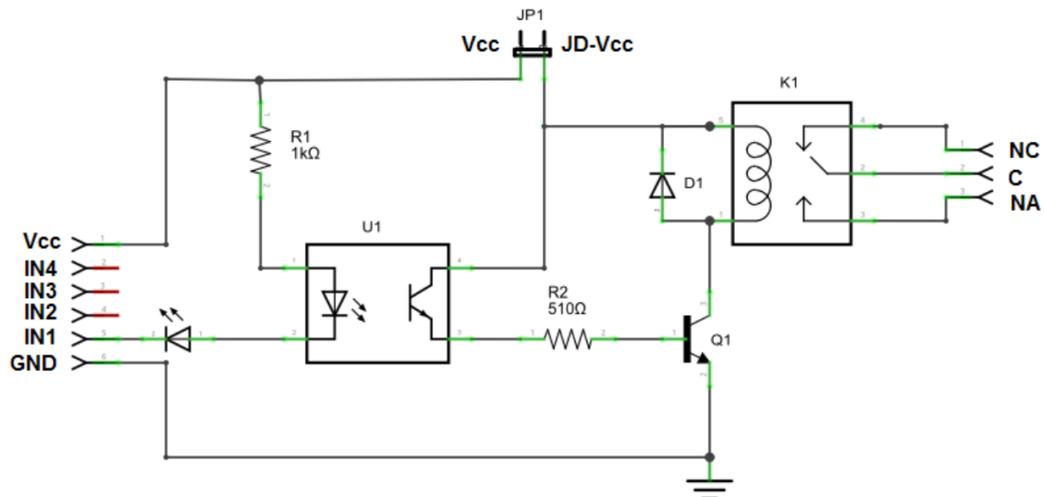
Los componentes del módulo son los siguientes:

1. Conectores de tierra y Vcc.
2. Leds indicadores de entrada.
3. Jumper selector para la alimentación de los relés.
4. Optoacopladores del tipo FL817C
5. Diodos de protección.
6. Relés Single con bobinas de 5V
7. Borneras de contacto.

El funcionamiento del bloque de relés se explica tomando en consideración únicamente un relé como se muestra en la siguiente figura.

Figura 61

Esquema eléctrico del relé de conexión.



Nota. En la figura se muestra el esquema de conexión de un boque del módulo del relé. Recuperado de (Tolocka, 2022).

Dinámica del vehículo

Conocer la dinámica del vehículo es el tema principal en la investigación puesto que el principal objetivo es la comparación entre ambos sistemas de suspensión y la determinación de la eficiencia sobre el otro.

Con el fin de monitorear la dinámica del vehículo se implementa un inclinómetro WT901BLECL BLES5.0 el cual mide las diferentes variables en los tres ejes de coordenadas X, Y, Z.

WT901BLECL BLES5.0

El WT901BLECL BLES5.0 es un dispositivo multisensor que detecta aceleración, velocidad angular, ángulo de inclinación y campo magnético en los tres ejes de coordenadas X, Y, Z. Se emplea donde se requiere una precisión exhaustiva. (Wit motion, 2023)

Figura 62

Inclinómetro WT901BLECL BLES5.0



Nota. En la figura se muestra la representación del inclinómetro utilizado para la medición de las diferentes variables.

Ficha técnica

El inclinómetro muestra los siguientes valores característicos de trabajo. El cual se puede evidenciar en el Anexo 6

Tabla 18

Ficha técnica del inclinómetro WT901BLECL BLES5.0

Parámetro	Valor	Unidad
Voltaje	3,3-5	V
Consumo	<40	mA
Batería	250; 3,7	mA;V
Tiempo de trabajo	10	h
Tamaño	51,3x36x15	mm
Frecuencia de salida	0,2-200	Hz
Interfaz	Tipo C	–
Tasa de baudios	115200	Bd

Nota. En la tabla se muestra un resumen de la ficha técnica del sensor WT901BLECL BLES5.0. (Wit motion, 2023)

Dimensiones del inclinómetro

Las dimensiones del inclinómetro se muestran a continuación.

Figura 63

Dimensiones del inclinómetro WT901BLECL BLES5.0.



Nota. En la figura se muestra las dimensiones del inclinómetro WT901BLECL BLES5.0. Recuperado de (Wit motion, 2023)

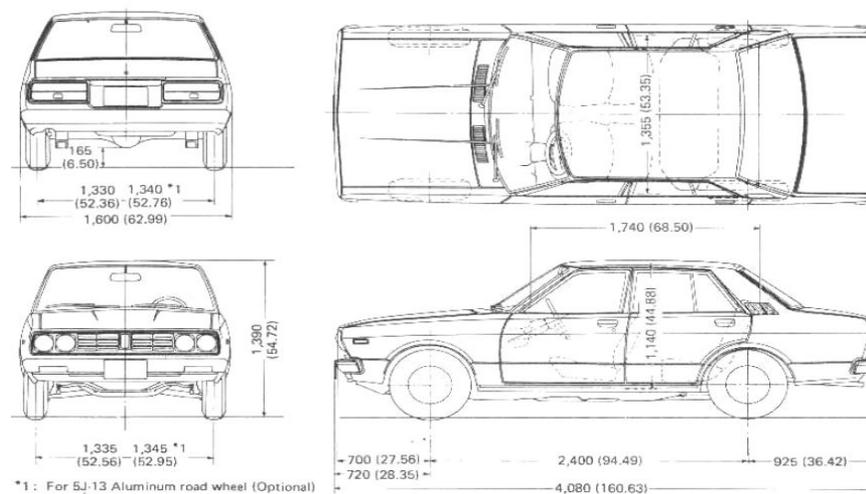
Las características técnicas se respaldan en el Anexo 6

El inclinómetro está ubicado en el centro de gravedad del vehículo para poder determinar el comportamiento dinámico del mismo.

Para ello se establece el centro de gravedad del vehículo tomando en consideración sus dimensiones como se presenta a continuación en el Anexo 7

Figura 64

Dimensiones del vehículo Datsun 160J



Nota. En la figura se muestran las dimensiones del vehículo para poder determinar el centro de gravedad de este.

Los valores necesarios para poder determinar el centro de gravedad del vehículo se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 19

Dimensiones necesarias para determinar el centro de gravedad

Parámetro	Valor	Unidad
Ancho de vía Frontal (Tf)	1.345	
Ancho de vía Posterior (Tr)	1.34	m
Batalla (l)	2.4	

Nota. En la tabla se muestra un resumen de las medidas del vehículo necesarias para determinar el centro de gravedad

Para la determinación del centro de gravedad de un vehículo primero se empieza conociendo el peso total del vehículo el cual corresponde a 970 *Kgf*, transformado a Newtons corresponde a $9515.7 N = W_T$, posteriormente se considera la repartición de pesos, para vehículos livianos la repartición es de 55% para el eje delantero y el 45% para el eje posterior.

Para poder determinar el peso que soporta cada neumático se cumplen las siguientes ecuaciones.

Ecuación 13: *Peso total del vehículo.*

$$W_T = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

$$W_F = W_1 + W_2$$

$$W_P = W_3 + W_4$$

En las que

W_1 : *Peso que soporta el neumático delantero derecho*

W_2 : *Peso que soporta el neumático delantero izquierdo*

W_3 : *Peso que soporta el neumático posterior derecho*

W_4 : *Peso que soporta el neumático posterior izquierdo*

W_F : *Peso que soporta el eje delantero*

W_p : Peso que soporta el eje posterior

Para el eje delantero. Para poder determinar los pesos que soportan los neumáticos del eje delantero se considera al 55% del peso total repartido entre los dos neumáticos.

Ecuación 14: *Peso de los neumáticos del eje delantero.*

$$W_1 = W_2 = \frac{55\% \times W_T}{2}$$

Para el eje posterior. Para poder determinar los pesos que soportan los neumáticos del eje posterior se considera al 45% del peso total repartido entre los dos neumáticos.

Ecuación 15: *Peso de los neumáticos del eje delantero.*

$$W_3 = W_4 = \frac{45\% \times W_T}{2}$$

Teniendo como resultado los siguientes valores de los pesos que soporta cada neumático establecido en la siguiente tabla.

Tabla 20

Pesos que soportan los neumáticos.

Parámetro	Valor	Unidad
W1	2854,71	
W2	2854,71	
W3	1903,14	N
W4	1903,14	
Peso total	9515,7	

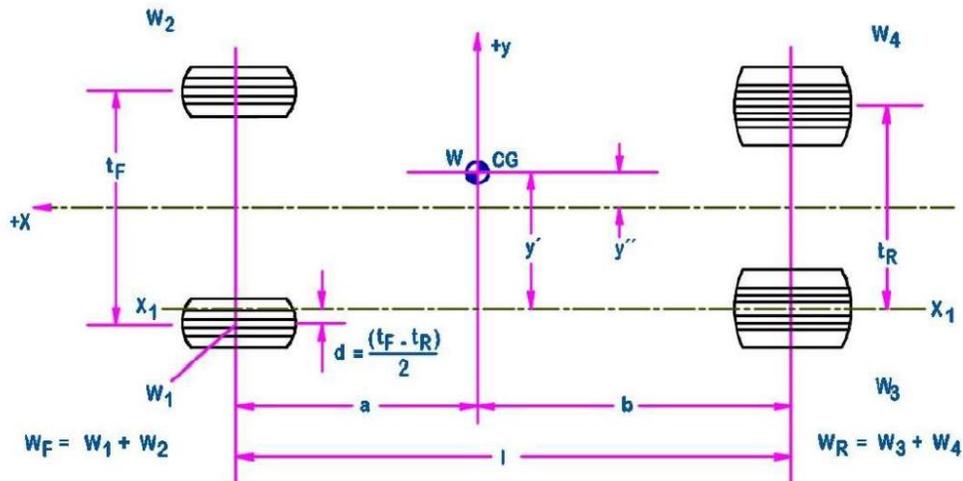
Nota. En la tabla se muestra un resumen de los valores de los pesos que soportan cada neumático.

Ubicación del centro de gravedad

Se establece la posición longitudinal del centro de gravedad tomando en consideración las dimensiones del vehículo, teniendo como objetivo encontrar a, b, d, y' .

Figura 65

Posición del centro de gravedad de un vehículo.



Nota. En la figura se muestra un esquema de la posición del centro de gravedad del vehículo. Recuperado de (Morales & Ortiz, 2017)

Dimensión b

Para determinar la dimensión de b se considera la siguiente ecuación.

Ecuación 16: *Dimensión b .*

$$b = \frac{W_F \times l}{2}$$

En las que

b : Distancia desde el eje posterior al centro de gravedad

W_F : Peso del eje delantero

l : Batalla del vehículo

Dimensión a

Para determinar la dimensión de a se considera la siguiente ecuación.

Ecuación 17: *Dimensión a.*

$$a = l - b$$

Dimensión d

Para determinar la dimensión d se considera la siguiente ecuación.

Ecuación 18: *Dimensión d.*

$$d = \frac{t_F - t_R}{2}$$

Dimensión y'

Para determinar la dimensión y' se considera la siguiente ecuación.

Ecuación 19: *Dimensión y' .*

$$y' = \frac{W_2}{W} (t_F - d) - \frac{W_1}{W} (d) + \frac{W_4 t_R}{W}$$

Como resultados se tiene la siguiente tabla de datos que sintetiza los valores encontrados para determinar el centro de gravedad.

Tabla 21

Dimensiones del centro de gravedad

Parámetro	Valor	Unidad
B	1,44	
A	0,96	
D	0,0025	
Y'	0,67	m

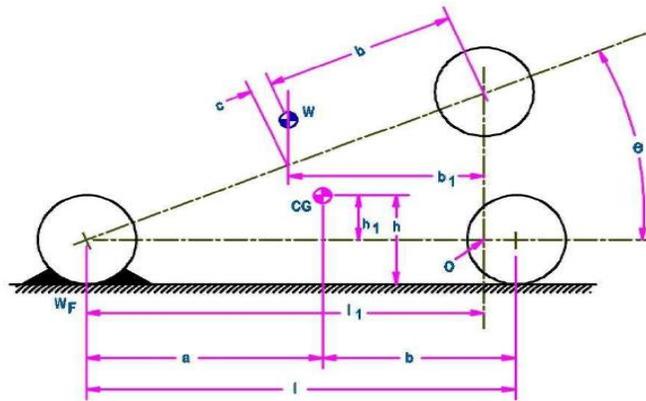
Nota. En la tabla se muestra el resumen de las dimensiones del centro de gravedad.

Altura del centro de gravedad

Para determinar la altura del centro de gravedad en el vehículo se debe tomar nuevas mediciones las cuales se obtienen las dos ruedas posteriores del vehículo y considerando que mantengan la misma distancia del piso. Se debe tener precaución que el vehículo no se desplace. Toda carga que se pueda desplazar debe ser asegurada y el tanque de combustible debe estar totalmente lleno o vacío.

Figura 66

Determinación de la altura del centro de gravedad.



Nota. En la figura se muestra las dimensiones guías para poder determinar la altura del centro de gravedad. Recuperado de (Morales & Ortiz, 2017)

Con base en el esquema anterior se puede determinar las dimensiones características relacionando con las siguientes ecuaciones.

Por trigonometría se establece la siguiente relación.

Ecuación 20: *Dimensión l1.*

$$l_1 = l \times \cos \theta$$

Para determinar la dimensión de b_1 se considera la siguiente expresión

Ecuación 21: *Dimensión b1.*

$$b_1 = \left(\frac{W_F}{W} \right) \times l \cos \theta$$

Conociendo la dimensión de b_1 se establece la siguiente relación.

Ecuación 22: *Relación de dimensiones.*

$$\frac{b_1}{b + c} = \cos \theta$$

La dimensión de c corresponde a la siguiente ecuación.

Ecuación 23: *Dimensión de c .*

$$c = \left(\frac{W_F}{W} l \right) - b$$

Para determinar la altura de h_1 se tiene la siguiente expresión

Ecuación 24: *Dimensión de h_1 .*

$$h_1 = \frac{W_F l - W_b}{W \tan \theta}$$

En resumen, los resultados obtenidos se establecen en la siguiente tabla.

Tabla 22

Dimensiones de altura para el centro de gravedad.

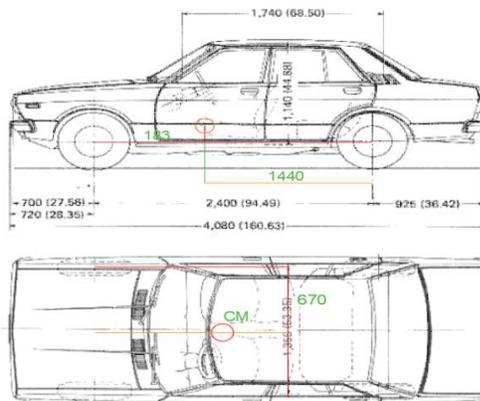
Parámetro	Valor	Unidad
L1	2,32	
H1	0,18	
c	0,05	m
h	0,47	

Nota. En la tabla se resumen las dimensiones en la cual se encuentra el centro de gravedad.

A continuación, se muestra la ubicación del centro de gravedad en el plano del vehículo.

Figura 67

Ubicación del centro de gravedad en los diferentes planos del vehículo.



Nota. En la figura se muestra la ubicación del centro de gravedad del vehículo.

El sistema de monitoreo del sistema de suspensión tiene como resultado las gráficas de comportamiento del vehículo en las diferentes condiciones de prueba las cuales se exponen a continuación

Condiciones de prueba del sistema de suspensión

Las condiciones de prueba para el sistema de suspensión se lo realizan variando los parámetros de velocidad y de carretera como se presentan a continuación:

Tabla 23

Condiciones de prueba del sistema de suspensión

Tipo de carretera	Velocidad (Km/h)	Distancia (m)
Adoquín	50	500
Asfalto	50	500
Tierra	20	500
Rompe velocidad	25	500
Frenado	50	500
Curva derecha e izquierda	50	500

Nota. En la tabla se muestra el resumen de las condiciones de prueba del sistema de suspensión.

Implementación del sistema de suspensión neumático

El proceso de implementación del sistema de suspensión neumático consta de varios pasos secuenciales los cuales son detallados en el transcurso de este tema.

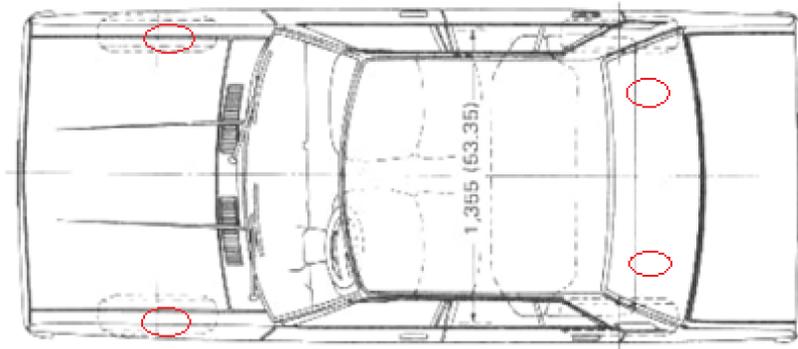
Sensores ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos son elementos que permiten testear la distancia de un punto a otro de manera analógica y transformarla a digital presentando los resultados en la interfaz de Arduino para su tabulación y análisis de datos.

Estos sensores se implementan en cuatro puntos del vehículo con la finalidad de registrar el comportamiento del muelle helicoidal de acero en el eje posterior y en los amortiguadores en el eje delantero.

Figura 68

Ubicación de los sensores ultrasónicos



Nota. En la figura se muestra la ubicación de los sensores ultrasónicos en el vehículo.

Figura 69

Sensor ultrasónico implementado en el vehículo.

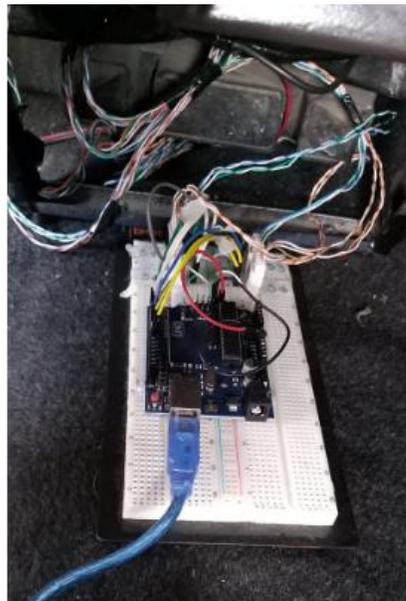


Nota. En la figura se muestra los sensores ultrasónicos implementados en los cuatro puntos del vehículo.

El control y registro de datos de estos sensores se ha realizado mediante un Arduino UNO con la ayuda de un ordenador el cual registra los datos de manera análoga transformándolo a una señal digital para cuantificarlos a números interpretables.

Figura 70

Módulo de recolección de datos de sensores ultrasónicos.



Nota. En la figura se muestra el Arduino UNO con la implementación de los cuatro sensores ultrasónicos conectados independientemente.

El registro de datos se lo realiza mediante el software Arduino.exe por lo tanto la interfaz gráfica que presenta este controlador es la siguiente.

Figura 71

Interfaz gráfica para los sensores ultrasónicos.

The screenshot shows a window titled 'COM12' with a text area containing the following data lines:

```

17:08:04.576 -> 24 24 9 8
17:08:04.576 -> 23 24 9 8
17:08:04.576 -> 23 24 9 8
17:08:04.576 -> 23 24 9 8
17:08:04.576 -> 23 24 9 8
17:08:04.576 -> 23 24 10 8
17:08:04.576 -> 24 24 9 8
17:08:04.576 -> 23 24 9 8
17:08:05.182 -> 24 24 9 8
17:08:05.508 -> 23 24 9 8
17:08:05.791 -> 23 24 9 8
17:08:06.118 -> 23 24 9 8
17:08:06.443 -> 24 24 9 8
17:08:06.770 -> 24 24 9 8
17:08:07.051 -> 23 24 9

```

At the bottom of the window, there are several controls: a checked 'Autoscroll' checkbox, a checked 'Mostrar marca temporal' checkbox, a 'Retorno de carro' dropdown menu, a '9600 baudio' dropdown menu, and a 'Limpiar salida' button.

Nota. En la figura se muestra la interfaz gráfica que arroja Arduino.exe al momento de registrar los datos de los sensores ultrasónicos.

Siguiendo con el sistema de monitoreo del comportamiento dinámico del vehículo se implementa un sensor que registra aceleración, velocidad angular, grados de inclinación del vehículo el cual corresponde al inclinómetro *WT901BLECL BLES5.0*

Inclinómetro WT901BLECL BLES5.0

Una vez determinado el centro de gravedad del vehículo, es la ubicación exacta en donde se coloca el inclinómetro puesto que en este punto se puede apreciar el comportamiento dinámico del mismo.

Para el anclaje del inclinómetro se lo realiza en el piso del habitáculo al frente de la palanca de freno de mano puesto que al medir el centro de gravedad el punto coincide con el especificado.

Figura 72

Ubicación del inclinómetro



Nota. En la figura se muestra la ubicación del inclinómetro en el centro de gravedad del vehículo con la consideración de la posición de los ejes.

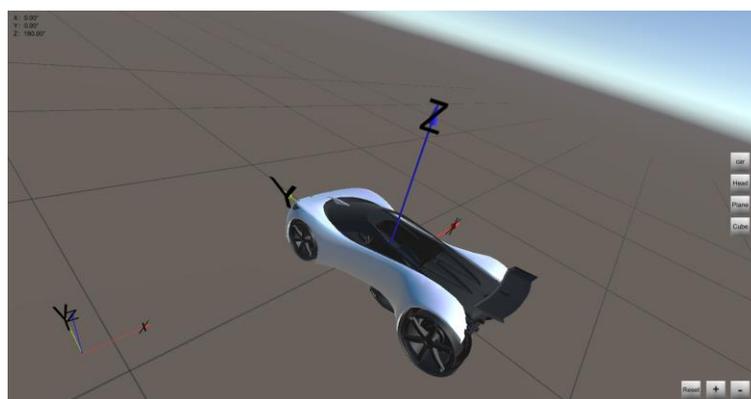
La consideración para posicionar el inclinómetro es que el eje "Y" debe ubicarse en el eje longitudinal del vehículo para poder registrar el cabeceo en ese eje.

La interfaz gráfica que muestra el inclinómetro permite al usuario calibrar el vehículo dependiendo la inclinación que se tenga en el terreno, obteniendo resultados acordes a la condición realizada.

La interpretación de movimiento es respecto a la posición de los ejes de coordenadas los cuales se muestran a continuación.

Figura 73

Orientación de los ejes coordenados

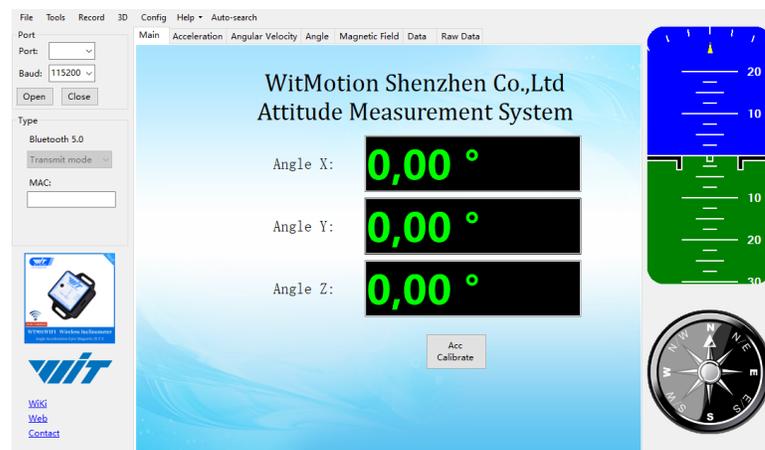


Nota. En la figura se muestra la orientación de los ejes coordenados en el software del sensor WT901BLECL BLES5.0

Los movimientos según el gráfico se consideran positivos, los cuales desde el punto de origen el sentido horario denota el signo positivo y el sentido antihorario denota el signo negativo en los valores obtenidos.

Figura 74

Interfaz gráfica del software utilizado por el inclinómetro.

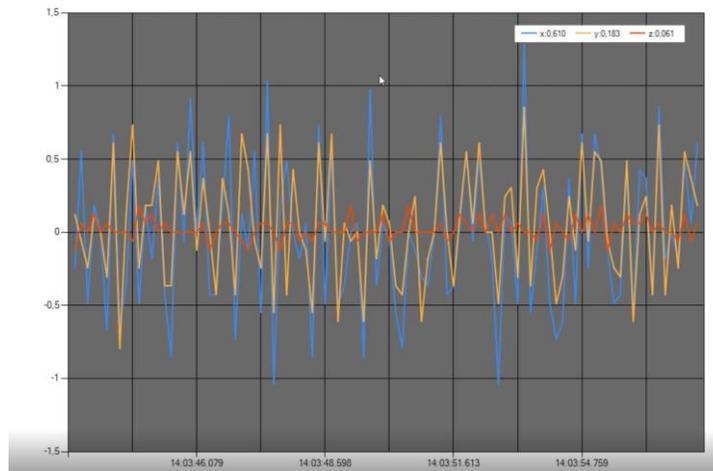


Nota. En la figura se muestra la disposición de la interfaz gráfica del inclinómetro WT901BLECL BLES5.0

Los resultados obtenidos mediante este sensor son curvas de comportamiento del vehículo traducidas en aceleración, velocidad angular, grados de inclinación, por lo tanto, la interpretación de dichas gráficas representa el comportamiento del vehículo.

Figura 75

Curvas de comportamiento de la suspensión convencional.



Nota. En la figura se muestra las curvas características del comportamiento del vehículo registrado por el sensor WT901BLECL BLES5.0.

Los resultados de las pruebas registradas con el sistema de monitoreo se lo presentan en el capítulo siguiente.

Continuando con el proceso de implementación del sistema de suspensión neumática controlada electrónicamente se divide en tres etapas de implementación:

- **Mecánica:** Corresponde a la implementación de los elementos mecánicos previamente seleccionados de acuerdo con sus características técnicas.
- **Eléctrica:** Corresponde a las conexiones eléctricas y circuitos de protección del proyecto tomando en consideración valores característicos de cada componente.
- **Electrónica:** Corresponde a la sección de programación y control de los elementos mecánicos mediante condiciones establecidas para garantizar el correcto comportamiento del sistema.

Empezando por la parte mecánica, se resumen los componentes que involucran este grupo de implementación.

Tabla 24*Grupo de componentes mecánicos*

Componente	Valor característico	Unidad
Compresor	12	V
Muelle neumático	100	Psi
Bloque de electroválvulas	12	V
Mangueras de acople	0,83-1,13	m ³ /min
Tanque de reserva	4	gal

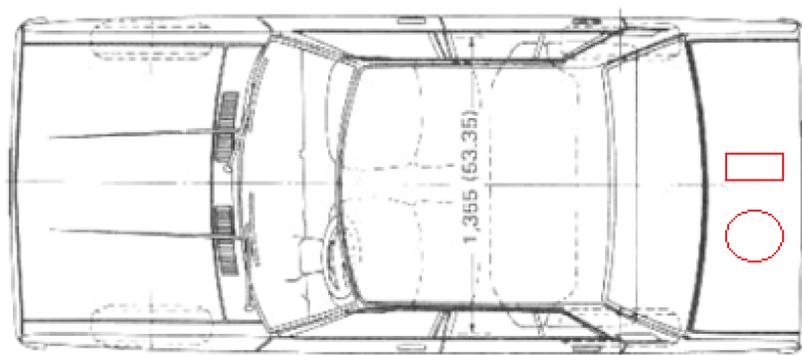
Nota. En la tabla se muestra el resumen de los componentes mecánicos implementados en el sistema de suspensión neumática controlada electrónicamente

Compresor y tanque de reserva

Estos componentes son implementados en el portaequipaje del vehículo puesto que la ubicación no afecta de manera estructural a la geometría del vehículo, contando con la ventaja que minoriza la cantidad de elementos complementarios como son mangueras, acoples y cables de conexión. La ubicación de estos componentes se lo visualiza en la siguiente figura.

Figura 76

Ubicación del compresor y tanque de reserva.



Nota. En la figura se muestra un esquema de la ubicación del tanque de reserva y el compresor del sistema neumático.

Donde:

- Compresor
- Tanque de reserva

Figura 77

Implementación del compresor y tanque de reserva



Nota. En la figura se muestra la ubicación real del compresor y tanque de reserva del sistema de suspensión neumático.

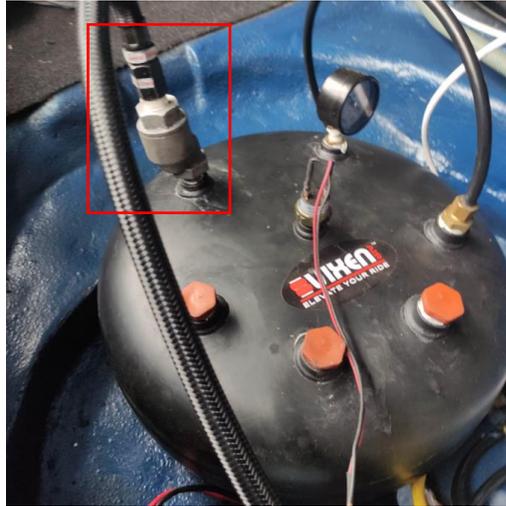
La consideración de la implementación de estos elementos es la distancia de separación entre ellos puesto que, existen dos parámetros a considerar, en primer lugar, es la temperatura de trabajo del compresor, que corresponde a 60 °C la cual está especificada en su ficha técnica y por otra parte es la manguera de alimentación puesto que al no presenta una distancia considerable se dificulta su acople en los puertos del tanque de reserva.

El compresor presenta una manguera de alimentación de 3/8" conectado directamente al tanque de reserva y una manguera aledaña que es la encargada de succionar el aire desde el ambiente mediante un filtro propio del compresor.

Como medida de protección al compresor se incorpora una válvula check (válvula antirretorno) para salvaguardar la integridad del compresor.

Figura 78

Conexión del compresor al tanque de reserva



Nota. En la figura se muestra la implementación de la válvula check a la entrada de alimentación del tanque de reserva.

El tanque de reserva como se especificó en el capítulo anterior presenta varias entradas, las cuales al momento de implementarse tienen los siguientes componentes.

Figura 79

Componentes del tanque de reserva.



Nota. Componentes que presenta el tanque de reserva y su disposición.

El tanque de reserva con una capacidad de 4 gal, compresor tiene un caudal de 1,8 cfm lo que equivale a 0,85 l/s por lo tanto el tiempo de llenado es de 4,70 min teóricamente, pero el tiempo experimental es de 6 min hasta que la presión llega a 170 Psi, puesto que es la presión a la cual el compresor se desconecta del sistema de alimentación.

Los componentes que presenta el tanque de reserva son:

- Manómetro de presión
- Válvula check
- Manguera de suministro
- Tapones en las entradas
- Sensor de presión.

Bloque de electroválvulas

Este componente se lo considera como un elemento de conexión entre el grupo de alimentación de aire y los muelles neumáticos. Este componente presenta características específicas en su conexión, pero básicamente se trata de un grupo de solenoides que controlan la apertura y cierre de las válvulas de suministro hacia los muelles neumáticos.

Figura 80

Bloque de electroválvulas

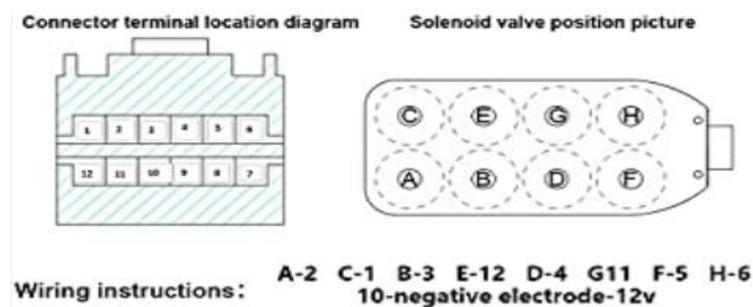


Nota. En la figura se muestra la implementación del bloque de electroválvulas.

El bloque de electroválvulas presenta un esquema de conexión de acuerdo con los puertos de entrada que son utilizados para dar suministro de aire comprimido a los diferentes muelles neumáticos, por tal motivo se detalla el diagrama de conexión neumática del mismo.

Figura 81

Esquema de conexión del bloque de electroválvulas



Nota. En el esquema se muestra la disposición de las líneas de suministro de los muelles neumáticos.

El diámetro de los puertos de entrada es de $\frac{1}{4}$ " para las conexiones de las líneas de suministro de aire, la consideración al momento de instalar las mangueras es verificar que no se doblen ni rocen contra un sector afilado puesto que repercute en el rápido deterioro de estas y sobre todo un mal funcionamiento del sistema.

La prueba para verificar el estado de las conexiones es mediante un compuesto de agua jabonosa para poder detectar fugas en el sistema.

Los acoples utilizados deben ser puestos con cinta teflón para realizar un sello entre las mangueras y el bloque de electroválvulas.

Muelle neumático

Para la incorporación de este componente se revisa la geometría del muelle helicoidal de acero, para poder sustituirlo por el muelle neumático por tal motivo se instalan unas bases las cuales son guía para el muelle neumático.

Figura 82

Bases del muelle helicoidal.



Nota. En la figura se muestra la geometría de las bases del muelle helicoidal de acero.

Para la implementación del muelle neumático se construye una base en los soportes antiguos del mulles para dar una guía del recorrido del muelle y soportar las cargas que se generan en el vehículo en movimiento.

Los soportes son realizados en el material Duralon el cual presenta las siguientes características técnicas

Tabla 25*Propiedades del Duralon*

Propiedad	Valor	Unidad
Módulo elástico	83×10^8	N/m^2
Coefficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	32×10^8	N/m^2
Densidad de la masa	1400	kg/m^3
Límite de tracción	14259000	N/m^2
Límite elástico	139043000	N/m^2
Coefficiente de expansión térmica	3×10^{-5}	$/K$
Conductividad térmica	0.53	$W/(m * K)$
Calor específico	1500	$J/(kg * K)$

Nota. En la tabla se muestra el resumen de las propiedades del duralon. (José, 2018)

Los soportes implementados en los muelles neumáticos solo se los coloca en el eje posterior por cuestiones constructivas.

Figura 83*Soportes implementados en el muelle neumático*

Nota. En la figura se muestra los soportes de los muelles neumáticos en el eje posterior.

Los muelles helicoidales son reemplazados por los muelles neumáticos, los cuales permiten regular la altura del vehículo dependiendo el caudal de entrada que proporciona del compresor con el conjunto de electroválvulas.

Figura 84

Implementación de los muelles neumáticos en el eje posterior.



Nota. En la figura se muestra el resultado final de la implementación de los muelles neumáticos en el eje posterior.

La implementación de los muelles neumáticos del eje delantero como se especificó en la sección anterior se caracteriza por ser posible implementar el amortiguador dentro del muelle, como se muestra en la figura.

Figura 85

Implementación de los muelles neumáticos delanteros



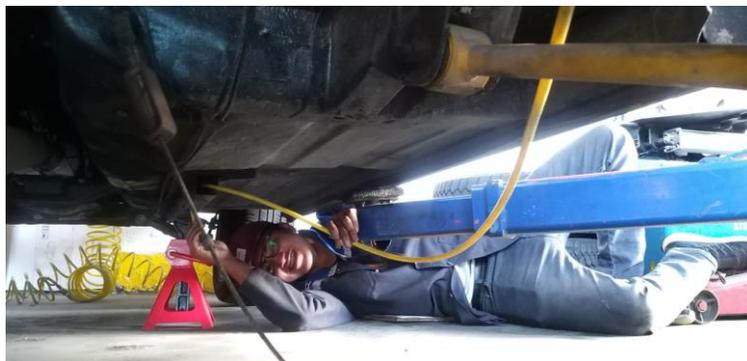
Nota. En la figura se muestra la implementación de los muelles neumáticos delanteros.

Mangueras de conexión

La manguera neumática previamente establecida 3/8" (9,5 mm) hasta 7.5m es implementada para la conexión de los elementos neumáticos los cuales corresponden a el tanque de reserva, bloque de electroválvulas, muelles neumáticos.

Figura 86

Implementación de las mangueras neumáticas.



Nota. En la figura se muestra la implementación de las mangueras neumáticas conectadas a los componentes.

Para la conexión de dichas mangueras se utiliza acoples de conexión para facilitar el acople y desacople, estos elementos son de cobre para evitar la oxidación, fabricados precisamente para circuitos neumáticos.

Figura 87

Acoples de conexión para mangueras neumáticas.



Nota. En la figura se muestra los acoples utilizados en la conexión de las mangueras neumáticas.

Figura 88

Conexión del sistema neumático.



Nota. En la figura se muestra la conexión neumática en el muelle

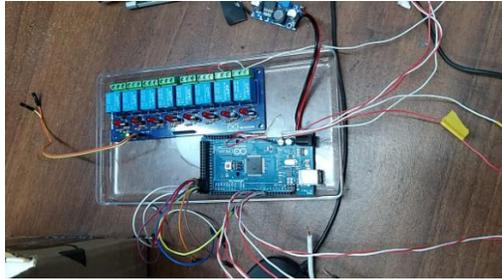
Sistema de control del sistema de suspensión

Para la implementación del módulo de control se realiza con los componentes previamente descritos en el capítulo anterior los cuales corresponden al Arduino Mega, Módulos de relés, aplicación de Arduino y el código de programación.

El módulo Arduino se encuentra en conjunto con el bloque de relés los cuales son los encargados de enviar las ordenes de apertura y cierre de las electroválvulas de acuerdo con las condiciones previamente establecidas.

Figura 89

Módulo de control del sistema de suspensión neumática.



Nota. En la figura se muestra el módulo de control del sistema de suspensión neumático.

Para el funcionamiento del módulo de control se implementa el código de programación el cual establece las condiciones de funcionamiento del sistema, el código completo se muestra en el anexo 10.

Figura 90

Código de programación del sistema de suspensión.

```

// Definición de pines de salida
const int pin1 = 12;
const int pin2 = 13;
const int pin3 = 14;
const int pin4 = 15;
const int pin5 = 16;

// Definición de pines de entrada
const int pin6 = 2;
const int pin7 = 3;
const int pin8 = 4;
const int pin9 = 5;
const int pin10 = 6;

// Definición de constantes de tiempo
const int delay1 = 1000; // 1 segundo
const int delay2 = 500; // 0.5 segundos

// Definición de variables globales
int estado1 = 0;
int estado2 = 0;
int estado3 = 0;
int estado4 = 0;
int estado5 = 0;

// Función de configuración de pines
void setup() {
  pinMode(pin1, OUTPUT);
  pinMode(pin2, OUTPUT);
  pinMode(pin3, OUTPUT);
  pinMode(pin4, OUTPUT);
  pinMode(pin5, OUTPUT);

  pinMode(pin6, INPUT);
  pinMode(pin7, INPUT);
  pinMode(pin8, INPUT);
  pinMode(pin9, INPUT);
  pinMode(pin10, INPUT);

  digitalWrite(pin1, LOW);
  digitalWrite(pin2, LOW);
  digitalWrite(pin3, LOW);
  digitalWrite(pin4, LOW);
  digitalWrite(pin5, LOW);
}

// Función de control del sistema
void loop() {
  // Lectura de sensores
  int sensor1 = digitalRead(pin6);
  int sensor2 = digitalRead(pin7);
  int sensor3 = digitalRead(pin8);
  int sensor4 = digitalRead(pin9);
  int sensor5 = digitalRead(pin10);

  // Lógica de control
  if (sensor1 == HIGH) {
    digitalWrite(pin1, HIGH);
    delay(delay1);
    digitalWrite(pin1, LOW);
  }

  if (sensor2 == HIGH) {
    digitalWrite(pin2, HIGH);
    delay(delay2);
    digitalWrite(pin2, LOW);
  }

  if (sensor3 == HIGH) {
    digitalWrite(pin3, HIGH);
    delay(delay1);
    digitalWrite(pin3, LOW);
  }

  if (sensor4 == HIGH) {
    digitalWrite(pin4, HIGH);
    delay(delay2);
    digitalWrite(pin4, LOW);
  }

  if (sensor5 == HIGH) {
    digitalWrite(pin5, HIGH);
    delay(delay1);
    digitalWrite(pin5, LOW);
  }
}

```

Nota. En la figura se muestra un pequeño fragmento del código de programación del sistema de suspensión.

Tablero de control.

Figura 91*Tablero de control del sistema de suspensión neumático*

Nota. En la figura se muestra el tablero de control del sistema de suspensión.

Tabla 26*Función de cada botón del tablero de control*

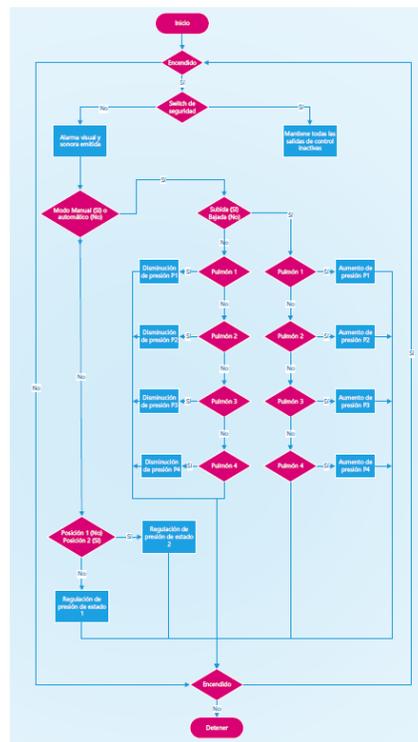
Parámetro	Descripción
1 Switch de selección de modo auto o manual	Selección de modo automático o manual
1 Switch posición 1 auto	Selecciona posición 1 de modo automático
1 Switch posición 2 auto	Selecciona posición 2 de modo automático
1 Switch selección subir o bajar	Selección en modo manual de operación del pulmón
4 Botón de selección de pulmón	Selecciona pulmón a accionar en modo manual
1 Switch de seguridad	Entra en modo de seguridad o rodaje
1 Led de advertencia	advierte cuando el modo de seguridad no esté activado
1 Buzzer de advertencia	advierte pérdida o excesiva presión en un muelle

Nota. En la tabla se muestra un resumen de los switch e interruptores que posee el tablero de control.

Para comprender el funcionamiento de las funciones que presenta el tablero de control se presenta un diagrama de flujo en el cual se encuentra el proceso de accionamiento del tablero como las condiciones presentes en su funcionamiento.

Figura 92

Diagrama de flujo del funcionamiento del tablero de control



Nota. En la figura se muestra el diagrama de flujo del proceso de funcionamiento del tablero de control

Como producto final se tiene el sistema de suspensión neumático controlado electrónicamente implementado en el vehículo Datsun 160J como todos sus componentes funcionando a las condiciones establecidas.

Figura 93

Implementación del sistema de suspensión neumática



Nota. En la figura se muestra el producto final de la implementación del sistema de suspensión neumática controlada electrónicamente.

Capítulo IV

Adquisición de datos característicos

Datos característicos del sistema de suspensión convencional.

Los datos obtenidos en el sistema de suspensión tienen su punto de estudio en las vibraciones generadas por el sistema en movimiento, por lo tanto, se establecen rutas de prueba para las condiciones de ensayo previamente establecidas en el capítulo anterior.

Los parámetros dinámicos para medir en el sistema de suspensión corresponden a velocidad angular, aceleración, grados de inclinación, deformación del muelle.

Las curvas características de estos parámetros son registradas mediante el sistema de monitoreo descrito con anterioridad, el cual permite cuantificar los datos obtenidos para posteriormente analizarlos de manera individual consiguiendo de esta manera el comportamiento general del sistema de suspensión convencional en las diferentes condiciones de prueba.

Una de las ventajas del sistema de monitoreo es la posibilidad de medir los parámetros en los tres ejes de coordenadas (X, Y, Z), por tal motivo, el sensor de inclinación es ubicado en el centro de gravedad del vehículo.

Otro de los factores importantes a medir es el tiempo de carga del tanque de reserva, la disminución de presión, voltajes de activación, del sistema.

Los datos obtenidos son extensos, por lo tanto, únicamente se muestran las curvas características de los diferentes parámetros en las condiciones de prueba establecidas.

Las pruebas de ruta se pueden revisar en la **tabla 23** las cuales describen las condiciones de ruta de las diferentes pruebas.

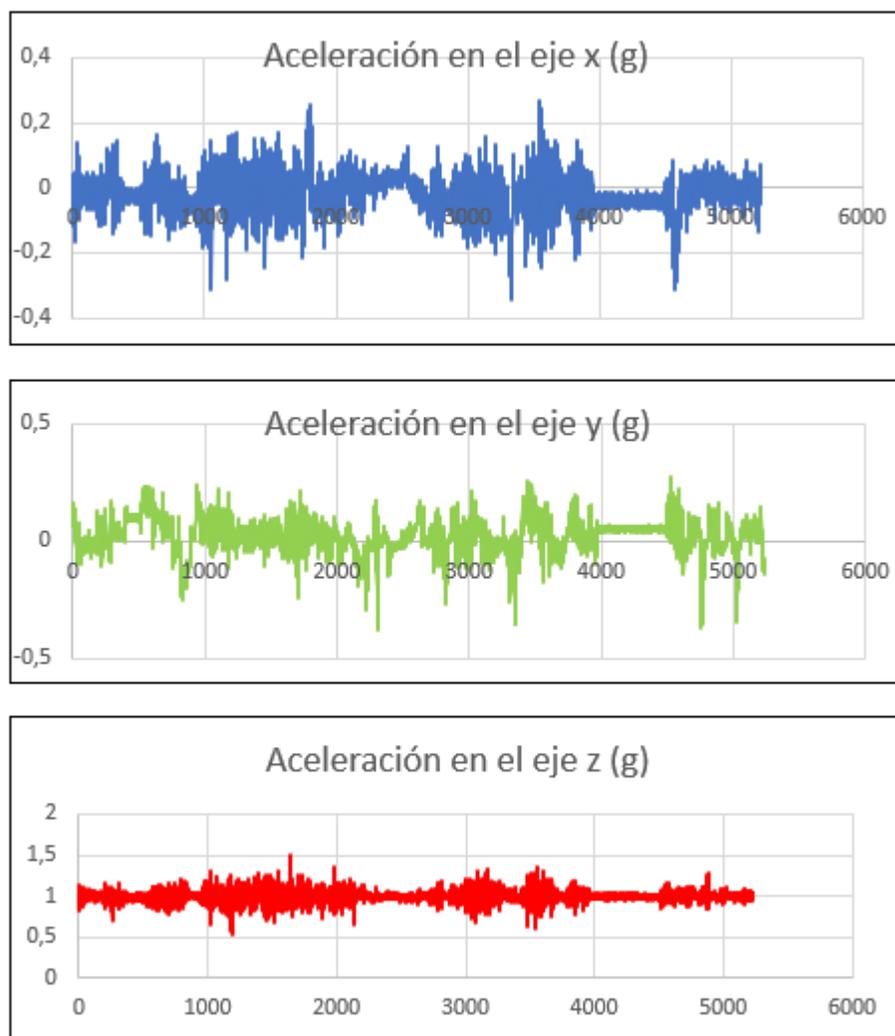
Condición de Adoquín

Análisis de aceleraciones

La aceleración es una magnitud que indica el cambio de velocidad de un objeto en una unidad de tiempo, para este caso se analiza el comportamiento del vehículo en el terreno de adoquín en los tres ejes de coordenadas.

Figura 94

Aceleración en el eje x, y, z.



Nota. En la figura se muestra el comportamiento del vehículo en el eje x, y, z en función de la gravedad.

El comportamiento del vehículo se analiza en un tramo de 500 m en una condición de adoquín para lo cual se puede establecer que los diferentes ejes corresponden a los movimientos Cabeceo (Y), Balanceo (X), Viraje (Z), para los parámetros de aceleraciones, velocidades angulares, ángulos de inclinación y deformación del muelle helicoidal.

En la condición de adoquín por la condición de que el terreno no presenta exageradas irregularidades se puede deducir que las aceleraciones se mantienen en un rango de variación corto teniendo como valores máximos de $0.27g$ en ambos ejes X, Y en cambio en Z su aceleración es mayor puesto que su valor máximo corresponde a $1.5g$, dando como resultado un comportamiento de estabilidad al transitar a 50 km/h con la suspensión convencional tipo McPherson.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 27

Valores característicos de la prueba de aceleración

Eje	Valor máximo	Valor mínimo	Valor Promedio
<i>X</i>	<i>0.27</i>	<i>-0.35</i>	<i>-0.02</i>
<i>Y</i>	<i>0.27</i>	<i>0.38</i>	<i>0.02</i>
<i>Z</i>	<i>1.5</i>	<i>0.54</i>	<i>0.1</i>

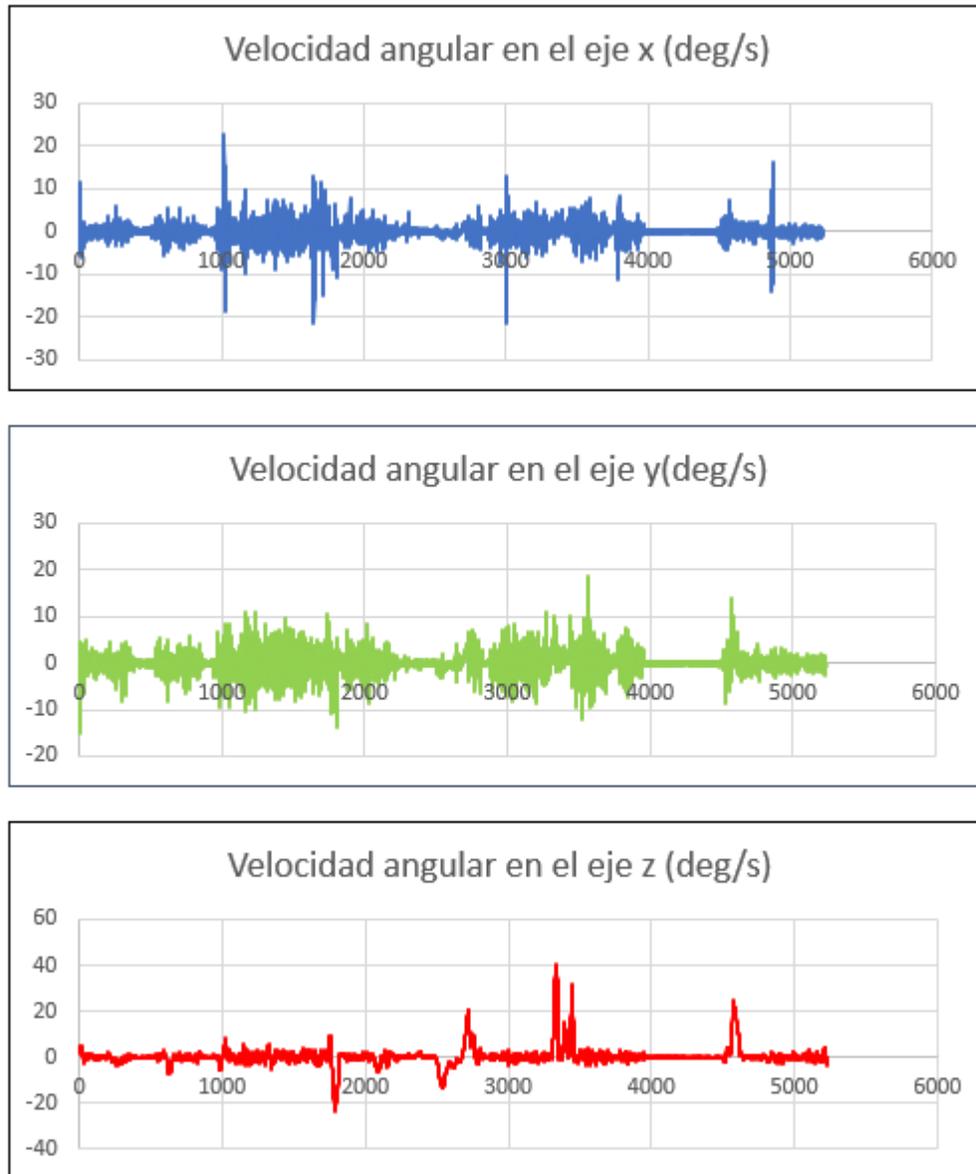
Nota. En la tabla se resumen los valores característicos de la prueba de aceleración en la condición de adoquín.

Análisis de velocidades angulares

La velocidad angular se define como una medida de la velocidad de rotación, corresponde al ángulo girado por una unidad de tiempo. El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 95

Velocidades angulares en los diferentes ejes de coordenadas.



Nota. En las figuras se muestran las curvas características de las velocidades angulares en los diferentes ejes de coordenadas.

Las velocidades angulares presentan picos más altos puesto que en la condición de prueba se evidencian dos obstáculos registrados los cuales generan estos picos de datos, las gráficas muestran que el rango de variación de la velocidad es medio siendo su

valor máximo en el eje Z con 40.46 deg/s , esto se debe a las irregularidades del terreno y a la velocidad de conducción la cual corresponde a 50 Km/h , se concluye que las velocidades angulares presentan un rango de variación mayor con respecto a la aceleración previamente descrita.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 28

Valores característicos de las velocidades angulares.

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>22.7</i>	<i>-21.54</i>	<i>-0.04</i>
<i>Y</i>	<i>18.86</i>	<i>-15.01</i>	<i>0.06</i>
<i>Z</i>	<i>40.46</i>	<i>-23.62</i>	<i>0.33</i>

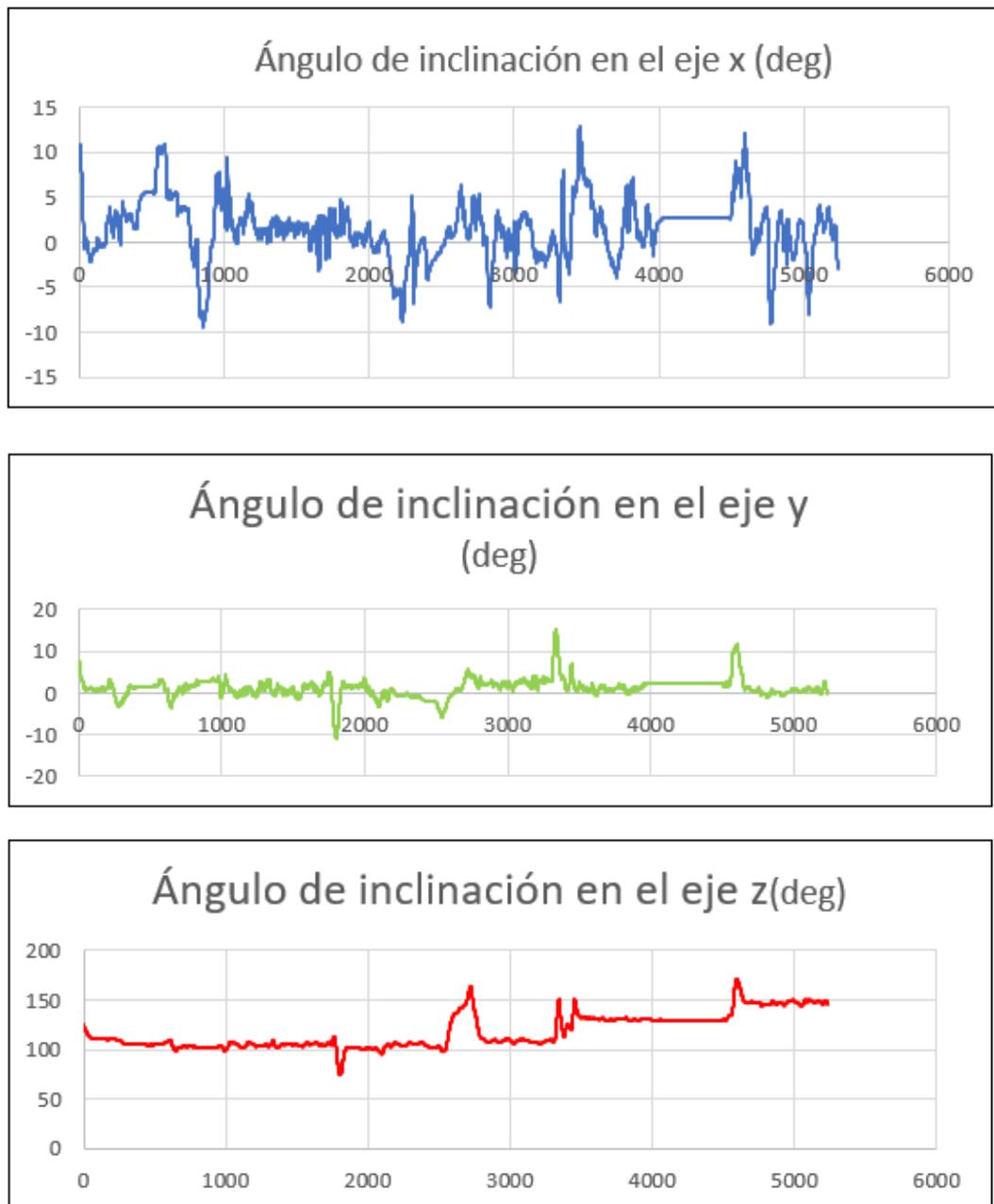
Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de las velocidades angulares.

Análisis del ángulo de inclinación.

El ángulo de inclinación se refiere al desfase que sufre el vehículo al momento de encontrarse en movimiento, este cambio de inclinación repercute en la estabilidad del vehículo. El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 96

Valores característicos del ángulo de inclinación.



Nota. En las figuras se muestran las curvas características del comportamiento del vehículo de acuerdo con los grados de inclinación.

En las gráficas del ángulo de inclinación se registra mayor variación en el eje Y tenido como consecuencia física y evidente un mayor balanceo teniendo un valor máximo

de 12.98 *deg* lo cual se produce por las irregularidades del terreno y la velocidad de conducción, otro de los factores es que la velocidad no es constante puesto que al ser una condición de ciudad se debe respetar las señaléticas de tránsito por lo que dificulta mantener una velocidad constante, sin embargo en lo que corresponde a cabeceo la gráfica se muestra prácticamente constante teniendo su valor máximo de 15.28 *deg* obteniendo de esta manera un movimiento transversal casi imperceptible, en el último caso el cual corresponde a la viraje su valor máximo es de 171.05 *deg* pero su comportamiento en el transcurso del ensayo es prácticamente constante y sus picos generados es por las irregularidades del terreno.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 29

Valores de los ángulos de inclinación.

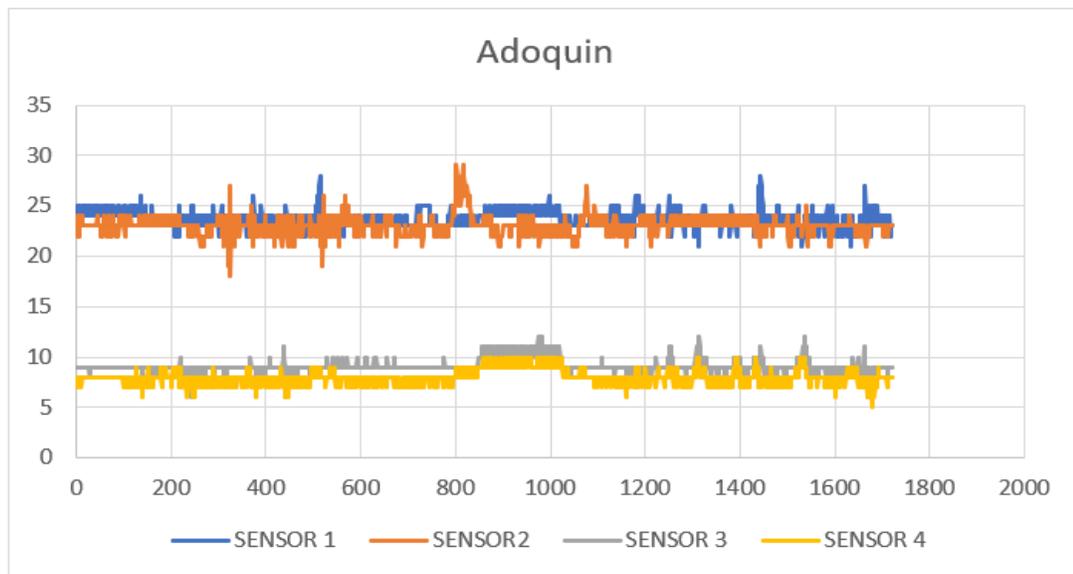
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>12.98</i>	<i>-9.40</i>	<i>1.46</i>
<i>Y</i>	<i>15.28</i>	<i>-10.88</i>	<i>1.25</i>
<i>Z</i>	<i>171.05</i>	<i>74.5</i>	<i>118.01</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de los ángulos de inclinación.

La compresión del muelle helicoidal es uno de los aspectos fundamentales para analizar describiendo la curva característica en cada condición de prueba, la tabla de datos se especifica en el anexo, por la cantidad de datos presentes.

Figura 97

Comportamiento de los muelles helicoidales en los cuatro neumáticos.



Nota. En la figura se muestra el comportamiento de la compresión del muelle helicoidal en la condición de adoquín.

En la condición de adoquín el comportamiento de los muelles helicoidales, como se muestra en la figura es irregular puesto que su variación es significativa en los diferentes sensores

El grupo de curvas del sensor 1 y 2 corresponde al eje delantero y 3 y 4 al eje posterior por lo que se puede evidenciar que su comportamiento es similar en ambos sensores sobrepuestos entre sí, lo que concluye que el sistema de suspensión convencional en la condición establecida traduce un confort alto a los ocupantes.

A continuación, se presenta los valores máximos de fluctuación de los diferentes sensores.

Tabla 30

Valores característicos de la compresión del muelle helicoidal

<i>Sensor</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
1	28	22	23.67
2	29	18	23.02
3	12	6	9.19
4	10	6	8.04

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de la compresión del muelle helicoidal en la condición de adoquín.

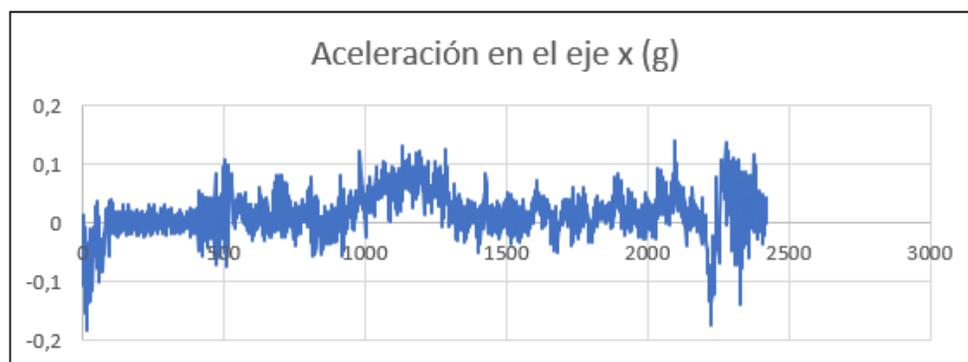
Condición de Asfalto

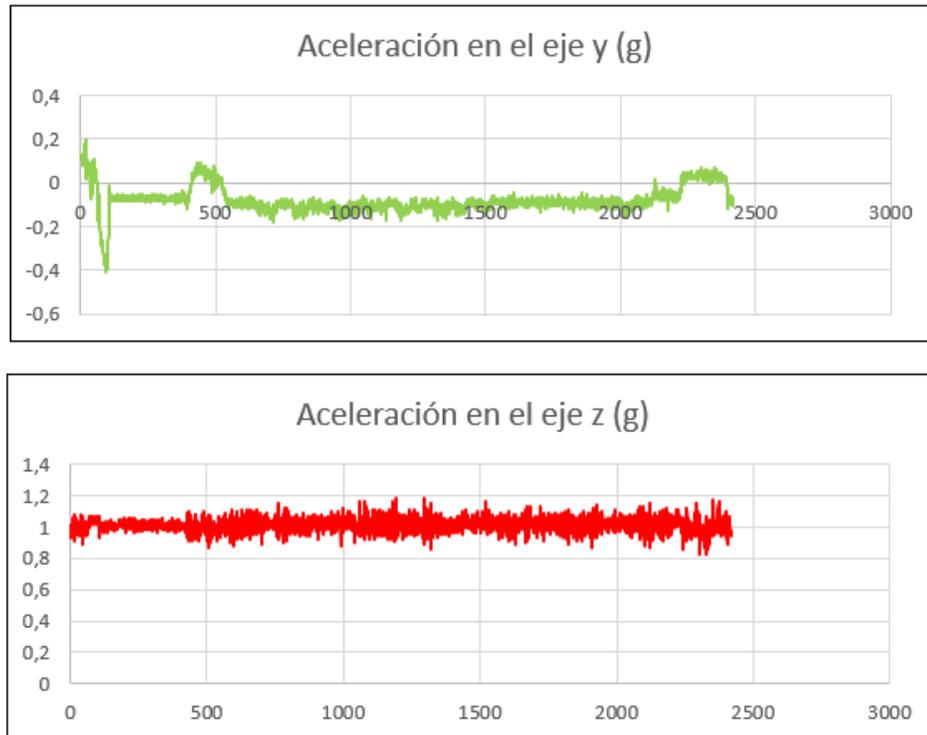
Análisis de aceleraciones

Para el análisis de aceleraciones se consideran los datos obtenidos del inclinómetro obteniendo las curvas características de la condición de asfalto. El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 98

Curvas características de la aceleración en asfalto.





Nota. En las figuras se muestran las curvas generadas en la condición de asfalto.

Las aceleraciones en la condición de asfalto presentan de principio una crecida significativa en el eje X puesto que se empieza de una posición de reposo tomando en consideración que la prueba se la realizó con una pendiente decreciente en lo cual favorece tanto a la aceleración evidenciando el comportamiento como una variación media teniendo sus valores máximos al entrar a una curva abierta como se evidencia en los anexos de prueba teniendo el valor máximo de $0.18g$ lo cual se considera un valor bajo.

Por otra parte, el comportamiento en el eje Y es de carácter decreciente hasta llegar a un valor promedio de $-0.08g$ teniendo un comportamiento cuasi constante,

En el eje Z presenta un comportamiento estable teniendo un promedio de valores de $1.01g$ por el motivo que no se evidencian mayores irregularidades en el terreno.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 31

Valores característicos de aceleraciones de la prueba de asfalto.

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>0.14</i>	<i>-0.18</i>	<i>0.02</i>
<i>Y</i>	<i>0.20</i>	<i>-0.40</i>	<i>-0.08</i>
<i>Z</i>	<i>1.18</i>	<i>-0.07</i>	<i>1.01</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de las aceleraciones.

Análisis de velocidades angulares

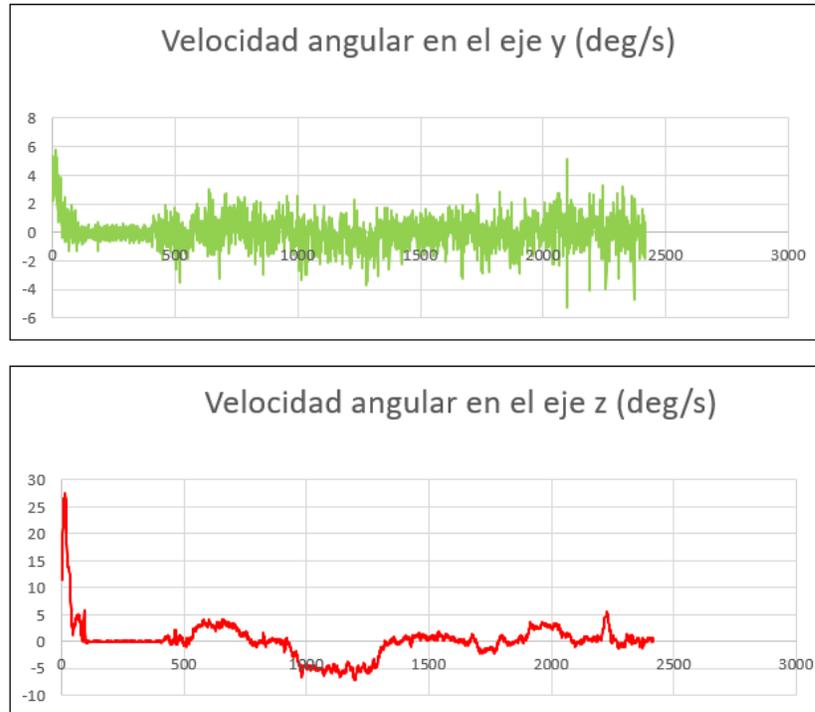
Los datos de las velocidades angulares son registrados por el inclinómetro los cuales son cuantificables y brindan las curvas características de esta condición de prueba.

El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 99

Velocidades angulares en la condición de asfalto





Nota. En las figuras se muestran las curvas generadas en la condición de asfalto referente a las velocidades angulares.

Las gráficas de las velocidades angulares muestran que el comportamiento en la condición de asfalto se encuentra en un rango de variación de -4 a 4 *deg/s* en promedio teniendo como valor promedio de 0.06 *deg/s* en el caso del eje X lo que físicamente se representa como un comportamiento constante en carretera y un desplazamiento uniforme.

En el caso de del eje Y la curva al inicio presenta un comportamiento decreciente hasta estabilizarse con un valor promedio de 0.03 *deg/s* presentando valores cortos de variación, como último análisis de las velocidades angulares su comportamiento es decreciente escalonado hasta llegar a un comportamiento casi sinusoidal en un tramo de la curva lo cual representa físicamente la entrada a las diferentes curvas que presenta el terreno.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 32

Valores característicos de las velocidades angulares.

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>6.50</i>	<i>-7.50</i>	<i>0.06</i>
<i>Y</i>	<i>5.80</i>	<i>-5.25</i>	<i>0.03</i>
<i>Z</i>	<i>27.59</i>	<i>-7.14</i>	<i>0.18</i>

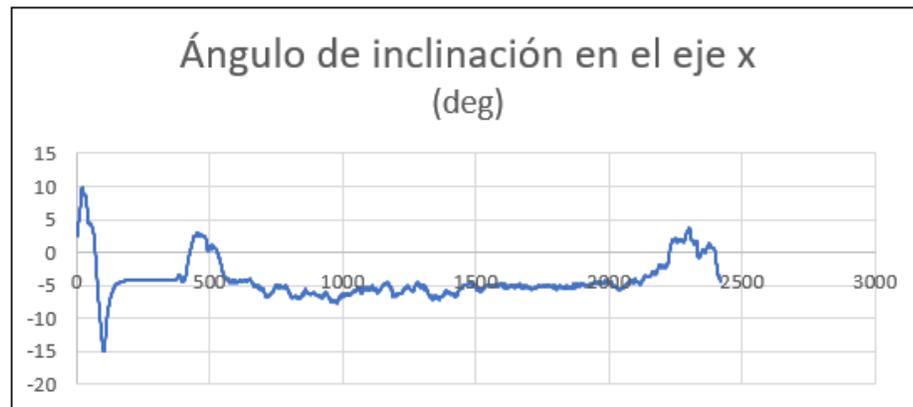
Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de las velocidades angulares.

Análisis del ángulo de inclinación.

Los ángulos de inclinación se registran en la condición de asfalto los cuales son cuantificables. El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 100

Curvas características del ángulo de inclinación.





Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de los ángulos de inclinación.

Los ángulos de inclinación de los diferentes ejes se traducen en los movimientos generales del vehículo en el caso del eje X corresponde al cabeceo en el cual se evidencia un comportamiento decreciente al inicio de la curva tomando como pico de dato el valor de 9.83 deg , este valor se presenta por el comienzo de la prueba puesto que al empezar el recorrido el vehículo se genera un cabeceo alto que posteriormente se estabiliza a un valor promedio de -4.13 deg por el hecho de encontrarse en una pendiente negativa.

En el caso del eje Y el movimiento existente es el balanceo su comportamiento es más irregular puesto que al momento de reducir la velocidad y frenar el balanceo es mayor

por el movimiento del vehículo teniendo su valor máximo de 132.26 *deg*, como última instancia, se tiene el movimiento de viraje

En el eje Z el que presenta su comportamiento variado en un rango de 80 a 130 *deg* tenido su valor máximo en 132.26 *deg* con valor promedio de 104.55 *deg* el cual físicamente representa que su rotación se lo realiza por las curvas presentes en el terreno de ensayo.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 33

Valores característicos de los ángulos de inclinación.

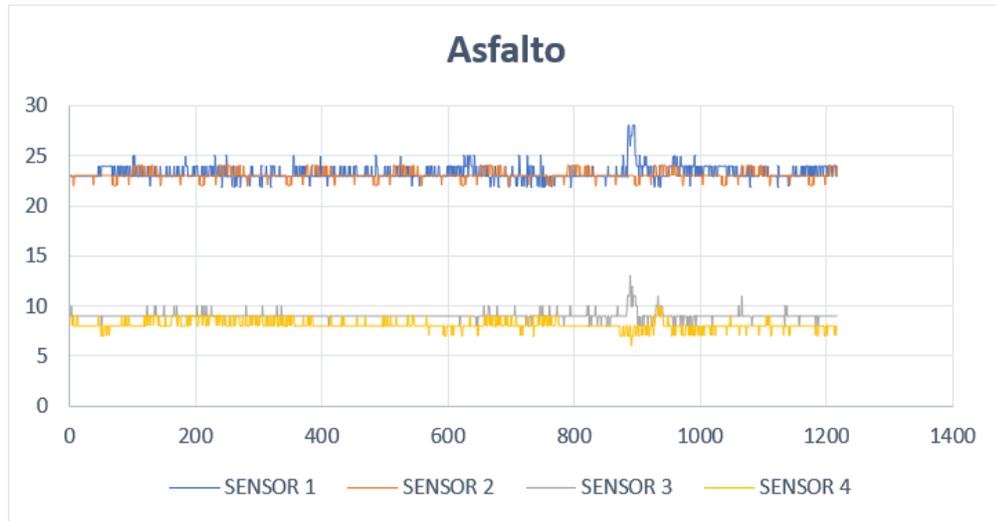
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>9.83</i>	<i>-15.07</i>	<i>-4.13</i>
<i>Y</i>	<i>5.86</i>	<i>-6.50</i>	<i>-0.89</i>
<i>Z</i>	<i>132.26</i>	<i>80.69</i>	<i>104.55</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de los ángulos de inclinación.

La compresión del muelle helicoidal es uno de los aspectos fundamentales para analizar describiendo la curva característica en cada condición de prueba, a continuación, se presenta la curva característica en la condición de asfalto.

Figura 101

Curva característica en la condición de asfalto.



Nota. En la figura se muestra el comportamiento de la compresión del muelle helicoidal en la condición de adoquín.

Las gráficas muestran el comportamiento del eje delantero y posterior como se describe a continuación.

En el eje delantero el comportamiento es diferente en ambas curvas registradas puesto que los valores de inicio son diferentes y su comportamiento en los valores picos no coinciden en el mismo instante, lo que se traduce como un confort leve en la condición de asfalto.

En el eje posterior, el comportamiento presenta mayor similitud en ambas curvas características teniendo varias coincidencias lo que se traduce como un mayor confort a comparación del eje delantero.

A continuación, se presenta los valores máximos de fluctuación de los diferentes sensores.

Tabla 34

Valores característicos de la condición de asfalto

<i>Sensor</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
1	28	22	23.67
2	29	18	23.02
3	12	6	9.19
4	10	6	8.04

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de la compresión del muelle helicoidal en la condición de asfalto.

Condición de Tierra

Análisis de aceleraciones

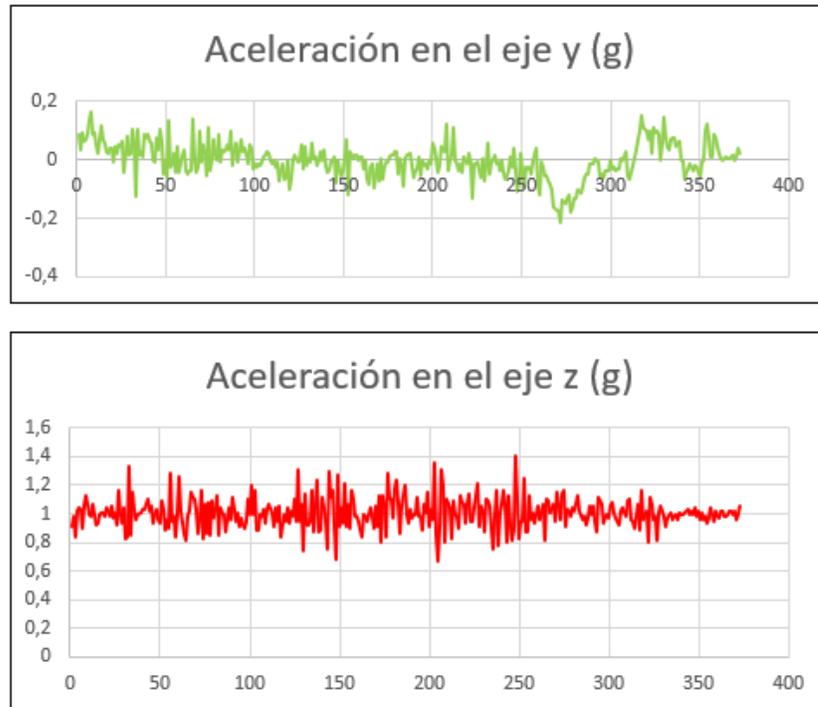
En el análisis de las aceleraciones generadas en la condición de tierra se evidencian las curvas características del comportamiento dinámico del vehículo el cual presenta notables diferencias a comparación de las anteriores pruebas realizadas.

El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 102

Curvas características de la condición tierra.





Nota. En la figura se pueden observar el comportamiento dinámico del vehículo en la condición de tierra respecto a las aceleraciones generadas.

En la condición de tierra los valores son más inestables puesto que al ser un terreno sumamente irregular el vehículo se comporta muy inestable por lo cual sus gráficas representan su comportamiento.

En el caso de la aceleración en el eje X su comportamiento es inestable por las condiciones de la carretera, su valor máximo es de $0.22g$, los picos existentes oscilan entre $-0.25g$ a $0.22g$, lo que representa físicamente como una variación de velocidad media,

En el caso del eje Y la variación es más constante puesto que su valor máximo es de $0.16g$, llegando a un valor promedio de $0.22g$ considerado como un valor bajo de aceleración lo que representa físicamente como un cambio de velocidad normal en este eje,

Como último punto que analizar se encuentra el comportamiento en el eje Z en el cual el comportamiento no es extravagante puesto que su valor promedio es de 1.00g lo cual evidencia un comportamiento normal y constante alrededor de este eje.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 35

Valores característicos de la condición tierra.

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>0.22</i>	<i>-0.25</i>	<i>0.01</i>
<i>Y</i>	<i>0.16</i>	<i>-0.21</i>	<i>0.22</i>
<i>Z</i>	<i>1.4</i>	<i>0.66</i>	<i>1.00</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de las aceleraciones generadas.

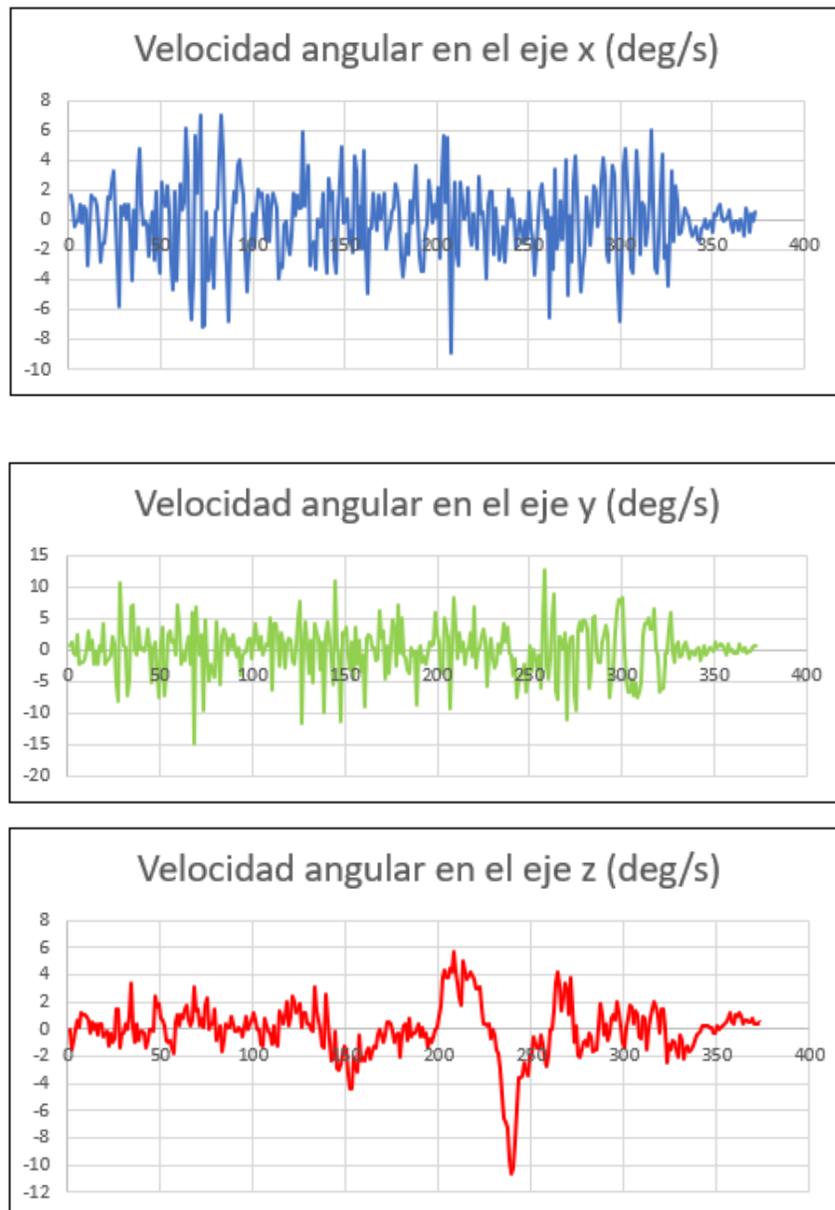
Análisis de velocidades angulares

Los valores y curvas características respecto a las velocidades angulares difieren significativamente de acuerdo con las pruebas anteriormente realizadas, se deduce que se evidencia este cambio por el estado del terreno en la prueba actualmente realizada.

El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 103

Curvas características de velocidades angulares en la condición tierra



Nota. En la figura se muestra las curvas características de la prueba realizada en la condición tierra.

Las velocidades angulares presentes en los diferentes ejes de coordenadas presentan mayor variación que en las anteriores pruebas, puesto que las condiciones del terreno son diferentes,

En el caso del eje X la curva presenta un comportamiento inestable con altos picos positivos como negativos teniendo un valor máximo de 7.02 deg/s y llegando a un promedio de prueba de $-0.07g$, su comportamiento es cambiante de extremo a extremo.

Para el caso del eje Y se muestra un comportamiento más estable teniendo como valor máximo de $12.82g$ llegando a un promedio de $-0.06g$ lo que indica que sus valores positivos y negativos son casi iguales lo que se traduce físicamente como un comportamiento inestable en el caso de las velocidades angulares en el eje Y,

Como último caso se considera el análisis del eje Z, el comportamiento de la velocidad angular es prácticamente estable, después de un tiempo se registra un pico de valor de $-11.06g$ el cual se traduce en caer en un agujero o pasar por un bache.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 36

Valores característicos de la prueba realizada en tierra

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>7.02</i>	<i>-8.97</i>	<i>-0.07</i>
<i>Y</i>	<i>12.82</i>	<i>-14.96</i>	<i>-0.06</i>
<i>Z</i>	<i>5.68</i>	<i>-0.06</i>	<i>-0.06</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de las velocidades angulares.

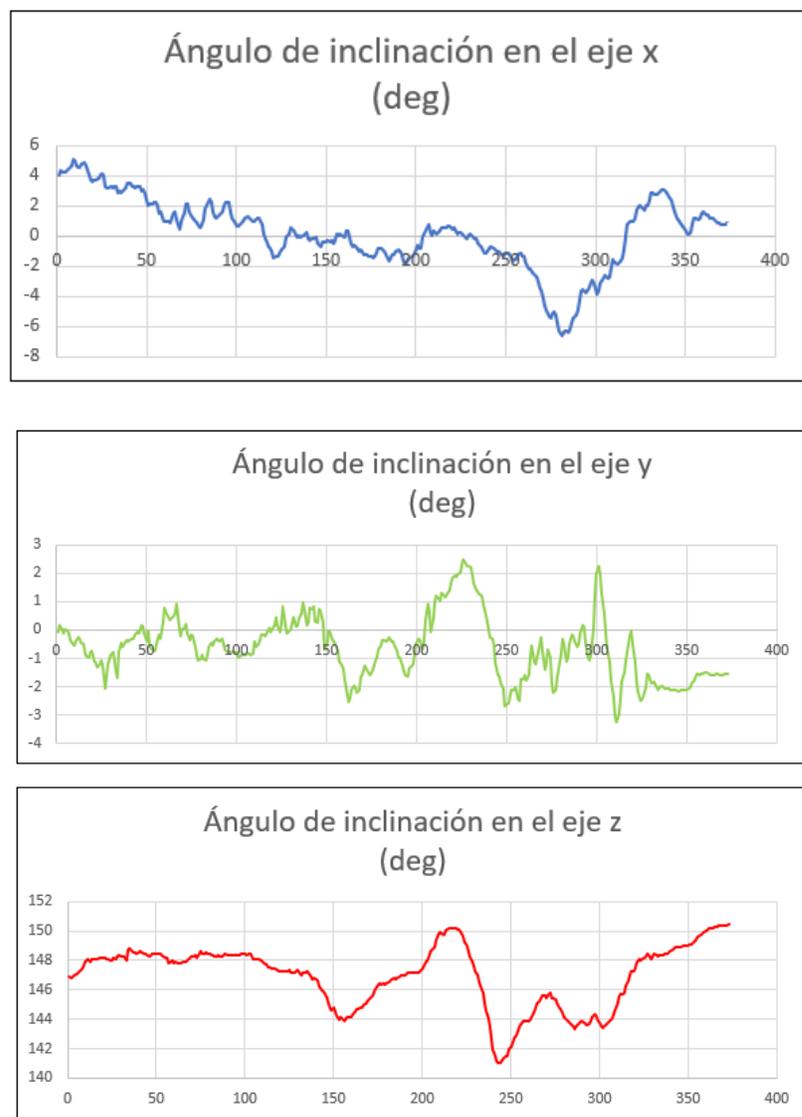
Análisis del ángulo de inclinación.

El análisis del ángulo de inclinación corresponde a un comportamiento totalmente diferentes a los anteriormente estudiados, puesto que las gráficas muestran un patrón diferente.

El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 104

Ángulos de inclinación de la condición de tierra



Nota. En la figura se muestra las curvas características de la prueba realizada en la condición tierra.

Las gráficas correspondientes a los ángulos de inclinación en los diferentes ejes de coordenadas presentan un comportamiento de la siguiente manera,

En el eje X presenta una curva decreciente la cual tiene su valor máximo de 5.03 deg teniendo un valor promedio de 0.19 deg lo cual indica que los valores se contrarrestan entre si por ese motivo el promedio es tan bajo lo que se traduce físicamente como un cabeceo leve,

En cambio, en el eje Y que corresponde al cabeceo el comportamiento de la curva es de manera creciente con lo que se registran picos de tensión con valores máximos de 2.47 deg teniendo como un valor promedio de -0.64 deg presentando un comportamiento variable en el balanceo.

Como último caso se analiza el viraje en el eje Z con un valor máximo de 150.46 deg teniendo como un valor promedio de 146.97 deg lo que se traduce físicamente como una rotación del vehículo por las condiciones del terreno.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 37

Valores característicos en la condición de tierra respecto al ángulo de inclinación

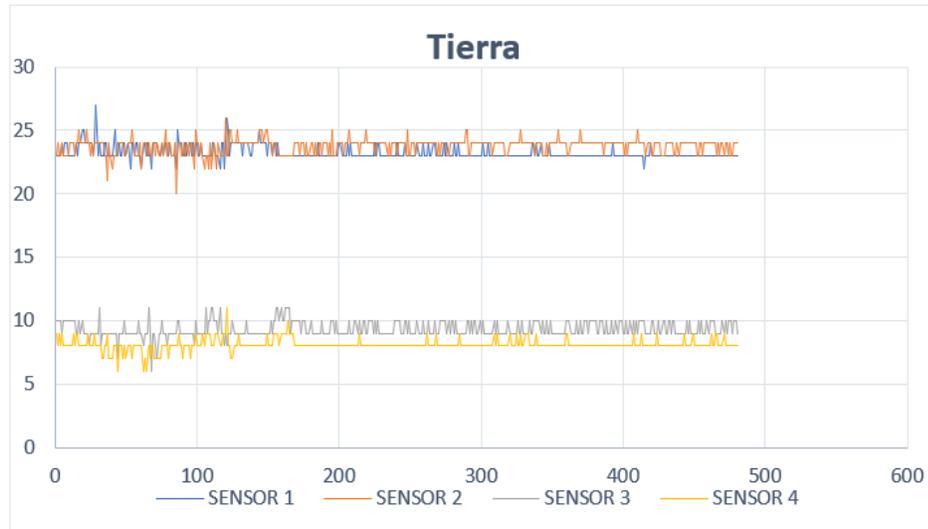
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>5.03</i>	<i>-6.56</i>	<i>0.19</i>
<i>Y</i>	<i>2.47</i>	<i>-3.235</i>	<i>-0.64</i>
<i>Z</i>	<i>150.46</i>	<i>140.99</i>	<i>146.97</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de loa ángulos de inclinación.

La compresión del muelle helicoidal es uno de los aspectos fundamentales para analizar describiendo la curva característica en cada condición de prueba, a continuación, se presenta la curva característica en la condición de rompevelocidades.

Figura 105

Curvas características en la condición de Tierra



Nota. En la figura se muestra el comportamiento de la compresión del muelle helicoidal en la condición de Tierra.

Las gráficas muestran el comportamiento del eje delantero y posterior como se describe a continuación.

El comportamiento del eje delantero muestra picos de datos significativos los cuales coinciden entre curvas, lo que representa un mayor confort hacia los ocupantes.

El comportamiento del eje posterior muestra un comportamiento diferente entre las dos curvas características lo cual se traduce como un confort leve para los ocupantes que se encuentren sobre el eje posterior.

Tabla 38

Valores característicos en la condición de tierra.

<i>Sensor</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
1	27	22	23.25
2	26	20	23.75
3	11	6	9.35
4	11	6	8.08

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de la compresión del muelle helicoidal en la condición de tierra.

Caso rompe velocidades

Para la condición de rompevelocidades, se toma en consideración la velocidad de entrada al obstáculo el cual es un referente importante en el desarrollo del ensayo.

La velocidad de entrada es de 25 *km/h* como se puede detallar en la **tabla 23** donde se muestran las condiciones de prueba del sistema de suspensión.

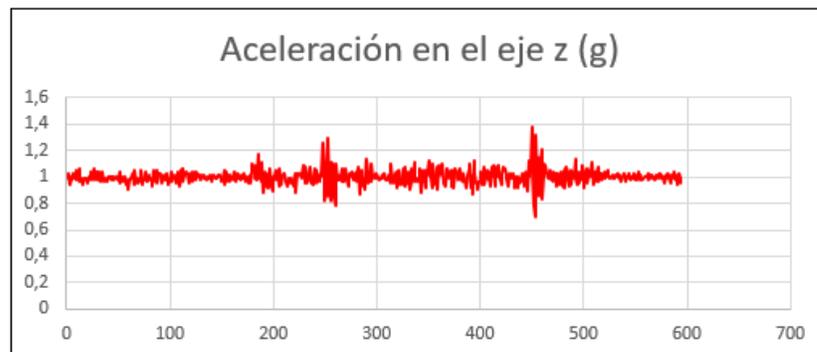
Análisis de aceleraciones

La gráfica de aceleraciones en esta prueba se muestra con valores picos puesto que se considera que mientras mayor sea la velocidad de entrada al rompe velocidades más picos de entrada se registran con el sensor.

El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 106

Curvas características de las aceleraciones.



Nota. En las figuras se muestran el comportamiento de las aceleraciones de acuerdo con la prueba realizada.

Las aceleraciones presentes en los diferentes ejes del rompevelocidades se los estipula en una condición de asfalto con la condición de la velocidad de entrada, para el caso del eje X el comportamiento de la curva característica es sumamente variable considerada en un rango de $-0.07g$ a $0.18g$ teniendo como valor promedio $0.04g$ lo que

indica que su fluctuación es sumamente variable justo en el instante de entrar en el rompevelocidad traduciendo como una inestabilidad en el vehículo en el caso del eje X,

En el eje Y la gráfica de aceleración presenta picos más pronunciados de manera descendente generado en un rango de variación entre los $-0.23g$ a $0.10g$ obteniendo un valor promedio de $-0.01g$ lo que repercute en una variación media generando leve inestabilidad en este eje,

El eje Z presenta un comportamiento más estable oscilando entre valores de $0.7g$ a $1.38g$ tenido como valor promedio $0.1g$ evidenciando físicamente como una estabilidad en aceleraciones a lo largo del eje Z obteniendo su pico de datos en el instante que el vehículo entra al rompevelocidades.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 39

Valores característicos de la prueba de aceleraciones.

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>0.18</i>	<i>-0.07</i>	<i>0.04</i>
<i>Y</i>	<i>0.10</i>	<i>-0.23</i>	<i>-0.01</i>
<i>Z</i>	<i>1.38</i>	<i>0.7</i>	<i>0.1</i>

Nota. En la tabla se muestra los valores característicos de la prueba de aceleraciones.

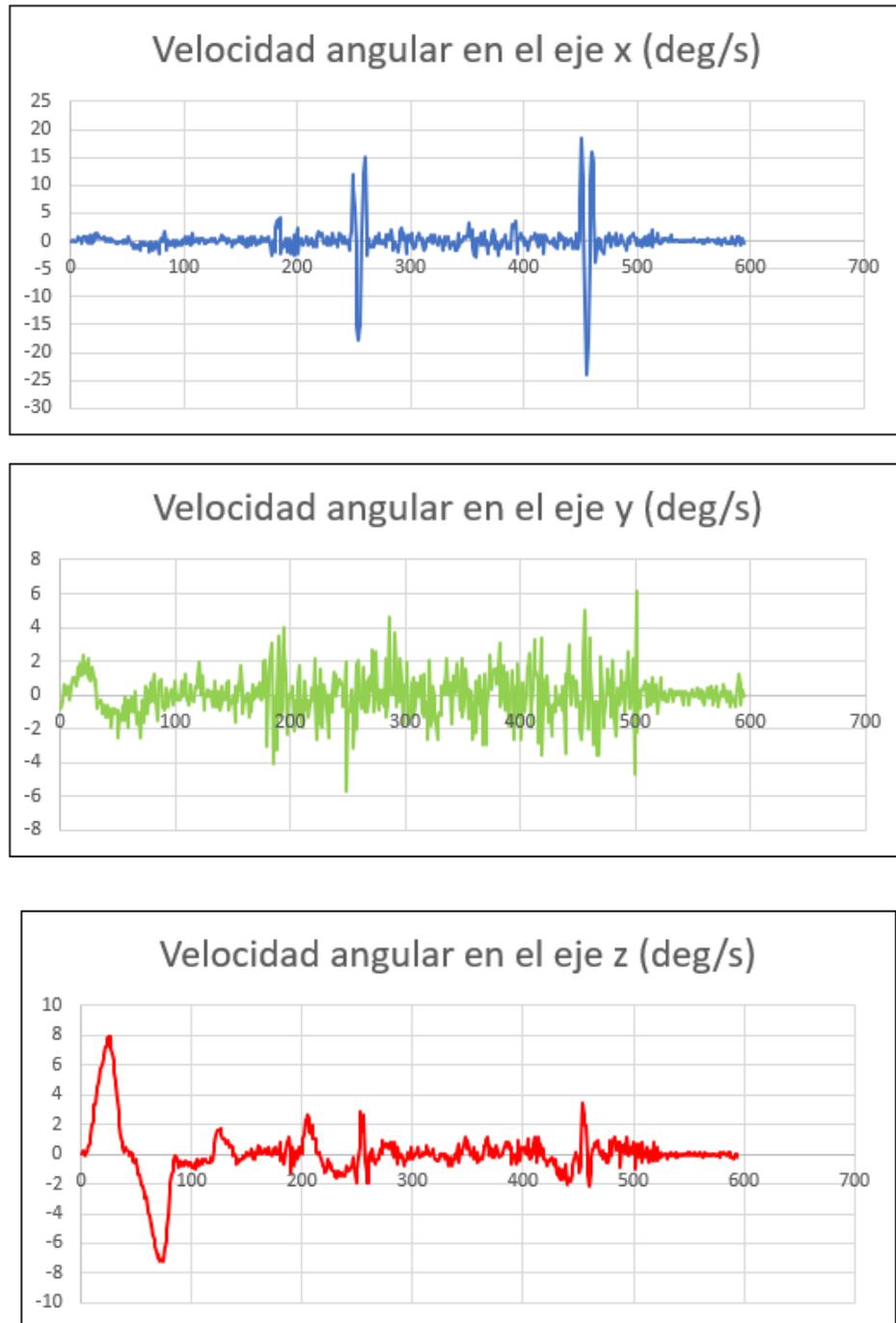
Análisis de velocidades angulares

Las velocidades angulares existentes en esta prueba presentan picos significativos en el instante de tiempo de ingresar al rompevelocidades los cuales se analizan posteriormente.

El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 107

Curvas características de las velocidades angulares



Nota. En las figuras se muestran el comportamiento de las velocidades angulares de acuerdo con la prueba realizada.

Las velocidades angulares existentes en esta condición de prueba son más significativas puesto que al encontrarse con el rompevelocidades los valores picos se disparan en el tramo de contacto de este.

En el caso del eje X se puede evidenciar un comportamiento estable hasta encontrarse con el rompevelocidades en las dos ocasiones de prueba para lo cual genera datos pico, el rango de variación de este eje se encuentra entre -24.11 deg/s a 18.5 deg/s manteniéndose en un valor promedio de 0.02 deg/s lo cual se traduce físicamente en una velocidad angular constante a lo largo del eje X.

En el caso del eje Y la variación de datos es más significativa puesto que su comportamiento es más variable oscilando en un rango de -5.73 deg/s a 6.20 deg/s teniendo un valor promedio de -0.02 deg/s lo que se traduce físicamente en una inestabilidad del vehículo a lo largo de este eje puesto que su grafica presenta un comportamiento variable.

En el caso del eje Z la variación al principio de la curva presenta los valores picos de variación sin embargo en el transcurso del ensayo la estabilidad de esta es más notoria variando entre un rango de valores de -7.26 deg/s a 7.94 deg/s , llegando a un valor promedio de 0.1 deg/s en lo cual se mantiene por el tiempo de duración de la prueba.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 40

Valores característicos de la prueba de rompevelocidades

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>18.5</i>	<i>-24.11</i>	<i>0.02</i>
<i>Y</i>	<i>6.20</i>	<i>-5.73</i>	<i>-0.02</i>
<i>Z</i>	<i>7.94</i>	<i>-7.26</i>	<i>0.1</i>

Nota. En la tabla se resumen los valores característicos de la prueba de velocidades angulares en la condición de rompevelocidades.

Análisis del ángulo de inclinación.

El cambio en el ángulo de inclinación en esta prueba es más significativo puesto que al pasar por el rompevelocidades se puede evidenciar y sentir el desfase de grados que existe dependiendo de la velocidad de entrada.

El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 108

Curvas características del ángulo de inclinación.





Nota. En las figuras se muestran el comportamiento del ángulo de inclinación de acuerdo con la prueba realizada.

Para los ángulos de inclinación existentes en la prueba de rompevelocidades se evidencian los mayores picos de datos en el instante de atravesar el rompevelocidades como se describe en las curvas de los diferentes ejes de coordenadas.

En el caso del eje X, la curva presenta un comportamiento decreciente desde el inicio de la prueba, alcanzado sus valores picos al instante de incurrir sobre el rompevelocidades variando en un rango de -7.33 deg a 3.73 deg los cuales son considerados como los valores picos del ensayo, teniendo un promedio de -0.68 deg lo cual repercute en un cabeceo medio, esto se produce por diferentes parámetros como son las condiciones del terreno, la velocidad de entrada, el tipo de sistema de suspensión entre otros factores.

En el caso del eje Y la curva presenta una mayor estabilidad puesto que sus valores alcanzan picos menores que el caso del eje x ya que el rango de variación es de -4.72 deg a 2.03 deg estabilizándose en un promedio de -2.04 deg lo cual físicamente indica que el balanceo es menor en la condición de rompevelocidades con lo cual la

estabilidad mejora y el confort hacia los ocupantes es mayor por no poseer significativas variaciones.

En el caso del eje Z la curva presente es de tipo creciente puesto que el nivel de rotación es mayor al instante de entrar en contacto con el rompevelocidades puesto que al variar en un rango de 135.17 deg a 152.40 deg se estabiliza en un valor promedio de 147.42 deg lo que se traduce que su variación es mayor a comparación de los demás ejes estudiados con lo que se concluye que la inestabilidad a lo largo del movimiento de viraje es mayor.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 41

Valores característicos de los ángulos de inclinación.

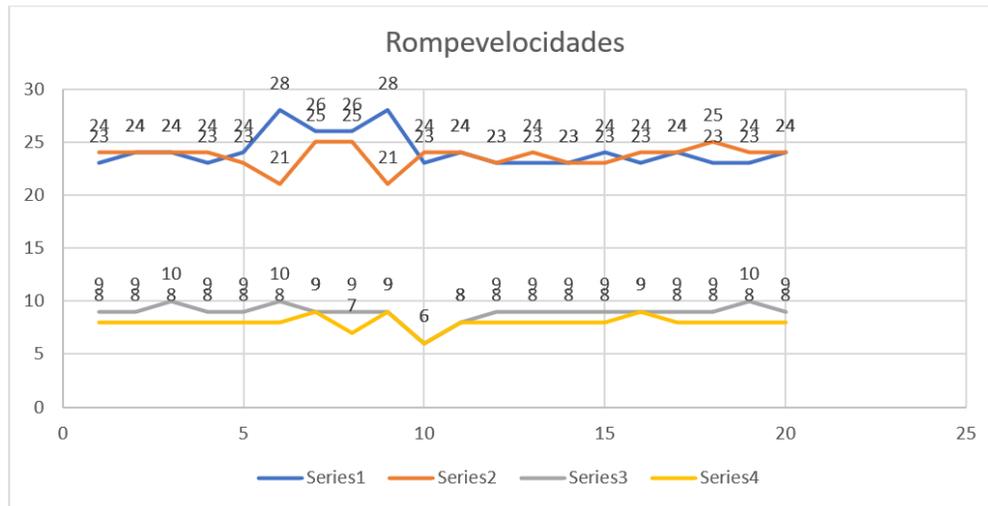
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>3.73</i>	<i>-7.33</i>	<i>-0.68</i>
<i>Y</i>	<i>2.03</i>	<i>-4.72</i>	<i>-2.04</i>
<i>Z</i>	<i>152.40</i>	<i>135.17</i>	<i>147.42</i>

Nota. En la tabla se resumen los valores característicos de los ángulos de inclinación en la condición de rompevelocidades.

La compresión del muelle helicoidal es uno de los aspectos fundamentales para analizar describiendo la curva característica en cada condición de prueba, a continuación, se presenta la curva característica en la condición de rompevelocidad.

Figura 109

Curva característica en la condición de rompevelocidad.



Nota. En la figura se muestra el comportamiento de la compresión del muelle helicoidal en la condición de rompevelocidades.

Las gráficas muestran el comportamiento del eje delantero y posterior como se describe a continuación.

En el eje delantero el comportamiento es cuasi similar en ambas curvas registradas puesto que los valores de inicio son diferentes y su comportamiento en los valores picos no coinciden en el mismo instante, lo que se traduce como un confort leve en la condición de rompevelocidad.

En el eje posterior, el comportamiento presenta mayor similitud en ambas curvas características teniendo varias coincidencias lo que se traduce como un mayor confort a comparación del eje delantero.

A continuación, se presenta los valores máximos de fluctuación de los diferentes sensores.

Tabla 42

Valores característicos en la condición de rompevelocidad

<i>Sensor</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
1	28	22	23.51
2	27	21	23.89
3	12	5	9.30
4	10	5	8.34

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de la compresión del muelle helicoidal en la condición de rompevelocidad.

Condición de Frenado

Para la condición de frenado se considera realizarla en una recta de 500 m teniendo en consideración una velocidad de 50km/h obteniendo las curvas características de este ensayo para posteriormente analizarlas de manera independiente.

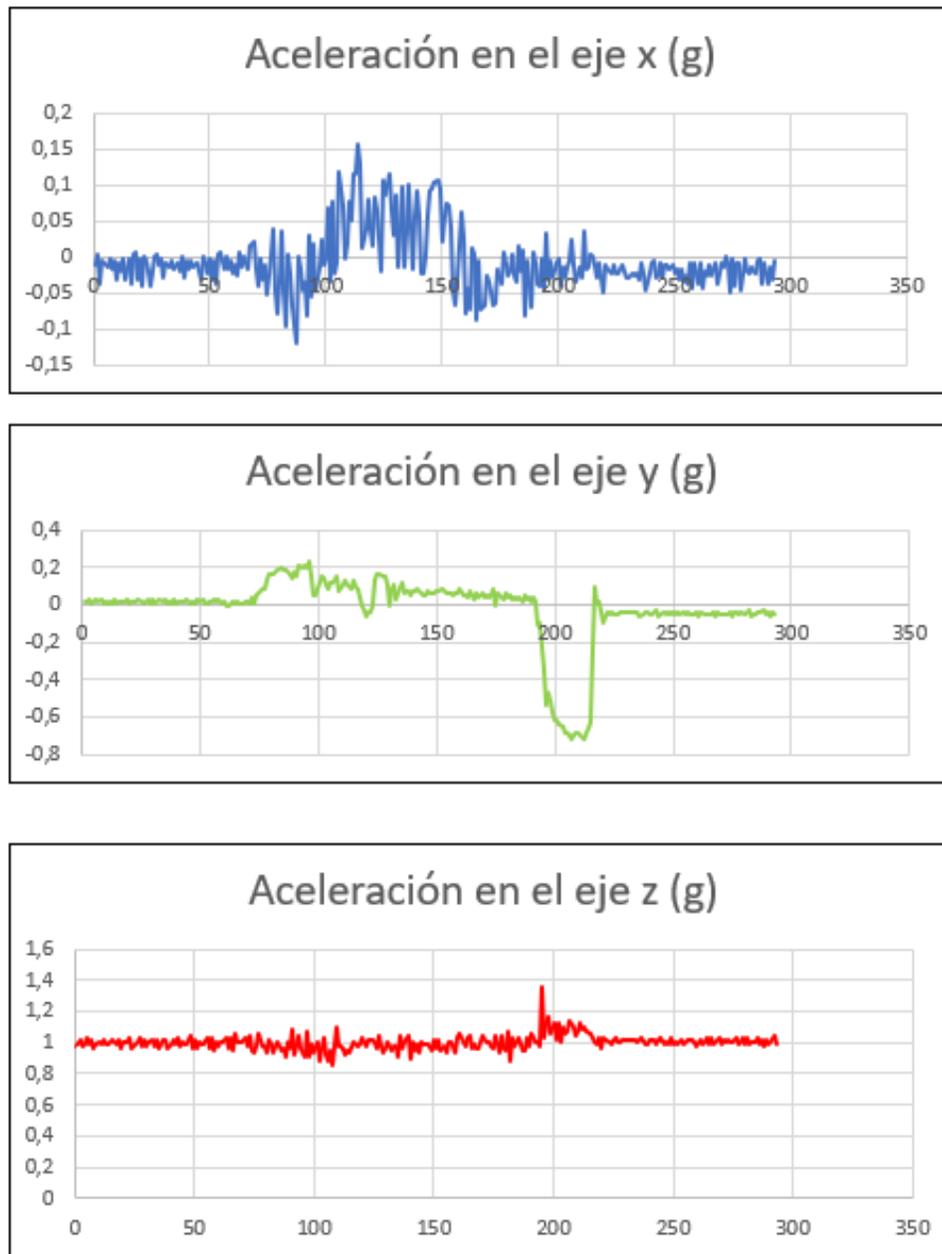
Análisis de aceleraciones.

Las aceleraciones presentes en el ensayo muestran un comportamiento característico al momento de accionar el freno, puesto que los movimientos del vehículo son desplazados en los tres ejes de coordenadas.

El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 110

Curvas características de la prueba de frenado.



Nota. En las figuras se muestran las curvas características de la prueba de frenado.

En la prueba de frenado las aceleraciones existentes varían notoriamente en el instante de realizar el frenado del vehículo puesto que sus curvas características traducen el comportamiento dinámico del vehículo descritos en los tres ejes de coordenadas.

En el caso del eje X, la curva tiene un comportamiento estable al inicio de la prueba sin embargo en el instante de realizar la frenada los valores alcanzan sus puntos máximos lo cual se traduce en que existe un rango de variación mayor puesto que al principio de la prueba se encuentra en un valor promedio de $-0.005g$, sin embargo, al instante de frenar el rango de variación cambia de $-0.12g$ a $0.16g$ el que después de un tiempo se estabiliza en el promedio anteriormente establecido.

En el caso del eje Y las variaciones son más pronunciadas en el instante donde se registra el frenado, puesto que en la mayoría de la prueba se mantiene en el valor promedio de $-0.02g$, sin embargo, al instante de entrar en la condición de prueba los valores máximos de este eje se visualizan variando la curva en un rango de $-0.72g$ a $0.23g$ para posteriormente estabilizarse en el valor promedio lo que corresponde físicamente en la conclusión del ensayo.

En el caso del eje Z es el eje que presenta mayor estabilidad, puesto que los valores tienen menor variación obteniendo sus picos máximos en un rango de $0.86g$ a $1.37g$ estabilizándose en un promedio de $1.00g$ lo cual se traduce físicamente a una estabilidad a lo largo de este eje.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 43

Valores característicos de la prueba de frenado

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>0.16</i>	<i>-0.12</i>	<i>-0.005</i>
<i>Y</i>	<i>0.23</i>	<i>-0.72</i>	<i>-0.02</i>
<i>Z</i>	<i>1.37</i>	<i>0.86</i>	<i>1.00</i>

Nota. En la tabla se resumen los valores característicos de las aceleraciones en la condición de frenado.

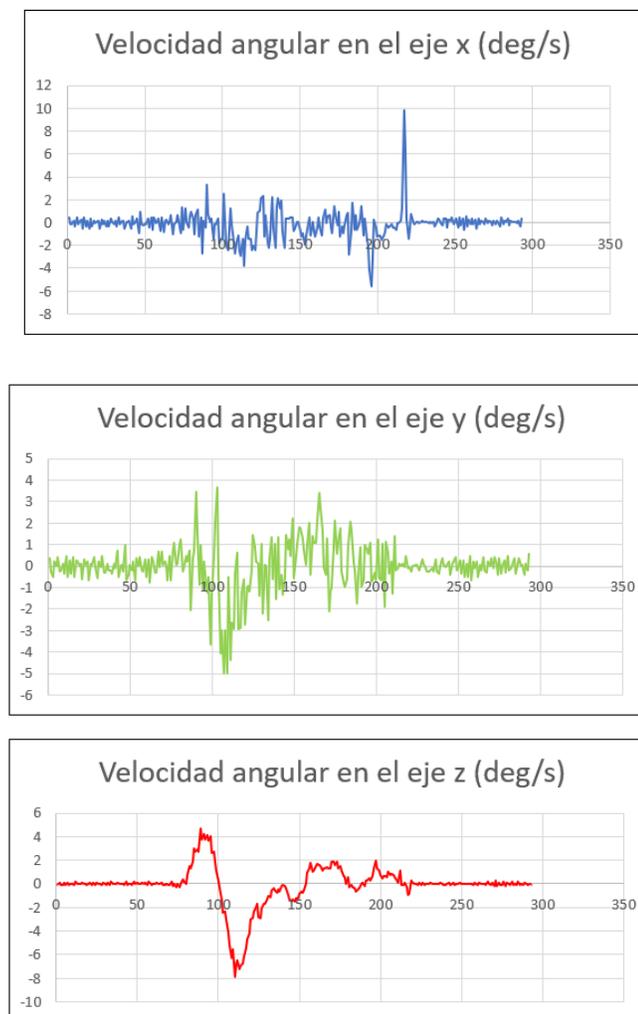
Análisis de velocidades angulares

Para el análisis de las velocidades angulares se presentan las curvas características los cuales son más notorios en el instante de la frenada presentando picos en las gráficas como se detalla a continuación.

El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 111

Curvas características de las velocidades angulares.



Nota. En las figuras se muestra el comportamiento de las velocidades angulares en los diferentes ejes de coordenadas.

El análisis de las velocidades angulares es más significativo en los ejes Y y Z puesto que presentan mayor variación en la curva característica como se describe a continuación.

En el caso del eje X, las variaciones de datos al inicio de la prueba son constante estableciéndose en un promedio de -0.17 deg/s para lo cual al instante de realizar la frenada del vehículo los valores picos se evidencian variando la curva en un rango de valores de -5.55 deg/s a 9.83 deg/s para posteriormente establecerse en el promedio previamente establecido lo que se traduce físicamente como una estabilidad media en el eje X.

En el caso del eje Y, las variaciones de datos son más significativas puesto que al momento de realizar la frenada los valores máximos de este ensayo son variando en un rango de -5.00 deg/s a 3.66 deg/s estabilizándose en un promedio de -0.03 deg/s lo cual representa físicamente como una inestabilidad a lo largo del eje Y que se traduce como una variación de velocidad rotacional.

En el caso del eje Z, el comportamiento de la curva al inicio de la prueba es de manera constante en un valor de -0.13 deg/s para lo cual al instante de realizar la frenada se evidencian los valores máximos entre un rango de -7.87 deg/s a 4.70 deg/s lo que se traduce físicamente como una velocidad rotacional leve en el eje Z.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 44

Valores característicos de la prueba de frenado

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>9.83</i>	<i>-5.55</i>	<i>-0.17</i>
<i>Y</i>	<i>3.66</i>	<i>-5.00</i>	<i>-0.03</i>
<i>Z</i>	<i>4.70</i>	<i>-7.87</i>	<i>-0.13</i>

Nota. En la tabla se resumen los valores característicos de las velocidades angulares en la condición de frenado.

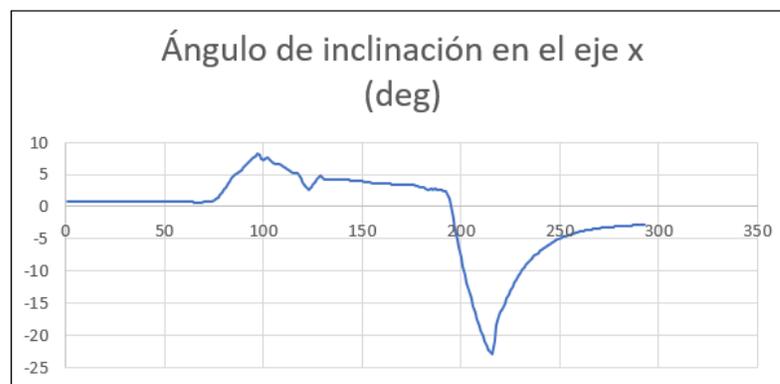
Análisis de ángulos de inclinación

En el análisis de los ángulos de inclinación se registran mayores picos en las curvas características puesto que el vehículo adopta un comportamiento de variación significativo registrado en las curvas.

El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 112

Curvas características de la prueba de frenado





Nota. En las figuras se muestra el comportamiento de los ángulos de inclinación en los diferentes ejes de coordenadas.

Como previamente se describe los ángulos de inclinación se traducen en movimientos característicos del vehículo como son balanceo, cabeceo y viraje lo cual se evidencian en los diferentes ejes.

En el caso del eje X, el comportamiento al inicio de la curva es estable estando en un valor promedio de -0.76 deg presentando en el inicio de la condición de frenado sus valores picos para llegar de 8.14 deg a -22.88 deg para posteriormente comportarse como una función logarítmica, lo que físicamente se traduce a un balanceo alto en el instante del frenado.

En el caso del eje Y, el comportamiento es opuesto al eje X puesto que se comportan de manera similar al inicio de la prueba durante el transcurso de esta los valores de la curva decrecen hasta llegar a un rango de variación entre 2.33 deg y -4.02 deg en lo cual al finalizar la condición de frenado se encuentra en valores positivos del ángulo de inclinación, lo que se traduce como un cabeceo alto el cual tiene como resultado la inestabilidad del vehículo.

En el caso del eje Z, el comportamiento es creciente con dos picos muy bien marcados los cuales son los indicadores de que el movimiento en el eje Z o viraje es significativa variando entre los datos 108.21 *deg* a 120.74 *deg* para después estabilizarse en un valor promedio de 112.44 *deg* lo cual se traduce físicamente en un desplazamiento del vehículo a lo largo del eje z brusco.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 45

Valores característicos de los ángulos de inclinación.

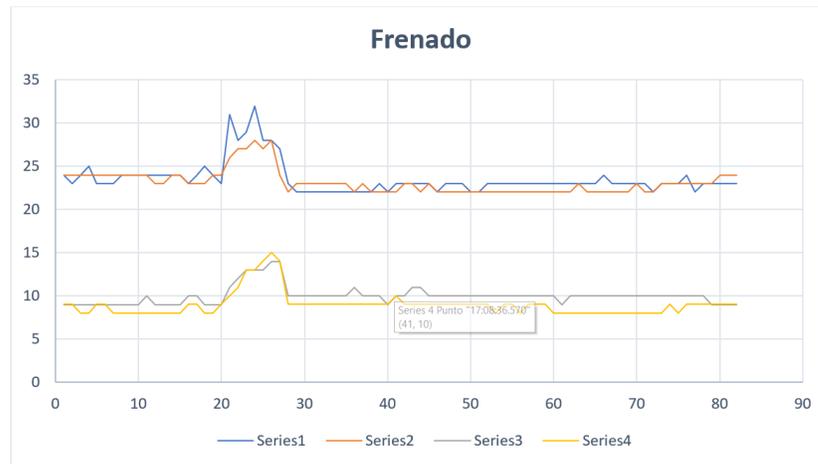
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>8.14</i>	<i>-22.88</i>	<i>-0.76</i>
<i>Y</i>	<i>2.33</i>	<i>-4.02</i>	<i>0.46</i>
<i>Z</i>	<i>120.74</i>	<i>108.21</i>	<i>112.44</i>

Nota. En la tabla se resumen los valores característicos de los ángulos de inclinación en la condición de frenado.

La compresión del muelle helicoidal es uno de los aspectos fundamentales para analizar describiendo la curva característica en cada condición de prueba, a continuación, se presenta la curva característica en la condición de asfalto.

Figura 113

Curvas características de la condición de frenado



Nota. En la figura se muestra el comportamiento de la compresión del muelle helicoidal en la condición de frenado.

Las gráficas muestran el comportamiento del eje delantero y posterior como se describe a continuación.

En el eje delantero el comportamiento es bastante similar en ambas curvas registradas puesto que los valores de inicio son diferentes y su comportamiento en los valores picos coinciden en el mismo instante, lo que se traduce como un confort moderado en la condición de frenado.

En el eje posterior, el comportamiento presenta mayor similitud en ambas curvas características teniendo varias coincidencias lo que se traduce como un mayor confort a comparación del eje delantero.

A continuación, se presenta los valores máximos de fluctuación de los diferentes sensores.

Tabla 46

Valores característicos de la condición de frenado.

<i>Sensor</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
1	32	22	23.32
2	28	22	23.36
3	14	9	9.60
4	15	7	8.57

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de la compresión del muelle helicoidal en la condición de frenado.

Condición curva derecha e izquierda

Los objetivos del ensayo de esta prueba radican en visualizar el comportamiento del vehículo al instante de cruzar por curvas abiertas hacia la derecha e izquierda, considerando la velocidad de entrada a la curva la distancia recorrida, con esta prueba se visualiza la tendencia al volquete del vehículo lo cual es un parámetro por describir en las gráficas.

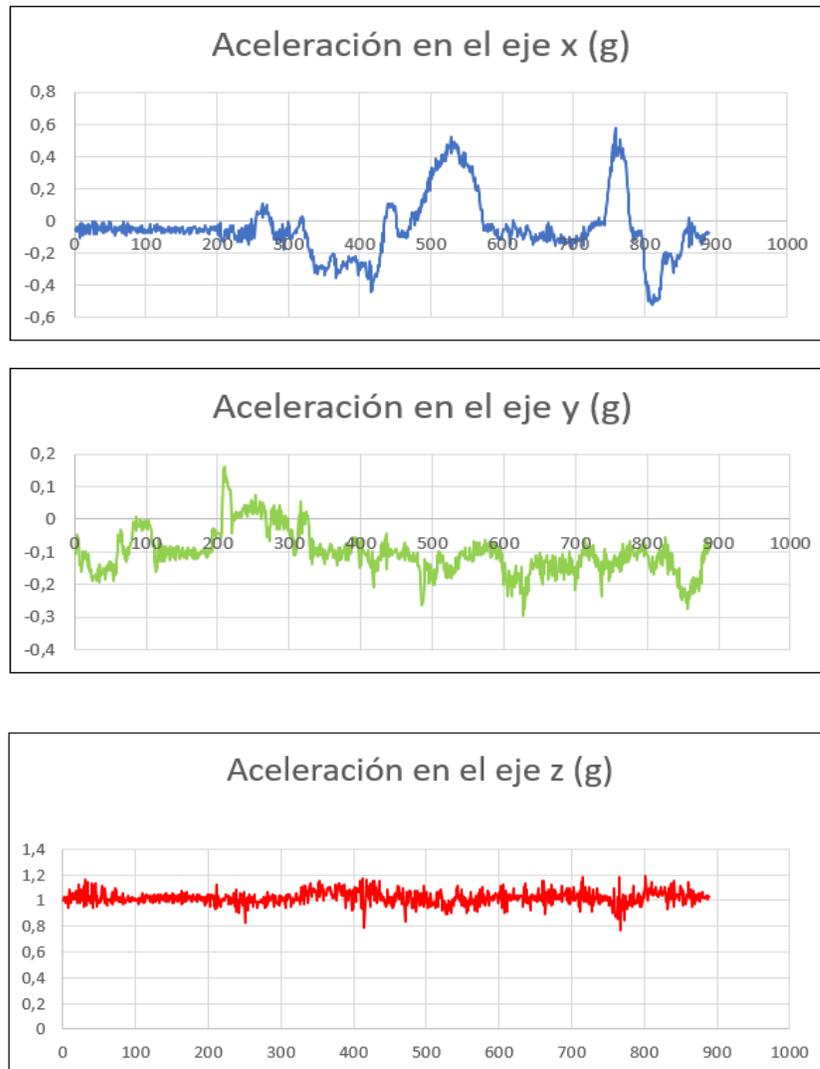
Análisis de aceleraciones

El comportamiento de la aceleración en una curva representa el cambio de velocidad y dirección en un tiempo determinado, lo cual es traducido a gráficas interpretativas sobre el comportamiento del vehículo.

El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 114

Curvas características condición de curvas derecha e izquierda.



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo en el instante de entrar a una curva derecha e izquierda.

El análisis de las aceleraciones en la condición de curvas es más significativo puesto que estas curvas representan la estabilidad que posee el vehículo en los diferentes ejes de coordenadas.

En el eje X, su comportamiento en las diferentes curvas es muy evidente puesto que los valores picos presentan en la condición donde el vehículo entra a las curvas,

como se puede apreciar en la gráfica el primer pico representa la curva derecha y enseguida se genera la curva izquierda la cual presenta el otro pico donde se puede evidenciar que el rango de variación es de $-0.53g$ a $0.57g$, lo que se traduce físicamente a una inestabilidad en curvas.

En el caso del eje Y, el comportamiento de la curva es más limitado con valores más cercanos por tal motivo el rango de valores es de $-0.30g$ a $0.16g$ para posteriormente oscilar levemente entre el promedio el cual es de $-0.10g$, lo que se traduce básicamente como una estabilidad en el eje y al momento de entrar a la curva derecha e izquierda.

En el caso del eje Z, el comportamiento de la curva es más constante, oscilando entre valores de $0.76g$ a $1.18g$ lo cual es un rango de variación corto, para posteriormente establecerse en el promedio de $1.02g$, lo cual se traduce físicamente como un estabilidad de aceleraciones en el eje z que se registra como la gravedad ejercida sobre el vehículo.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 47

Valores característicos de la condición de curvas derecha e izquierda

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>0.57</i>	<i>-0.53</i>	<i>-0.05</i>
<i>Y</i>	<i>0.16</i>	<i>-0.30</i>	<i>-0.10</i>
<i>Z</i>	<i>1.18</i>	<i>0.76</i>	<i>1.02</i>

Nota. En la tabla se resumen los valores característicos de las aceleraciones en la condición de curva derecha e izquierda.

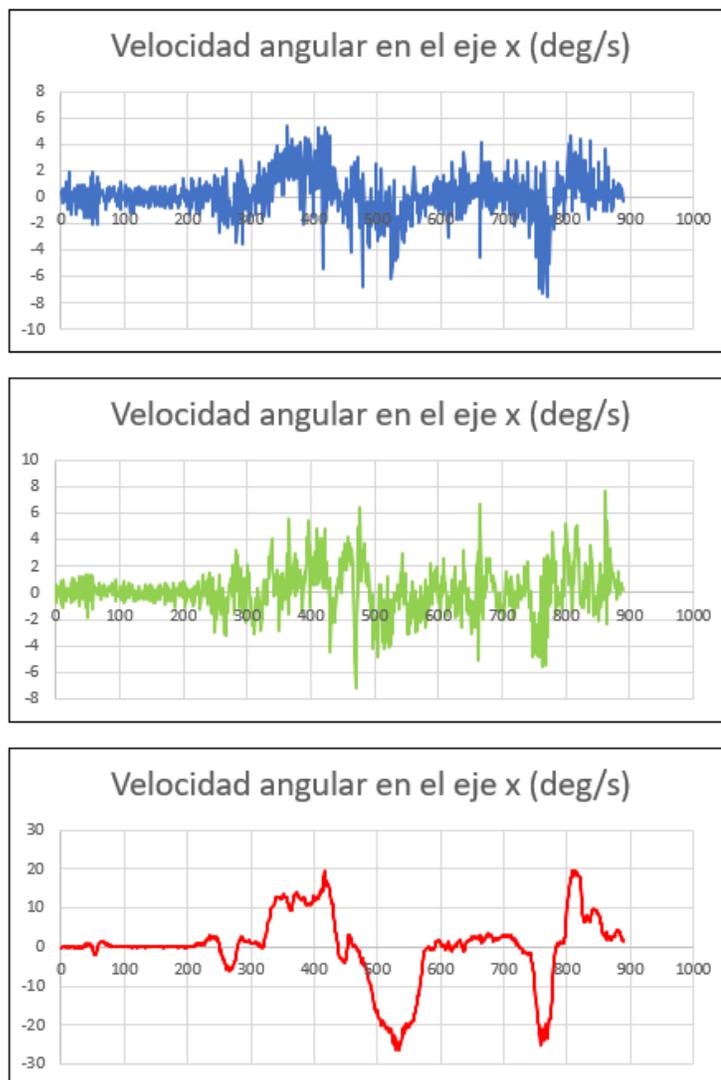
Análisis de velocidades angulares

Para el análisis de las velocidades angulares del ensayo se registran mayores picos de datos puesto que al entrar a la curva la velocidad angular es tangencial a la curva.

El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 115

Curvas características de la velocidad angular en la condición de curva derecha e izquierda



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo en el instante de entrar a una curva derecha e izquierda.

El comportamiento de las velocidades angulares en la condición de curvas derecha e izquierda presentan una variación considerable en los valores picos de los diferentes ejes de coordenadas estudiados.

En el caso del eje X, el comportamiento de la curva característica es de manera creciente en el inicio de la prueba visualizando los picos generados como curva derecha e izquierda variando en un rango de valores de -7.5 deg/s a 5.37 deg/s y estableciéndose en un promedio de 0.13 deg/s lo que se traduce físicamente como una inestabilidad en el eje X.

En el caso de le eje Y, el comportamiento es más variable puesto que su curva característica muestra valores mayor a los del eje X, por tal motivo la curva varía entre -7.2 deg/s y 7.63 deg/s para posteriormente establecerse en un promedio de 0.14 deg/s lo que representa físicamente como una mayor inestabilidad en la velocidad a lo largo de este eje en el instante de ingresar a las curvas descritas.

En el caso del eje Z, el comportamiento de la curva es más representativo, puesto que los valores son más distantes, el rango de variación es de -26.55 deg/s a 19.71 deg/s estableciéndose en un promedio de 0.03 deg/s en pequeños lapsos, en la curva se muestran notoriamente el instante de incidencia de la curva.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 48

Valores característicos de las velocidades angulares en curva derecha e izquierda.

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>5.37</i>	<i>-7.5</i>	<i>0.13</i>
<i>Y</i>	<i>7.63</i>	<i>-7.2</i>	<i>0.14</i>
<i>Z</i>	<i>19.71</i>	<i>-26.55</i>	<i>0.03</i>

Nota. En la tabla se resumen los valores característicos de las velocidades angulares en la condición de curva derecha e izquierda.

Análisis del ángulo de inclinación

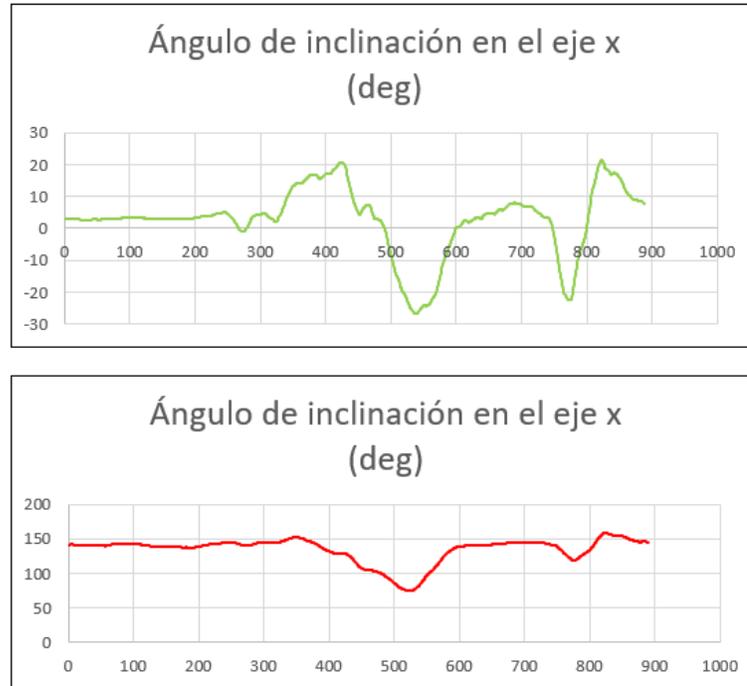
Para el análisis de los ángulos de inclinación se describe su comportamiento en la etapa donde se registra la curva derecha e izquierda se evidencia mayores picos registrados en los tres ejes de coordenadas.

El análisis de la curva característica se presenta a continuación describiendo el comportamiento del vehículo en movimiento.

Figura 116

Curvas características del ángulo de inclinación.





Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo en el instante de entrar a una curva derecha e izquierda.

Para el análisis de los ángulos inclinación en la condición de curvas se evidencia que el comportamiento en los diferentes ejes de coordenadas es representativo visualizando que posee picos bien marcados en los diferentes ejes.

En el caso del eje X, el comportamiento de la curva se visualiza de carácter creciente hasta el instante que el vehículo entra en la curva derecha e izquierda generando oscilaciones de carácter sinusoidal evaluado entre valores de -10.84 deg a 5.68 deg para posteriormente establecerse en un promedio de -3.26 deg lo cual repercute en un balanceo moderado que físicamente se traduce en una falta de confort hacia los ocupantes.

En el caso del eje Y, el comportamiento de la curva es más estable con picos generados por la propia incidencia de la curva derecha e izquierda la cual oscila entre los valores de -26.63 deg a 21.26 deg para posteriormente establecerse en un promedio con

un valor de 2.69 deg lo que se traduce a un cabeceo leve en el instante de ingresar a las curvas derecha e izquierda.

En el caso del eje Z, el comportamiento de la curva es sumamente estable presentando valores de variación muy próximos entre sí los cuales corresponden a 75.27 deg a 158.70 deg , estos valores generados corresponden a los máximos y mínimos generados en la curva por acción de las curvas analizadas, pero en si su comportamiento se mantiene en el promedio el cual es de 134.08 deg , lo cual repercute físicamente como un viraje estable.

A continuación, se muestra una tabla que resumen los valores máximos y mínimos registrados en el transcurso de esta prueba.

Tabla 49

Valores característicos de la condición de curva derecha e izquierda.

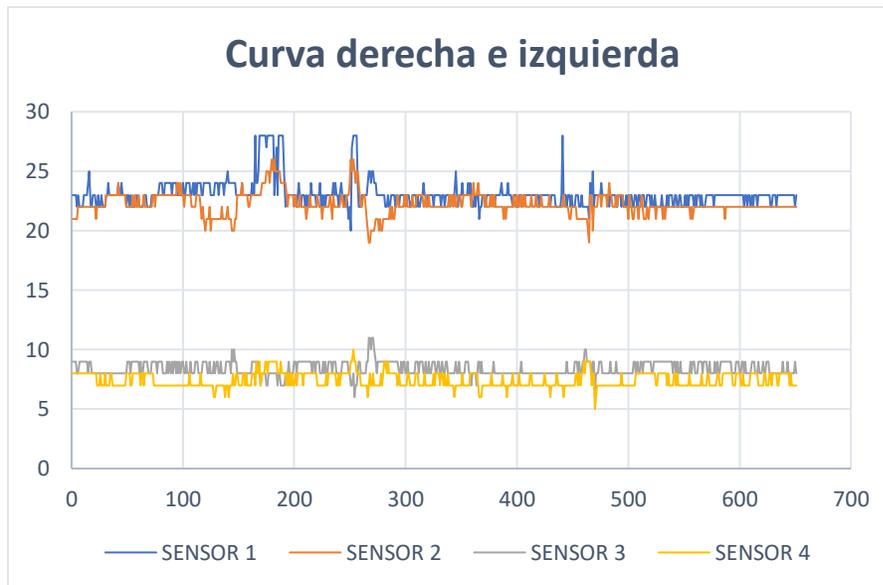
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>5.68</i>	<i>-10.84</i>	<i>-3.26</i>
<i>Y</i>	<i>21.26</i>	<i>-26.63</i>	<i>2.69</i>
<i>Z</i>	<i>158.70</i>	<i>75.27</i>	<i>134.08</i>

Nota. En la tabla se resumen los valores característicos de los ángulos de inclinación en la condición de curva derecha e izquierda.

La compresión del muelle helicoidal es uno de los aspectos fundamentales para analizar describiendo la curva característica en cada condición de prueba, a continuación, se presenta la curva característica en la condición de curva derecha e izquierda.

Figura 117

Curva característica en la condición de curva derecha e izquierda.



Nota. En la figura se muestra el comportamiento de la compresión del muelle helicoidal en la condición de frenado.

Las gráficas muestran el comportamiento del eje delantero y posterior como se describe a continuación.

En el eje delantero el comportamiento es diferente en ambas curvas registradas puesto que los valores de inicio son diferentes y su comportamiento en los valores picos no coinciden en el mismo instante, lo que se traduce como un confort bajo en la condición de frenado.

En el eje posterior, el comportamiento presenta diferencias marcadas en ambas curvas características teniendo varias coincidencias lo que se traduce como un menor confort a comparación del eje delantero.

A continuación, se presenta los valores máximos de fluctuación de los diferentes sensores.

Tabla 50

Valores característicos de la condición de curva derecha e izquierda.

<i>Sensor</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
1	28	20	23.10
2	26	19	22.23
3	11	6	8.40
4	10	5	7.43

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de la compresión del muelle helicoidal en la condición de frenado.

Pruebas de la suspensión neumática

Para el análisis de la suspensión neumática se utiliza el mismo sistema de monitoreo para poder evaluar las curvas características de las diferentes condiciones de prueba.

Las pruebas realizadas en el sistema de suspensión neumática se las realiza en las mismas rutas donde se realizaron las pruebas del sistema de suspensión convencional. Las curvas obtenidas son comparadas con las curvas de la suspensión convencional para determinar la mejora o déficit del confort estudiando las vibraciones generadas.

Las condiciones de las pruebas realizadas con la suspensión neumática se detallan en la **tabla 23** para tener condiciones de prueba similares tanto en la suspensión convencional y la neumática.

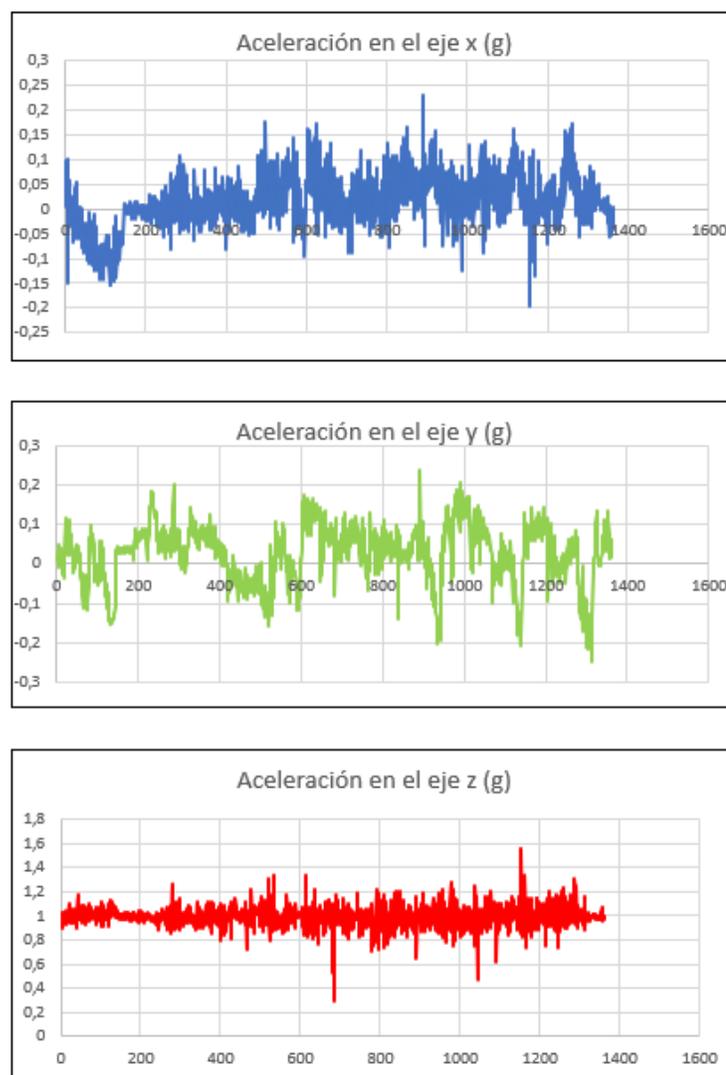
Condición adoquín

La condición de adoquín muestra las siguientes curvas características las cuales son descritas en cada parámetro de análisis para posteriormente comparar ambas curvas y determinar su eficiencia entre ambos sistemas.

Análisis de aceleraciones

Figura 118

Curvas características de las aceleraciones



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo considerando las aceleraciones en las condiciones de adoquín.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de adoquín se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es de carácter creciente teniendo picos de valores bien marcados los cuales varían entre $0.23g$ y $-0.20g$ teniendo un valor promedio de $0.01 g$ lo que traduce como un confort leve en la sensación de aceleración.

En el eje Y, el comportamiento de la curva es de carácter variante teniendo picos de valores bien marcados los cuales varían entre $0.24g$ y $-0.25g$ teniendo un valor promedio de $0.03 g$ lo que traduce como un confort bajo en la sensación de aceleración.

En el eje Z, el comportamiento de la curva es de carácter constante teniendo picos de valores estables marcados los cuales varían entre $1.55g$ y $-0.20g$ teniendo un valor promedio de $1.00 g$ lo que traduce como un confort leve en la sensación de aceleración.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de adoquín.

Tabla 51

Valores característicos de la condición de adoquín

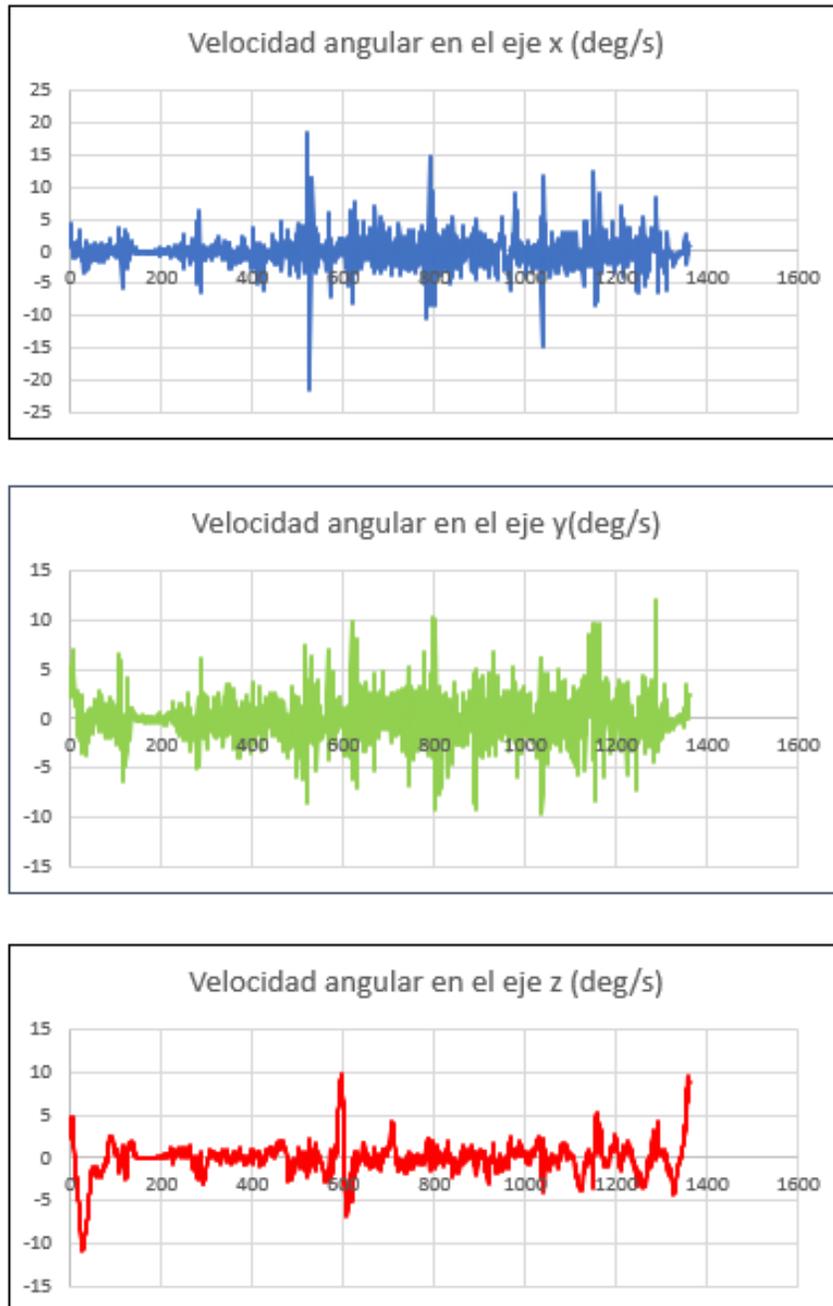
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>0.23</i>	<i>-0.20</i>	<i>0.02</i>
<i>Y</i>	<i>0.24</i>	<i>-0.25</i>	<i>0.03</i>
<i>Z</i>	<i>1.55</i>	<i>0.3</i>	<i>1.00</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de las aceleraciones en la condición de adoquín.

Análisis de velocidades angulares

Figura 119

Curvas características de las velocidades angulares.



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo considerando las velocidades angulares en las condiciones de adoquín.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de adoquín se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es de carácter creciente teniendo picos de valores bien marcados los cuales varían entre 18.43deg/s y -21.54deg/s teniendo un valor promedio de -0.13 deg/s lo que traduce como un confort leve en la sensación de velocidad angular.

En el eje Y, el comportamiento de la curva es de carácter variante teniendo picos de valores bien marcados los cuales varían entre 12.02deg/s y -9.60deg/s teniendo un valor promedio de 0.06 deg/s lo que traduce como un confort bajo en la sensación de aceleración.

En el eje Z, el comportamiento de la curva es de carácter variante teniendo picos de valores fluctuantes marcados los cuales varían entre 9.95deg/s y -10.98deg/s teniendo un valor promedio de -0.13 deg/s lo que traduce como un confort leve en la sensación de aceleración.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de adoquín.

Tabla 52

Valores característicos de la condición de adoquín respecto a la velocidad angular

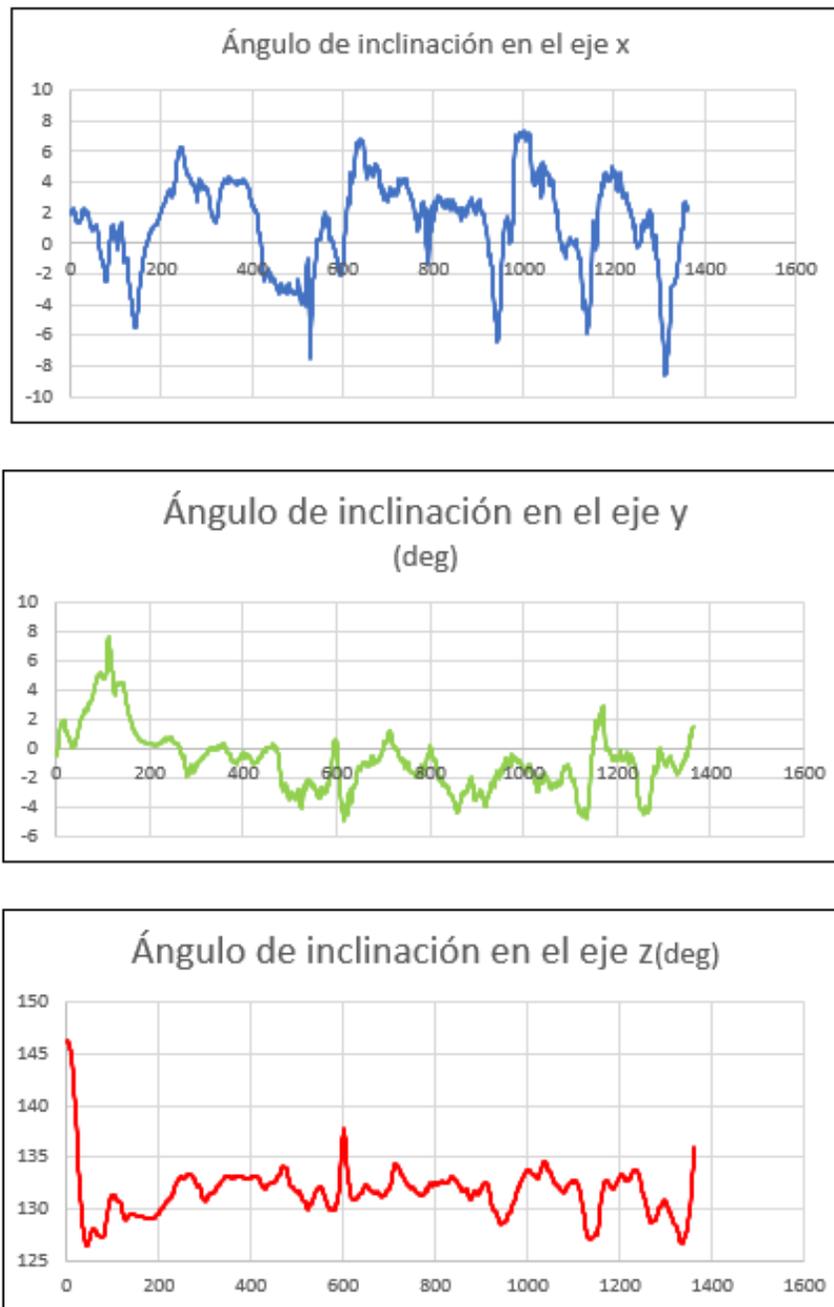
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>18.43</i>	<i>-21.54</i>	<i>-0.13</i>
<i>Y</i>	<i>12.02</i>	<i>-9.58</i>	<i>0.06</i>
<i>Z</i>	<i>9.95</i>	<i>-10.98</i>	<i>-0.13</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de las velocidades angulares en la condición de adoquín.

Análisis de ángulos de inclinación

Figura 120

Curvas características de los ángulos de inclinación.



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo considerando los ángulos de inclinación en las condiciones de adoquín.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de adoquín se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es de carácter cíclico teniendo picos de valores bien marcados tanto positivos como negativos, los cuales varían entre 7.33 deg y -8.60 deg teniendo un valor promedio de 1.36 deg lo que traduce como un confort bajo presentando un balanceo alto en el vehículo.

En el eje Y, el comportamiento de la curva presenta mayor estabilidad en que en el eje X los cuales varían entre 7.60 deg y -4.93 deg teniendo un valor promedio de -0.86 deg lo que traduce como un confort bajo en el eje Y traducido como un cabeceo alto.

En el eje Z, el comportamiento de la curva es de carácter variante teniendo picos de valores fluctuantes marcados los cuales varían entre 146.34 deg y -126.40 deg teniendo un valor promedio de 131.64 deg lo que traduce como un confort leve traducido como un viraje alto en la condición de adoquín.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de adoquín.

Tabla 53

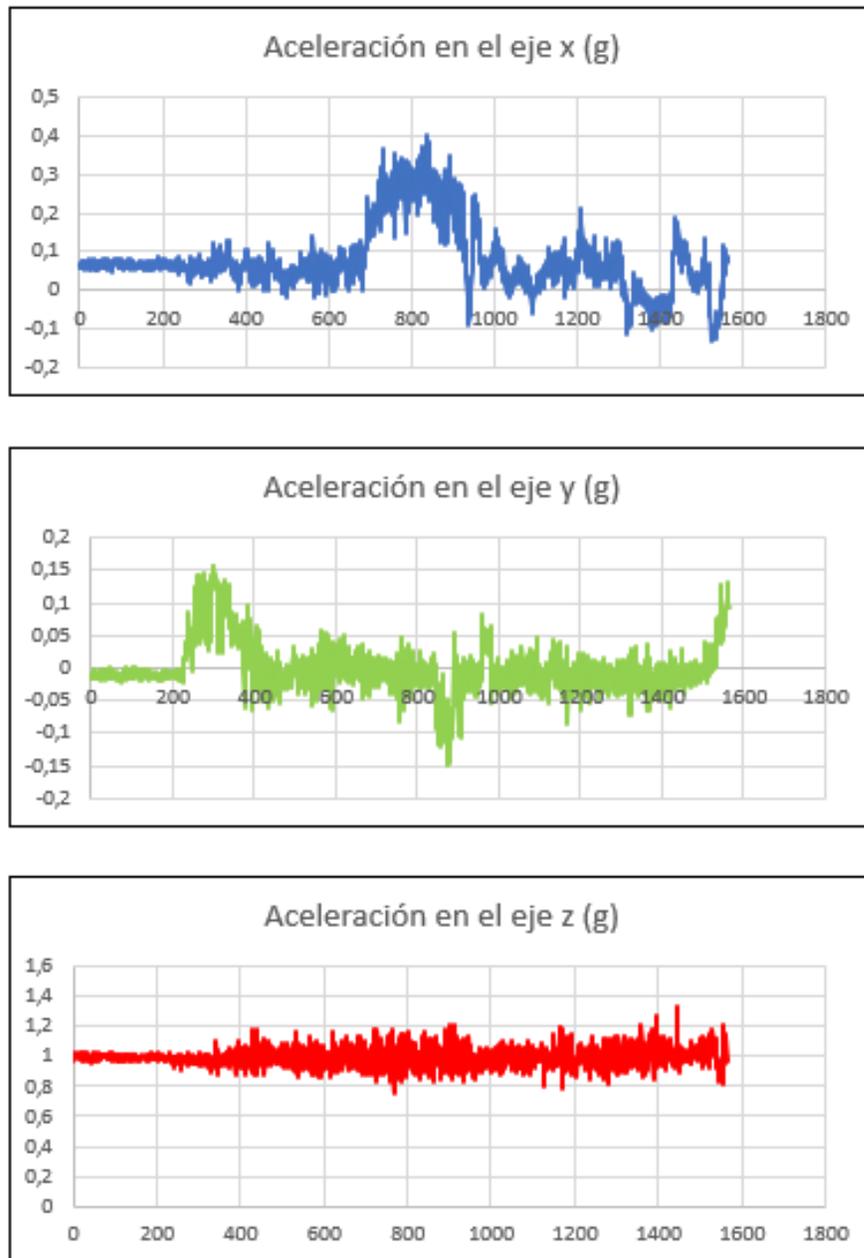
Valores característicos de la condición de adoquín respecto a los ángulos de inclinación

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>7.33</i>	<i>-8.60</i>	<i>1.36</i>
<i>Y</i>	<i>7.60</i>	<i>-4.93</i>	<i>-0.86</i>
<i>Z</i>	<i>146.34</i>	<i>126.40</i>	<i>131.64</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de los ángulos de inclinación en la condición de adoquín.

Condición Asfalto**Análisis de aceleraciones****Figura 121**

Curvas características de aceleración en la condición de asfalto.



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo considerando la aceleración en las condiciones de asfalto.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de asfalto se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es de carácter creciente teniendo un pico de valor representativo el cual es positivo, los cuales varían entre $0.40 g$ y $-0.13 g$ teniendo un valor promedio de $0.08 g$ lo que traduce como un confort moderado.

En el eje Y, el comportamiento de la curva presenta mayores variaciones los cuales varían entre $0.16 g$ y $-0.15 g$ teniendo un valor promedio de -0.0008 lo que traduce como un confort alto en el eje Y puesto que su valor promedio es bajo lo que se traduce como estabilidad.

En el eje Z, el comportamiento de la curva es estable teniendo valores picos sumamente cercanos al promedio variando entre $1.33 g$ y $0.76 g$ teniendo un valor promedio de $1.00 g$ lo que traduce como un confort moderado puesto que los valores no se alejan tanto del promedio.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de asfalto.

Tabla 54

Valores característicos de la condición de asfalto respecto a la aceleración.

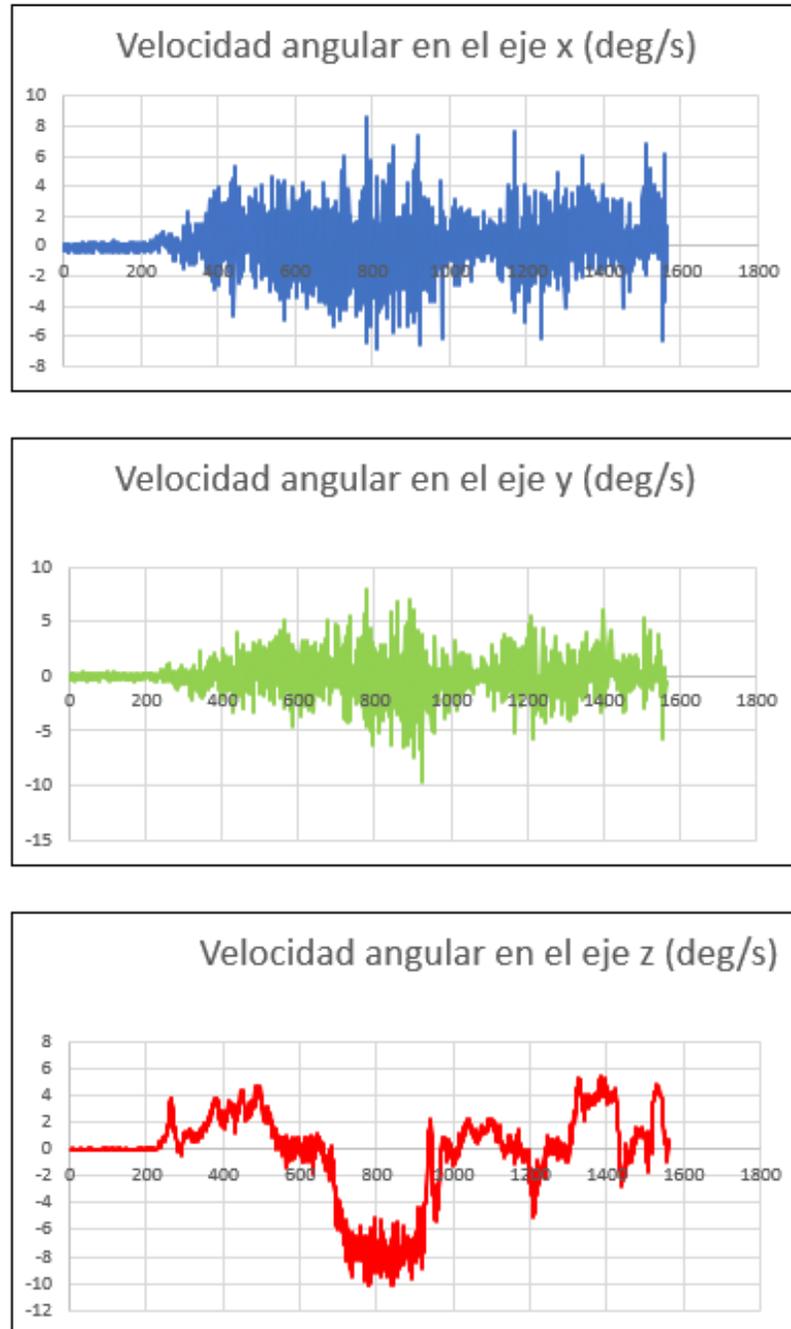
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>0.40</i>	<i>-0.13</i>	<i>0.076</i>
<i>Y</i>	<i>0.16</i>	<i>-0.15</i>	<i>-0.0008</i>
<i>Z</i>	<i>1.33</i>	<i>0.76</i>	<i>1.00</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de la aceleración en la condición de asfalto.

Análisis de velocidades angulares

Figura 122

Curvas características de las velocidades angulares en la condición de asfalto.



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo considerando la velocidad angular en las condiciones de asfalto.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de asfalto se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es de carácter variable teniendo picos de valores representativos tanto positivos como negativos, los cuales varían entre $8.60 \frac{deg}{s}$ y $-6.84 \frac{deg}{s}$, teniendo un valor promedio de $0.13 \frac{deg}{s}$ lo que traduce como un confort leve puesto que la curva presenta variaciones significativas.

En el eje Y, el comportamiento de la curva presenta menores variaciones los cuales se encuentran entre $7.87 \frac{deg}{s}$ y $-6.84 \frac{deg}{s}$, teniendo un valor promedio de $0.01 \frac{deg}{s}$ lo que traduce como un confort moderado en el eje Y puesto que su valor promedio es bajo lo que se traduce como estabilidad.

En el eje Z, el comportamiento de la curva variable teniendo una pendiente decreciente alejándose del promedio variando entre $5.43 \frac{deg}{s}$ y $-10.20 \frac{deg}{s}$, teniendo un valor promedio de $-0.33 \frac{deg}{s}$ lo que traduce como un confort leve puesto que los valores se alejan tanto del promedio.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de asfalto.

Tabla 55

Valores característicos de la condición de asfalto respecto a las velocidades angulares.

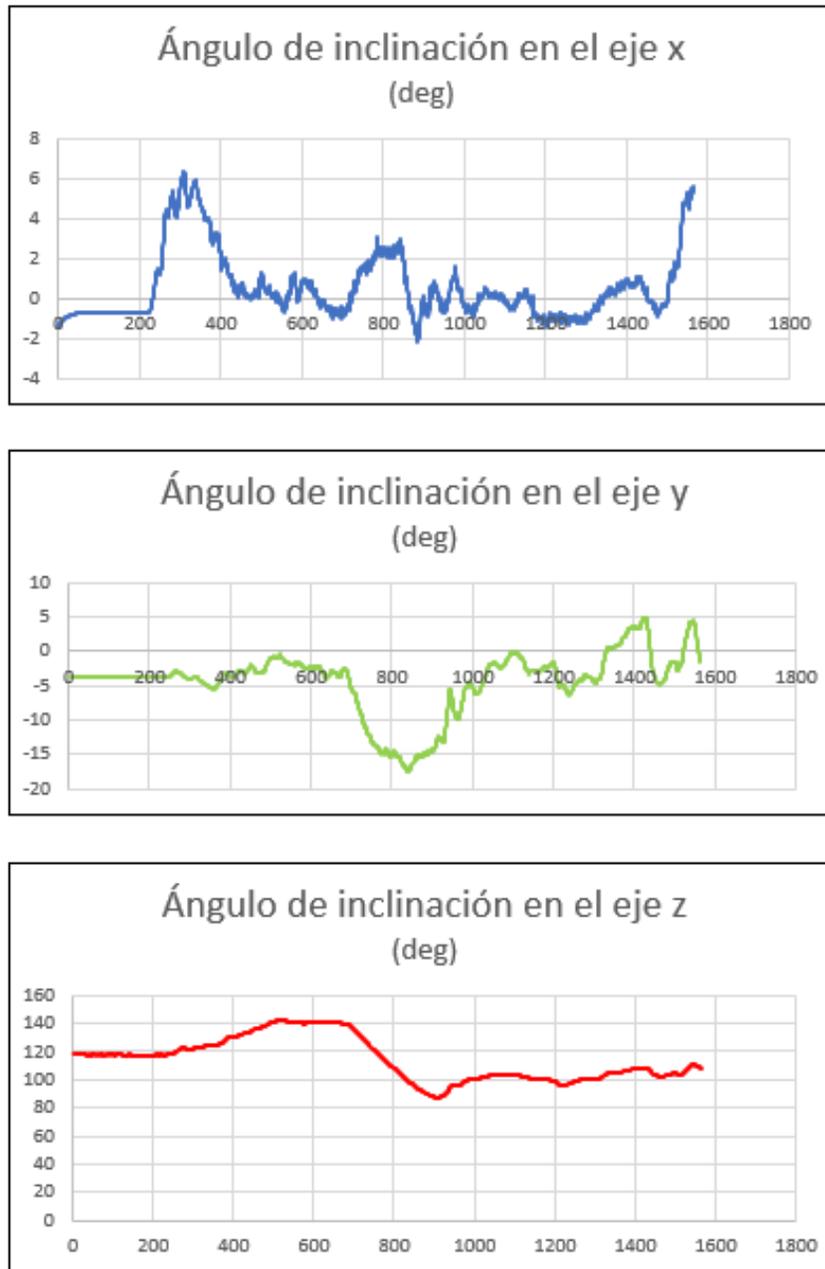
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>8.60</i>	<i>-6.84</i>	<i>0.13</i>
<i>Y</i>	<i>7.87</i>	<i>-9.70</i>	<i>0.01</i>
<i>Z</i>	<i>5.43</i>	<i>-10.20</i>	<i>-0.33</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de las velocidades angulares en la condición de asfalto.

Análisis de ángulos de inclinación

Figura 123

Curvas características de los ángulos de inclinación en la condición de asfalto.



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo considerando los ángulos de inclinación en las condiciones de asfalto.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de asfalto se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es de carácter variable teniendo picos de valores representativos tanto positivos como negativos, los cuales varían entre 6.34 deg y -2.14 deg , teniendo un valor promedio de 0.55 deg lo que traduce como un confort leve experimentado como un balanceo moderado.

En el eje Y, el comportamiento de la curva presenta menores variaciones, sin embargo, existe un valor negativo que es representativo los cuales se encuentran entre 4.82 deg y -17.47 deg , teniendo un valor promedio de -4.40 deg lo que traduce como un confort moderado en el eje Y experimentado como un cabeceo leve.

En el eje Z, el comportamiento de la curva es estable teniendo una pendiente creciente por un periodo de tiempo y decreciente alejándose del promedio variando entre 141.89 deg y 87.06 deg , teniendo un valor promedio de 114.41 deg lo que traduce como un confort alto experimentando como un viraje moderado.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de asfalto.

Tabla 56

Valores característicos de la condición de asfalto respecto a los ángulos de inclinación

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>6.34</i>	<i>-2.14</i>	<i>0.55</i>
<i>Y</i>	<i>4.82</i>	<i>-17.47</i>	<i>-4.40</i>
<i>Z</i>	<i>141.89</i>	<i>-4.40</i>	<i>114.41</i>

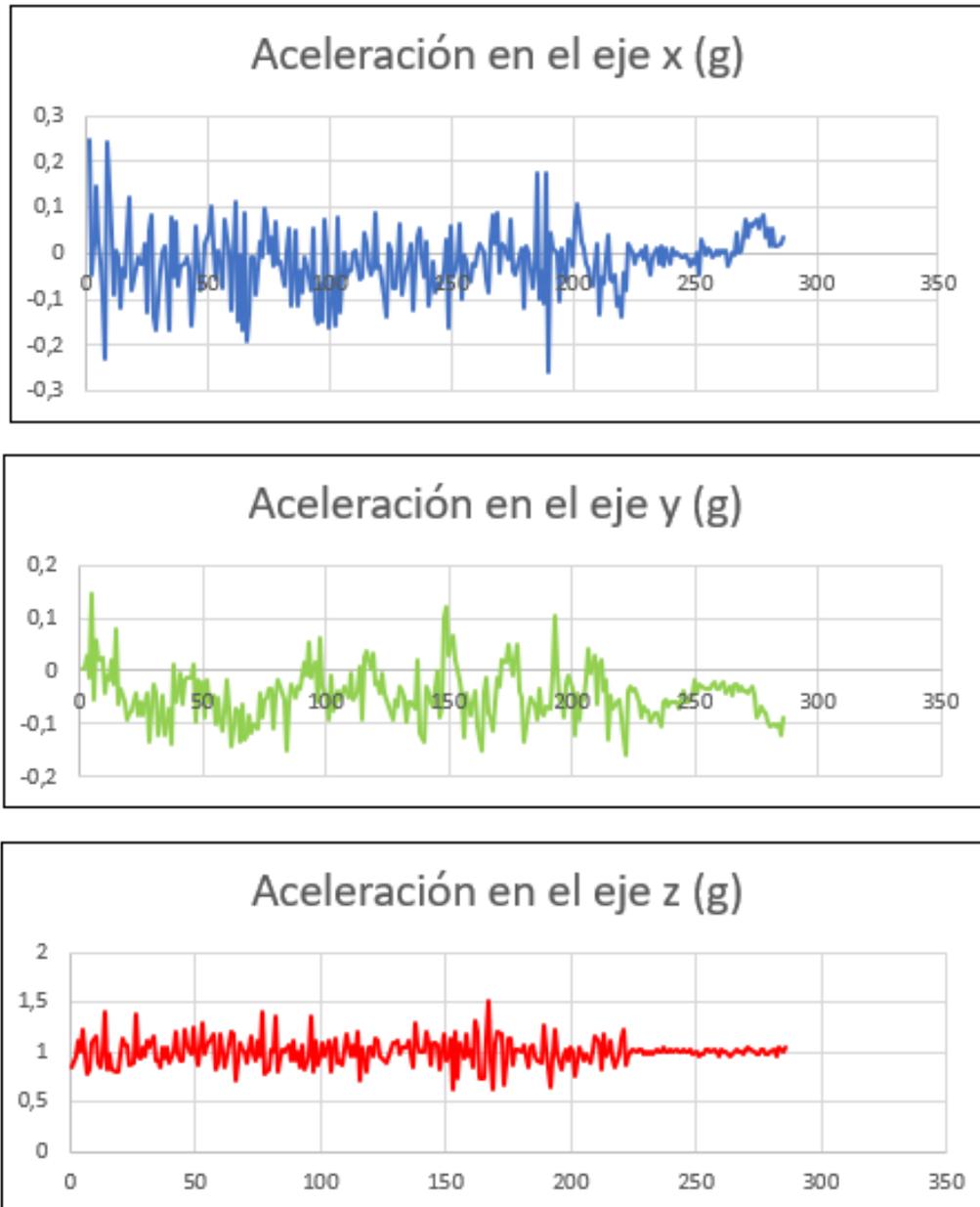
Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de los ángulos de inclinación en la condición de asfalto.

Condición Tierra

Análisis de aceleraciones

Figura 124

Curvas características de las aceleraciones en la condición de Tierra.



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo considerando la aceleración en las condiciones de Tierra.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de tierra se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es de carácter decreciente teniendo picos de valores representativos tanto positivos como negativos, los cuales varían entre $0.31g$ y $-0.54g$, teniendo un valor promedio de $-0.06g$ lo que traduce como un confort leve puesto que los valores picos se alejan considerablemente del promedio.

En el eje Y, el comportamiento de la curva presenta menores variaciones, los cuales se encuentran entre $0.29g$ y $-0.22g$, teniendo un valor promedio de $-0.02g$ lo que traduce como un confort moderado en el eje Y.

En el eje Z, el comportamiento de la curva es estable teniendo valores cercanos al promedio variando entre $1.76g$ y $0.55g$, teniendo un valor promedio de $1.00g$ lo que traduce como un confort alto.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de tierra.

Tabla 57

Valores característicos de la condición de tierra respecto a la aceleración

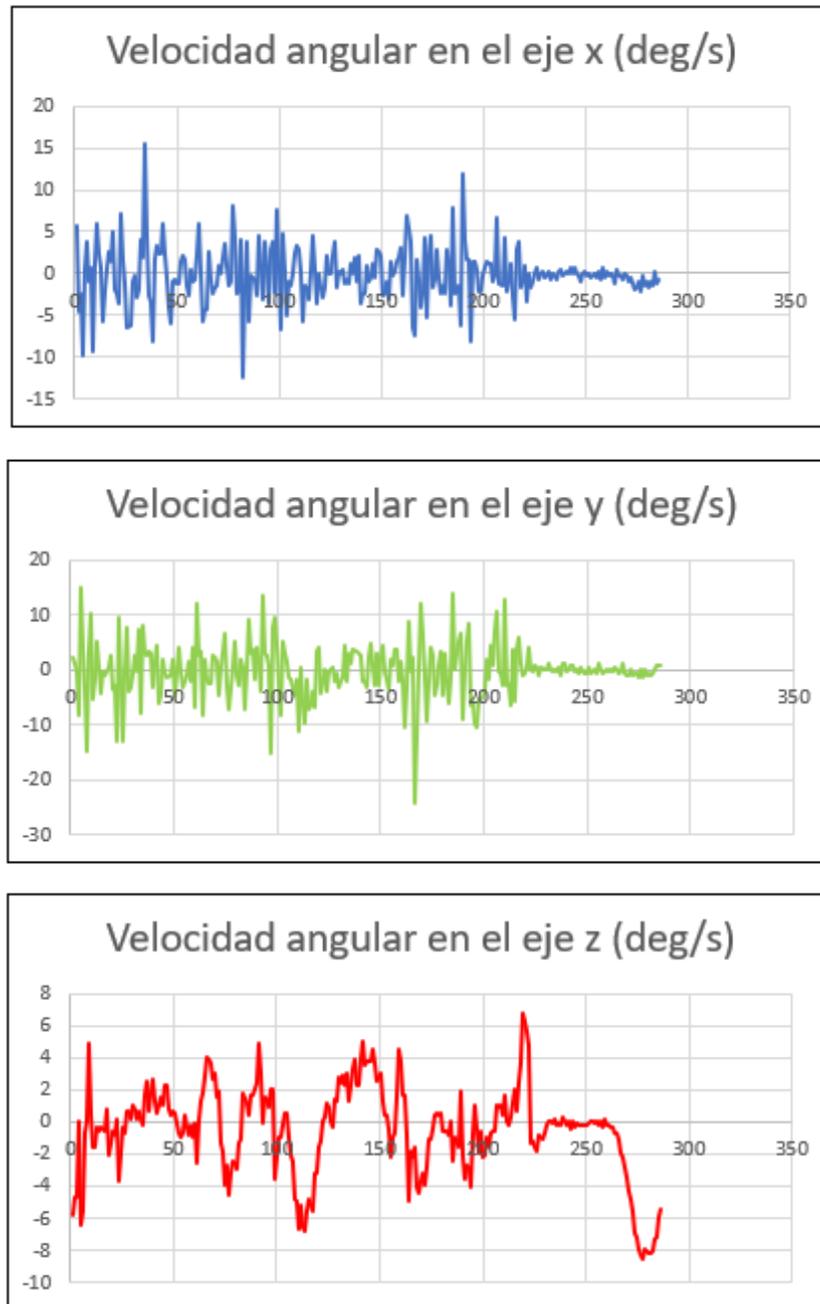
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>0.31</i>	<i>-0.54</i>	<i>-0.06</i>
<i>Y</i>	<i>0.29</i>	<i>-0.22</i>	<i>-0.02</i>
<i>Z</i>	<i>1.76</i>	<i>0.55</i>	<i>1.00</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de la aceleración en la condición de tierra.

Análisis de velocidades angulares

Figura 125

Curvas características de las velocidades angulares en la condición de Tierra.



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo considerando las velocidades angulares en las condiciones de Tierra.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de tierra se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es de carácter creciente teniendo picos de valores representativos tanto positivos como negativos, los cuales varían entre $23.86 \frac{deg}{s}$ y $-17.82 \frac{deg}{s}$, teniendo un valor promedio de $0.69 \frac{deg}{s}$ lo que traduce como un confort leve puesto que los valores picos se alejan considerablemente del promedio.

En el eje Y, el comportamiento de la curva presenta similares variaciones, los cuales se encuentran entre $22.58 \frac{deg}{s}$ y $-24.29 \frac{deg}{s}$, teniendo un valor promedio de $1.40 \frac{deg}{s}$ lo que traduce como un confort moderado en el eje Y.

En el eje Z, el comportamiento de la curva presenta un valor pico positivo alto variando entre $79.35 \frac{deg}{s}$ y $-11.60 \frac{deg}{s}$, teniendo un valor promedio de $9.23 \frac{deg}{s}$ lo que traduce como un confort alto en la mayoría de la prueba.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de tierra.

Tabla 58

Valores característicos de la condición de tierra respecto a la velocidad angular del vehículo.

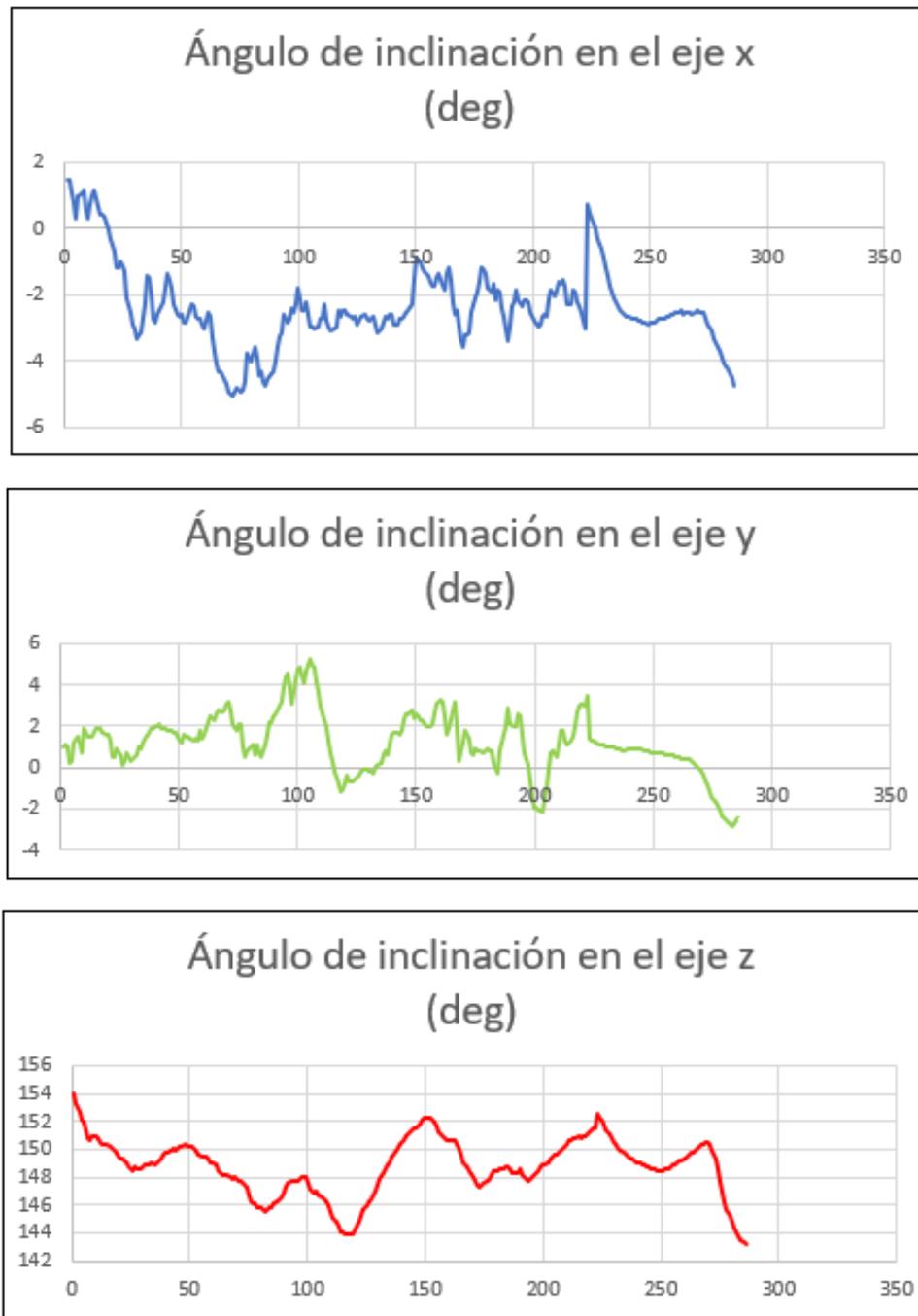
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>23.86</i>	<i>-17.82</i>	<i>0.69</i>
<i>Y</i>	<i>22.58</i>	<i>-24.29</i>	<i>1.40</i>
<i>Z</i>	<i>79.35</i>	<i>-11.60</i>	<i>9.23</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de las velocidades angulares en la condición de tierra.

Análisis de ángulos de inclinación

Figura 126

Curvas características de los ángulos de inclinación en la condición de Tierra.



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo considerando los ángulos de inclinación en las condiciones de Tierra.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de tierra se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es de carácter variable teniendo picos de valores representativos, los cuales varían entre 41.90 deg y -6.42 deg , teniendo un valor promedio de 3.52 deg lo que traduce como un confort leve experimentado como un balanceo leve excepto al inicio de la prueba.

En el eje Y, el comportamiento de la curva presenta un comportamiento sinusoidal, los cuales se encuentran entre 10.42 deg y -23.61 deg , teniendo un valor promedio de -0.11 deg lo que traduce como un confort moderado en el eje Y experimentado como un cabeceo leve.

En el eje Z, el comportamiento de la curva es estable teniendo un comportamiento inicial variado para estabilizarse entre 179.00 deg y -179.72 deg , teniendo un valor promedio de 1000.28 deg lo que traduce como un confort alto experimentando como un viraje moderado.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de tierra.

Tabla 59

Valores característicos de la condición de tierra respecto a los ángulos de inclinación

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>41.90</i>	<i>-6.42</i>	<i>3.52</i>
<i>Y</i>	<i>10.42</i>	<i>-23.61</i>	<i>-0.11</i>
<i>Z</i>	<i>179.00</i>	<i>-179.71</i>	<i>100.28</i>

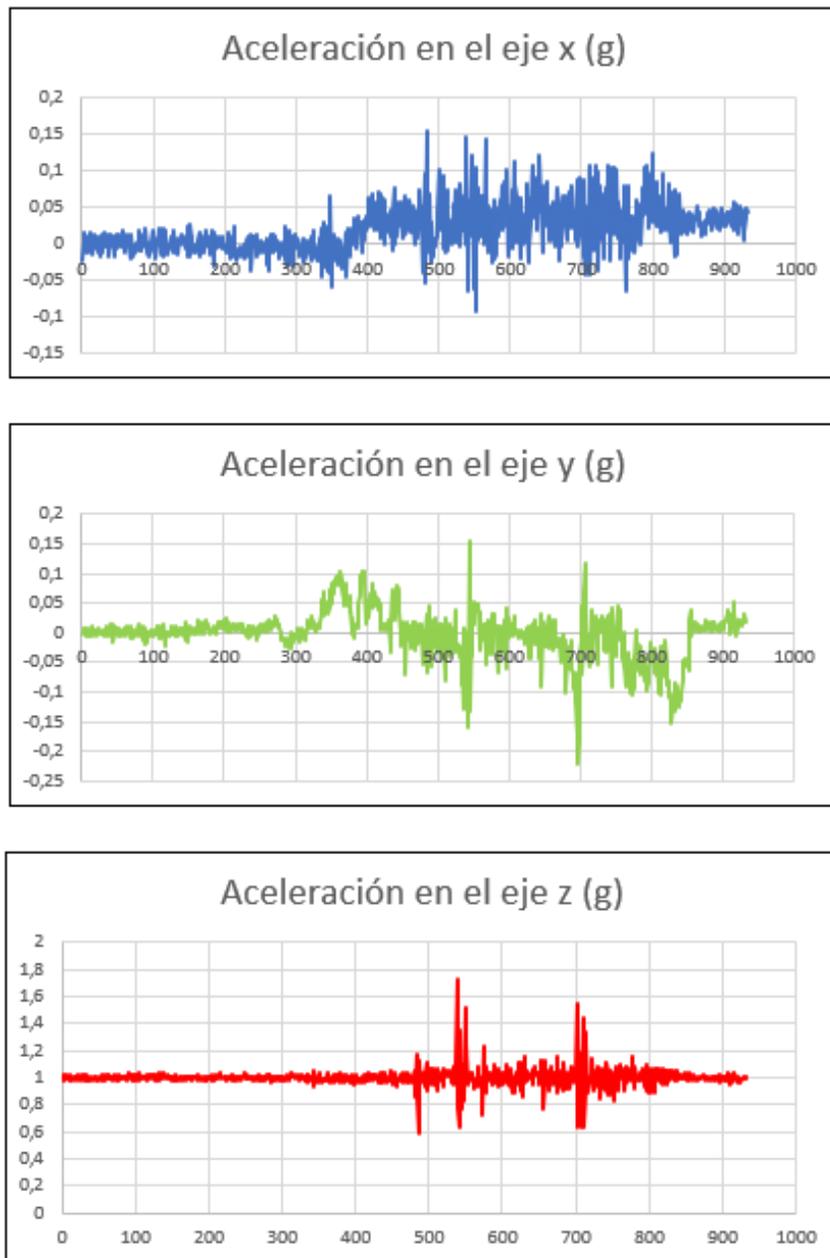
Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de los ángulos de inclinación en la condición de tierra.

Condición rompevelocidad

Análisis de aceleraciones

Figura 127

Curvas características de las aceleraciones en la condición de rompevelocidades.



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo considerando las aceleraciones en las condiciones de rompevelocidades.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de rompevelocidades se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es constante sufriendo una variación leve hasta llegar a los rompevelocidades en los cuales se registran los mayores datos, los cuales varían entre $0.15g$ y $-0.09g$, teniendo un valor promedio de $0.02g$ lo que traduce como un confort leve puesto que los valores picos se alejan considerablemente del promedio en el instante de interactuar con los rompevelocidades.

En el eje Y, el comportamiento de la curva presenta una condición constante hasta llegar a la condición de rompevelocidades, los cuales se encuentran entre $0.16g$ y $-0.22g$, teniendo un valor promedio de $-0.002g$ lo que traduce como un confort moderado en el eje Y.

En el eje Z, el comportamiento de la curva es estable teniendo valores constantes hasta interactuar con los rompevelocidades variando entre $1.73g$ y $0.58g$, teniendo un valor promedio de $1.00g$ lo que traduce como un confort alto.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de rompevelocidades.

Tabla 60

Valores característicos de la condición de rompevelocidades respecto a la aceleración

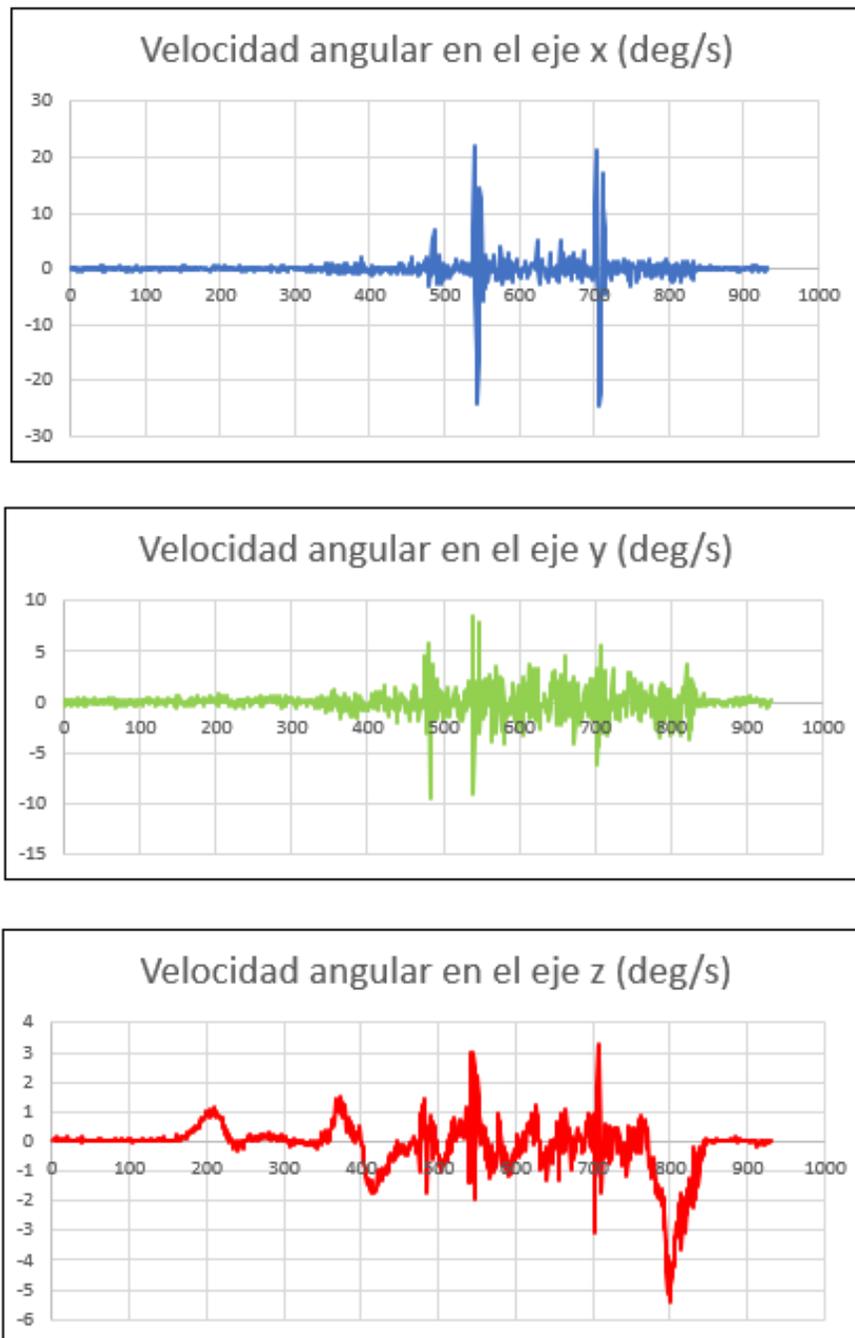
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>0.15</i>	<i>-0.09</i>	<i>0.02</i>
<i>Y</i>	<i>0.16</i>	<i>-0.22</i>	<i>-0.002</i>
<i>Z</i>	<i>1.73</i>	<i>0.58</i>	<i>1.00</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de la aceleración en la condición de rompevelocidades.

Análisis de velocidades angulares

Figura 128

Curvas características de las velocidades angulares en la condición de rompevelocidades.



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo considerando las velocidades angulares en las condiciones de rompevelocidades.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de rompevelocidades se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es constante presentando leve variación hasta interactuar con los rompevelocidades, los cuales varían entre $21.97 \frac{deg}{s}$ y $-24.54 \frac{deg}{s}$, teniendo un valor promedio de $-0.01 \frac{deg}{s}$ lo que traduce como un confort leve puesto que los valores picos se alejan considerablemente del promedio.

En el eje Y, el comportamiento de la curva presenta mayores variaciones hasta llegar a los rompevelocidades donde se registran los valores mínimos y máximos, los cuales se encuentran entre $8.54 \frac{deg}{s}$ y $-9.64 \frac{deg}{s}$, teniendo un valor promedio de $0.002 \frac{deg}{s}$ lo que traduce como un confort moderado en el eje Y.

En el eje Z, el comportamiento de la curva presenta una variación considerable teniendo picos de valores desde el inicio de prueba variando entre $3.30 \frac{deg}{s}$ y $-5.43 \frac{deg}{s}$, teniendo un valor promedio de $-0.13 \frac{deg}{s}$ lo que traduce como un confort alto en la mayoría de la prueba.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de rompevelocidades.

Tabla 61

Valores característicos de la condición de rompevelocidades respecto a la velocidad angular.

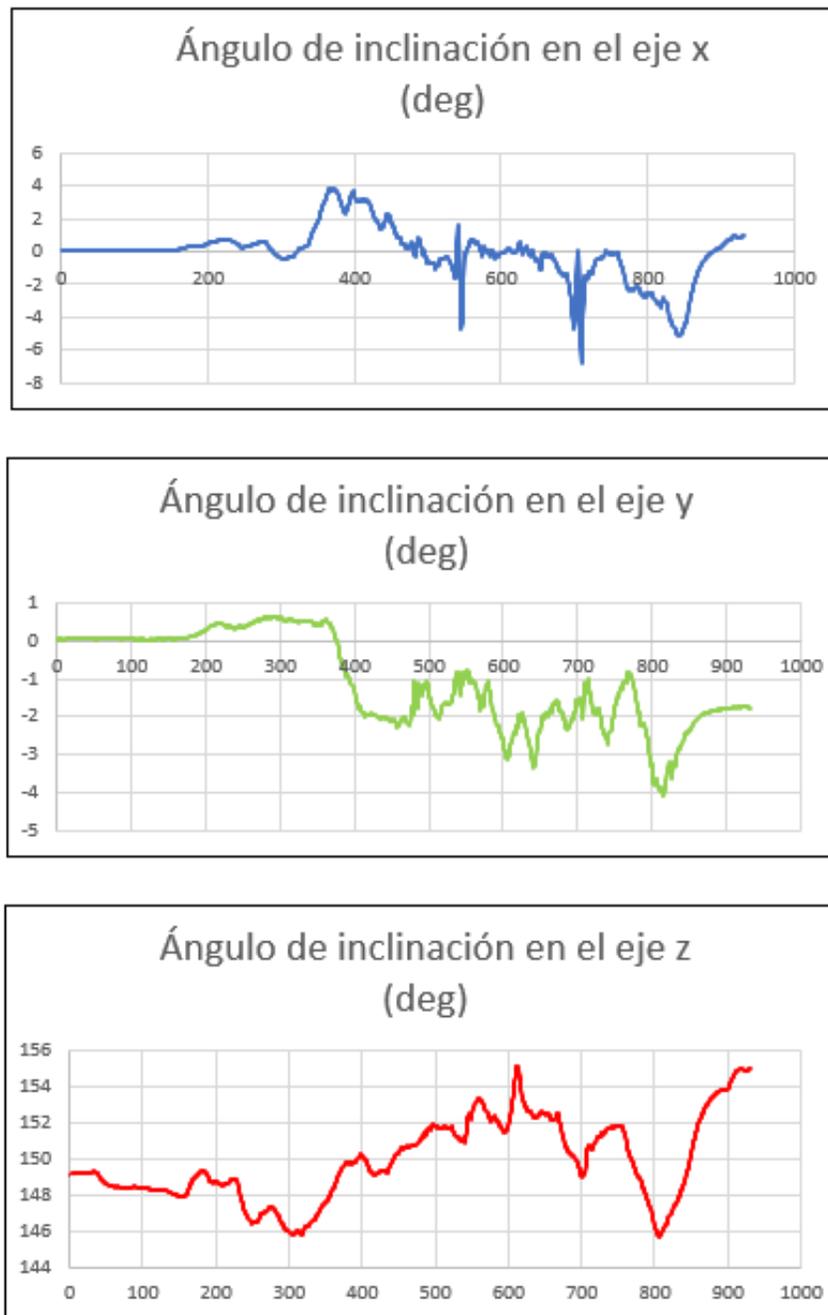
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>21.97</i>	<i>-24.54</i>	<i>-0.01</i>
<i>Y</i>	<i>8.54</i>	<i>-9.64</i>	<i>0.002</i>
<i>Z</i>	<i>3.30</i>	<i>-5.43</i>	<i>-0.13</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de las velocidades angulares en la condición de tierra.

Análisis de ángulos de inclinación

Figura 129

Curvas características de los ángulos de inclinación en la condición de rompevelocidades.



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo los ángulos de inclinación en las condiciones de rompevelocidades.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de rompevelocidades se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es de carácter variable teniendo picos de valores representativos, los cuales varían entre 3.84 deg y -6.75 deg , teniendo un valor promedio de -0.10 deg lo que traduce como un confort leve experimentado como un balanceo leve.

En el eje Y, el comportamiento de la curva presenta un comportamiento más variable teniendo picos significativos a lo largo de la prueba, los cuales se encuentran entre 0.65 deg y -4.11 deg , teniendo un valor promedio de -1.06 deg lo que traduce como un confort moderado en el eje Y experimentado como un cabeceo alto.

En el eje Z, el comportamiento de la curva presenta variaciones significativas considerando los picos de datos generados los cuales se encuentran entre 155.13 deg y 145.68 deg , teniendo un valor promedio de 149.85 deg lo que traduce como un confort bajo experimentando como un viraje alto.

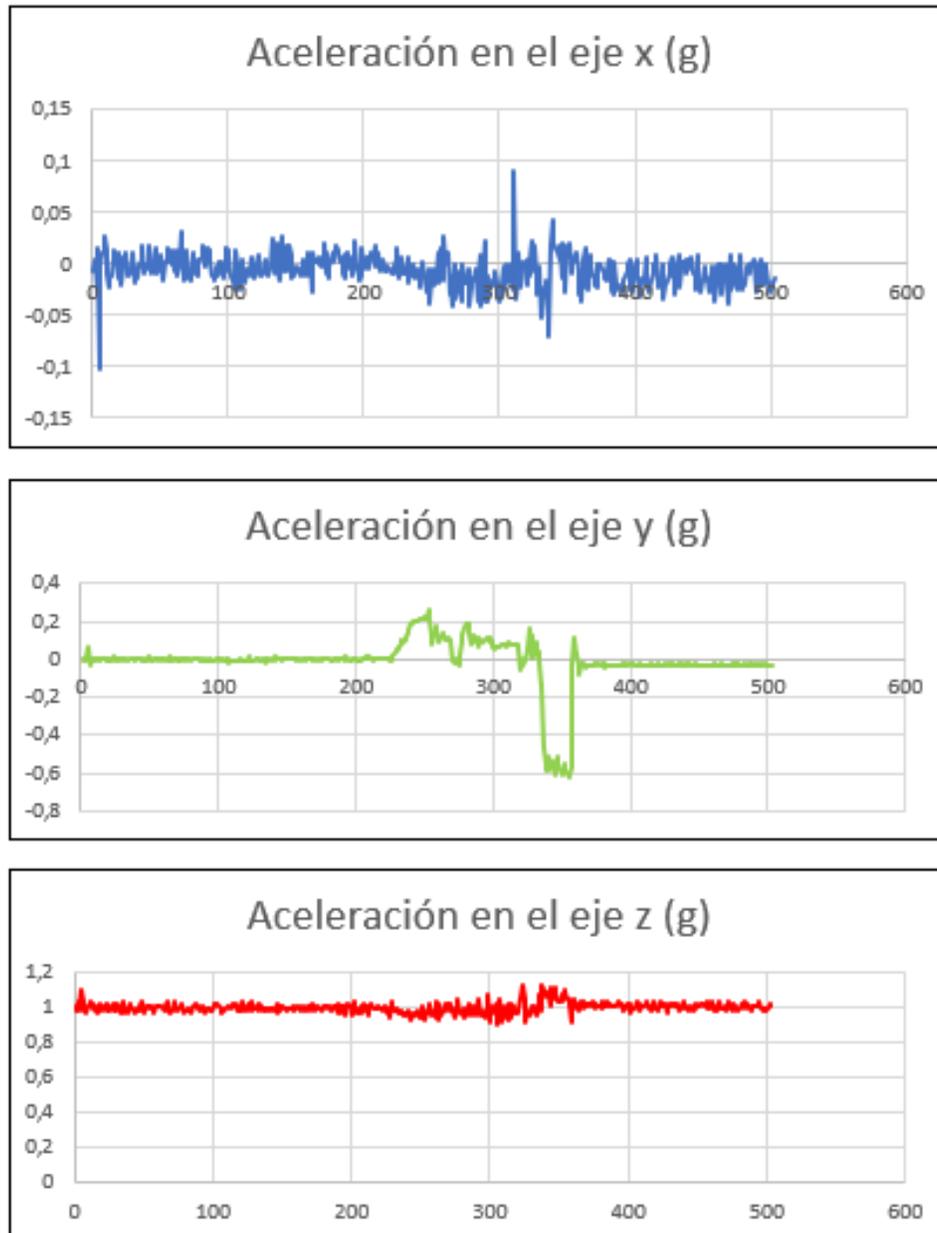
A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de tierra.

Tabla 62

Valores característicos de la condición de rompevelocidades respecto a los ángulos de inclinación.

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>3.83</i>	<i>-6.75</i>	<i>155.13</i>
<i>Y</i>	<i>0.68</i>	<i>-4.11</i>	<i>145.68</i>
<i>Z</i>	<i>155.13</i>	<i>-1.06</i>	<i>149.85</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de los ángulos de inclinación en la condición de rompevelocidades.

Condición frenada**Análisis de aceleraciones****Figura 130***Curvas características aceleración*

Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo respecto a la aceleración en la condición de frenada.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de frenada se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es de carácter variable teniendo picos de valores cercanos al promedio, los cuales varían entre $0.09g$ y $-0.1g$, teniendo un valor promedio de $-0.005g$ lo que traduce como un confort leve alto a no tener mayores variaciones del promedio.

En el eje Y, el comportamiento de la curva presenta un comportamiento más variable teniendo picos significativos a lo largo de la prueba, los cuales se encuentran entre $0.26g$ y $-0.63g$, teniendo un valor promedio de $-0.011g$ lo que traduce como un confort leve en el eje Y.

En el eje Z, el comportamiento de la curva constante teniendo variaciones cortas del promedio los cuales se encuentran entre $1.13g$ y $0.91g$, teniendo un valor promedio de $1.00g$ lo que traduce como un confort alto.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de frenada.

Tabla 63

Valores característicos de la condición de frenada respecto a la aceleración

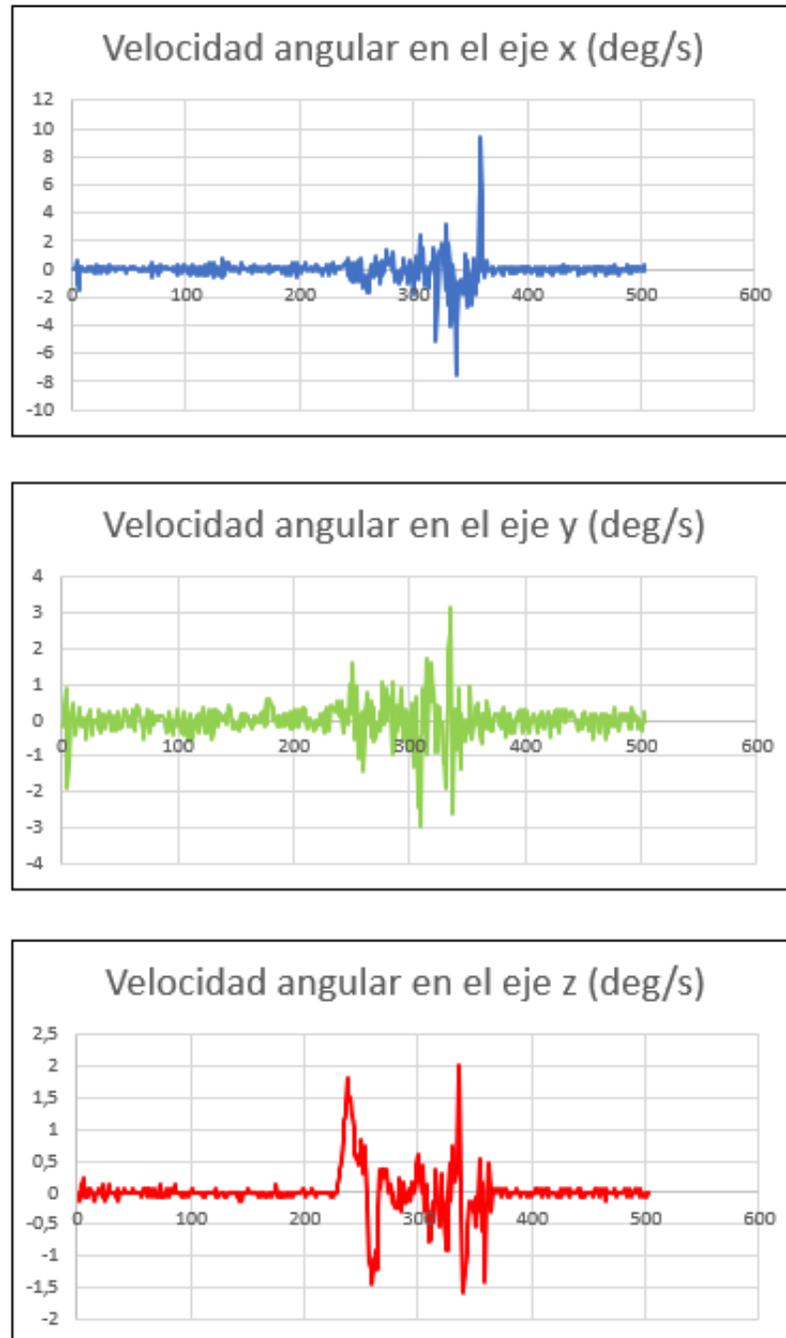
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>0.09</i>	<i>-0.10</i>	<i>-0.005</i>
<i>Y</i>	<i>0.26</i>	<i>-0.63</i>	<i>-0.01</i>
<i>Z</i>	<i>1.13</i>	<i>0.91</i>	<i>1.00</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de la aceleración en la condición de frenada.

Análisis de velocidades angulares

Figura 131

Curvas características velocidad angular



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo respecto a las velocidades angulares en la condición de frenada.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de frenada se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es de carácter constante hasta llegar a la condición de frenada teniendo valores los cuales varían entre $9.40 \frac{deg}{s}$ – $7.57 \frac{deg}{s}$ teniendo un valor promedio de $-0.03 \frac{deg}{s}$ lo que traduce como un confort leve.

En el eje Y, el comportamiento de la curva presenta un comportamiento variable, los cuales se encuentran entre $3.17 \frac{deg}{s}$ y $-3.00 \frac{deg}{s}$, teniendo un valor promedio de $-0.007 \frac{deg}{s}$ lo que traduce como un confort bajo.

En el eje Z, el comportamiento de la curva presenta variaciones significativas considerando los picos de datos generados los cuales se encuentran entre $2.01 \frac{deg}{s}$ y $-1.60 \frac{deg}{s}$, teniendo un valor promedio de $0.002 \frac{deg}{s}$ lo que traduce como un confort bajo.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de frenada.

Tabla 64

Valores característicos de la condición de frenada respecto a la velocidad angular.

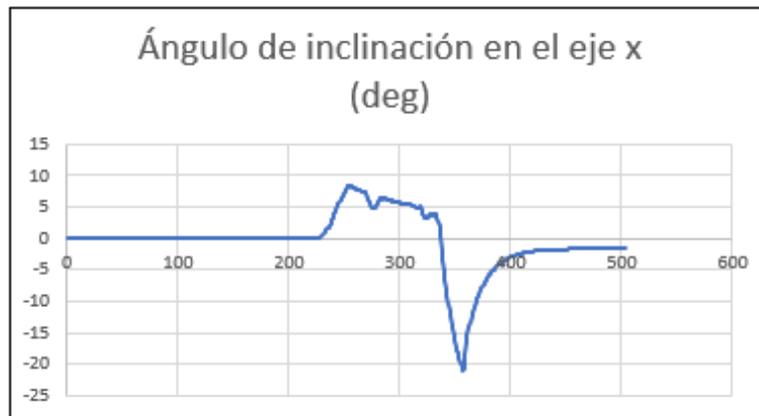
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>9.40</i>	<i>-7.57</i>	<i>-0.03</i>
<i>Y</i>	<i>3.17</i>	<i>-3.00</i>	<i>-0.007</i>
<i>Z</i>	<i>2.01</i>	<i>-1.60</i>	<i>0.002</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de la velocidad angular en la condición de frenada.

Análisis de ángulos de inclinación

Figura 132

Curvas características ángulo de inclinación



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo respecto a los ángulos de inclinación en la condición de frenada.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de rompevelocidades se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es de carácter constante hasta llegar a la condición de frenada, los cuales varían entre 8.53 deg y -21.02 deg , teniendo un valor promedio de -0.43 deg lo que traduce como un confort leve experimentado como un balanceo leve.

En el eje Y, el comportamiento de la curva presenta un comportamiento más variable teniendo picos significativos a lo largo de la prueba, los cuales se encuentran entre 1.52 deg y -0.01 deg , teniendo un valor promedio de -0.43 deg lo que traduce como un confort moderado en el eje Y experimentado como un cabeceo alto.

En el eje Z, el comportamiento de la curva presenta una pendiente creciente hasta llegar a la condición de frenada, los valores se encuentran entre 124.63 deg y 104.02 deg , teniendo un valor promedio de 118.40 deg lo que traduce como un confort bajo experimentando como un viraje alto.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de frenada.

Tabla 65

Valores característicos de la condición de frenada respecto a los ángulos de inclinación.

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>8.53</i>	<i>-21.02</i>	<i>-0.43</i>
<i>Y</i>	<i>1.52</i>	<i>-0.01</i>	<i>0.45</i>
<i>Z</i>	<i>124.63</i>	<i>104.02</i>	<i>118.40</i>

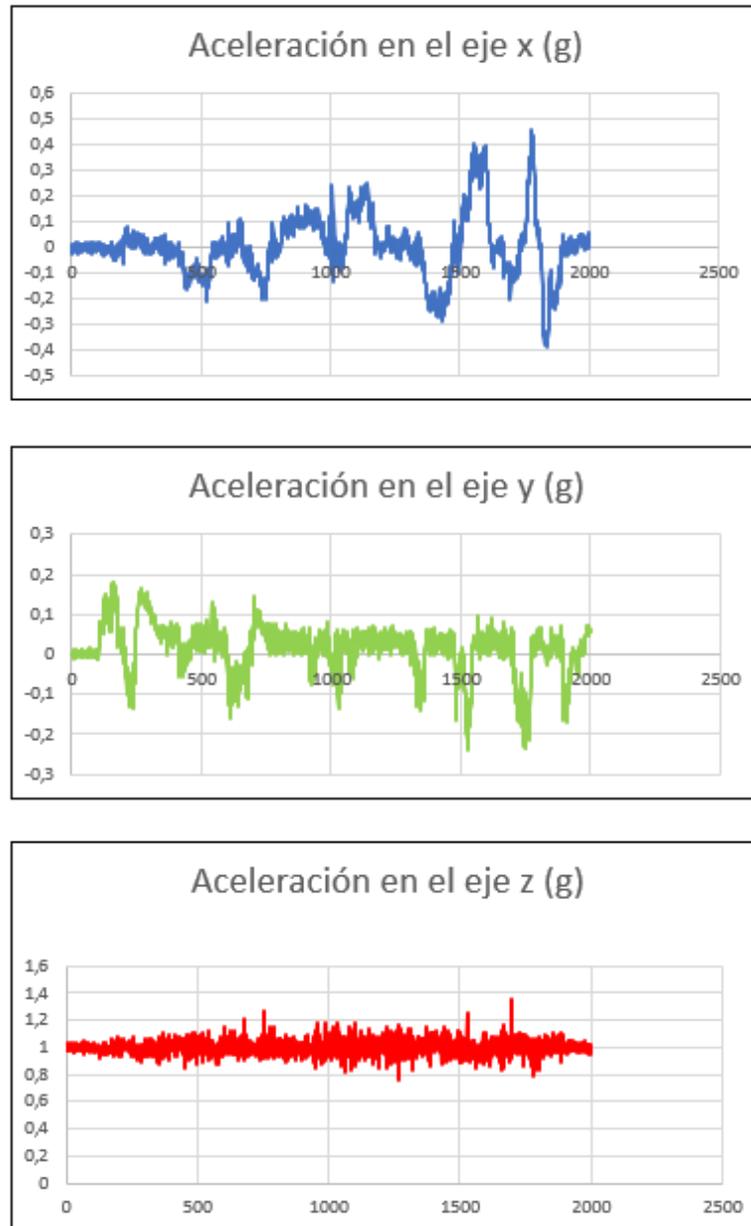
Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de los ángulos de inclinación en la condición de frenada.

Condición Curva derecha e izquierda

Análisis de aceleraciones

Figura 133

Curvas características aceleración



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo respecto a las aceleraciones en la condición de curva derecha e izquierda.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de curva derecha e izquierda se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es de carácter variable teniendo picos de valores representativos, los cuales varían entre $0.46g$ y $-0.40g$, teniendo un valor promedio de $0.005g$ lo que traduce como un confort leve.

En el eje Y, el comportamiento de la curva presenta un comportamiento más variable teniendo picos significativos a lo largo de la prueba, los cuales se encuentran entre $0.18g$ y $-0.24g$, teniendo un valor promedio de $0.01g$ lo que traduce como un confort moderado.

En el eje Z, el comportamiento de la curva presenta una variación leve del promedio los cuales se encuentran entre $1.35g$ y $0.76g$, teniendo un valor promedio de $1.00g$ lo que traduce como un confort alto.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de curva derecha e izquierda.

Tabla 66

Valores característicos de la condición de curva derecha e izquierda respecto a la aceleración

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>0.46</i>	<i>-0.40</i>	<i>0.005</i>
<i>Y</i>	<i>0.18</i>	<i>-0.24</i>	<i>0.01</i>
<i>Z</i>	<i>1.35</i>	<i>0.76</i>	<i>1.00</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de la aceleración en la condición de cura derecha e izquierda.

Análisis de velocidades angulares

Figura 134

Curvas características velocidad angular



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo respecto a las velocidades angulares en la condición de curva derecha e izquierda.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de curva derecha e izquierda se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es de carácter variable teniendo picos de valores representativos y sumamente alejados del promedio, los cuales varían entre $6.22 \frac{deg}{s}$ y $-6.16 \frac{deg}{s}$, teniendo un valor promedio de $0.19 \frac{deg}{s}$ lo que traduce como un confort bajo.

En el eje Y, el comportamiento de la curva presenta un comportamiento más variable teniendo picos significativos a lo largo de la prueba, los cuales se encuentran entre $7.08 \frac{deg}{s}$ y $-6.60 \frac{deg}{s}$, teniendo un valor promedio de $0.02 \frac{deg}{s}$ lo que traduce como un confort moderado en el eje Y

En el eje Z, el comportamiento de la curva presenta variaciones oscilantes los cuales se encuentran entre $18.13 \frac{deg}{s}$ y $-23.56 \frac{deg}{s}$, teniendo un valor promedio de $0.03 \frac{deg}{s}$ lo que traduce como un confort bajo experimentando como un viraje alto.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de curva derecha e izquierda.

Tabla 67

Valores característicos de la condición de curva derecha e izquierda respecto a la velocidad angular

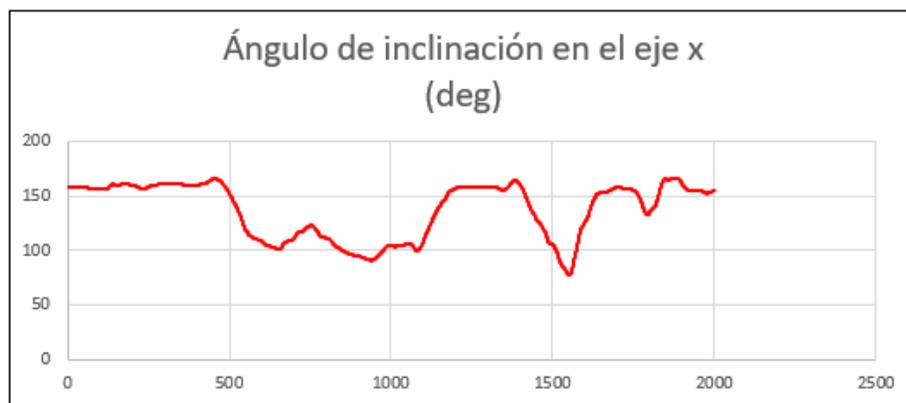
<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>6.23</i>	<i>-6.16</i>	<i>0.19</i>
<i>Y</i>	<i>7.08</i>	<i>-6.60</i>	<i>0.02</i>
<i>Z</i>	<i>18.13</i>	<i>-23.56</i>	<i>0.03</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de la velocidad angular en la condición de curva derecha e izquierda.

Análisis de ángulos de inclinación

Figura 135

Curvas características ángulo de inclinación



Nota. En la gráfica se muestra el comportamiento del vehículo respecto los ángulos de inclinación en la condición de curva derecha e izquierda.

El análisis de las curvas características que presenta el sistema de suspensión neumática en la condición de curva derecha e izquierda se detalla a continuación:

En el eje X, el comportamiento de la curva es de carácter variable teniendo picos de valores representativos, los cuales varían entre 11.80 deg y -8.79 deg , teniendo un valor promedio de 2.24 deg lo que traduce como un confort leve experimentado como un balanceo alto en la condición de entrar en las curvas.

En el eje Y, el comportamiento de la curva presenta un comportamiento menos variable teniendo picos significativos más cortos, los cuales se encuentran entre 14.85 deg y -19.52 deg , teniendo un valor promedio de -0.41 deg lo que traduce como un confort moderado en el eje Y experimentado como un cabeceo alto.

En el eje Z, el comportamiento de la curva presenta variaciones leves considerando los picos de datos generados los cuales se encuentran entre 166.50 deg y 77.71 deg , teniendo un valor promedio de 136.97 deg lo que traduce como un confort bajo experimentando como un viraje alto.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores característicos de la condición de tierra.

Tabla 68

Valores característicos de la condición de curva derecha e izquierda respecto a los ángulos de inclinación.

<i>Eje</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor Promedio</i>
<i>X</i>	<i>11.80</i>	<i>-8.79</i>	<i>2.24</i>
<i>Y</i>	<i>14.85</i>	<i>-19.52</i>	<i>-0.41</i>
<i>Z</i>	<i>166.50</i>	<i>77.71</i>	<i>136.97</i>

Nota. En la tabla se muestra el resumen de los valores característicos de los ángulos de inclinación en la condición de curva derecha e izquierda

Una vez analizado todas las pruebas realizadas en el sistema de suspensión convencional y la suspensión neumática se realiza una síntesis y comparación de los valores máximos, mínimos y promedio de las seis condiciones.

Una de las condiciones es comparar los valores promedios positivos y negativos de las diferentes condiciones, las tablas resumen el porcentaje de ganancia y pérdida con la suspensión neumática respecto a la suspensión convencional.

Para la interpretación de la tabla de resultados se hace referencia a la explicación realizada en la **figura 73** que describe el movimiento del vehículo según el signo del valor obtenido.

Tabla 69

Porcentaje de ganancia o pérdida en la condición de adoquín

Giro	Adoquín porcentaje de ganancia y pérdida								
	Aceleración (%)			Velocidad angular (%)			Ángulo de inclinación (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Horario	-13,18	-12,44	4,02	-18,82	-36,25	-75,41	-43,53	-50,41	-14,45
Antihorario	-42,75	-34,28	-45,13	0,00	-36,18	-53,49	-8,53	-54,60	69,64
Prom Ho	23,18	6,06	-0,22	39,10	12,27	-44,96	-1,30	-16,78	11,50
Prom Aho	-25,51	16,19	0,00	19,55	5,64	-11,94	6,22	23,11	0,00

Tabla 70

Porcentaje de ganancia o pérdida en la condición de asfalto.

Asfalto porcentaje de ganancia y pérdida									
Giro	Aceleración (%)			Velocidad angular (%)			Ángulo de inclinación (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Horario	183,42	-20,12	13,01	33,02	35,79	-80,31	-35,53	-17,71	7,28
Antihorario	-26,65	-63,28	-7,97	-8,94	84,88	42,74	-85,82	168,58	7,89
Prom Ho	183,58	-17,28	-1,61	46,68	58,49	-6,35	-32,25	104,57	9,42
Prom Aho	77,49	-77,69	0,00	38,44	57,10	58,75	-87,23	217,49	0,00

Tabla 71

Porcentaje de ganancia o pérdida en la condición de Tierra.

Tierra porcentaje de ganancia									
Giro	Aceleración (%)			Velocidad angular (%)			Ángulo de inclinación (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Horario	9,27	-9,59	7,33	119,13	15,71	18,28	-70,42	110,42	2,40
Antihorario	2,91	-25,16	-6,57	39,46	62,45	-20,57	-22,86	-13,92	1,58
Prom Ho	-13,12	-20,26	-0,14	31,42	26,13	41,70	-59,95	93,87	1,22
Prom Aho	21,13	34,35	7,33	7,12	5,88	54,11	40,74	2,46	0,00

Tabla 72*Porcentaje de ganancia o pérdida en la condición de Rompevelocidad.*

Giro	Rompevelocidad porcentaje de ganancia								
	Aceleración (%)			Velocidad angular (%)			Ángulo de inclinación (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Horario	13,62	45,96	25,19	18,42	38,61	-58,46	2,79	-68,11	1,80
Antihorario	33,19	-3,82	-16,54	1,77	68,09	-25,21	-7,95	-12,92	7,77
Prom Ho	24,71	-28,18	0,07	-26,45	-27,83	-68,26	-56,80	-77,67	1,65
Prom Aho	32,22	-12,58	0,00	-20,27	-12,64	-12,20	-11,75	-12,93	0,00

Tabla 73*Porcentaje de ganancia o pérdida en la condición de frenado*

Giro	Frenado porcentaje de ganancia								
	Aceleración (%)			Velocidad angular (%)			Ángulo de inclinación (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Horario	41,74	13,48	-17,13	-4,35	-13,33	-57,14	4,79	-34,91	3,23
Antihorario	14,69	-13,28	5,56	36,26	-40,24	-79,85	-8,09	-99,73	-3,86
Prom Ho	81,08	-14,79	0,17	-46,54	-61,01	-82,31	-41,34	-61,55	5,30
Prom Aho	40,56	-61,52	0,00	-36,22	-52,87	-78,38	-41,72	-99,72	0,00

Tabla 74*Porcentaje de ganancia o pérdida en la condición de curva derecha e izquierda*

Giro	Curva derecha e izquierda porcentaje de ganancia								
	Aceleración (%)			Velocidad angular (%)			Ángulo de inclinación (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Horario	-19,19	11,99	13,68	15,91	-7,20	-8,05	107,44	-30,13	4,92
Antihorario	-26,04	-19,54	0,18	-17,89	-8,47	-11,26	-18,90	-26,68	3,25
Prom Ho	-64,07	9,96	-1,94	-0,88	-11,38	-4,17	40,11	-34,58	2,16
Prom Aho	-33,86	-47,85	0,00	1,61	-1,69	-42,75	-48,88	-67,82	0,00

Tabla 75*Síntesis del porcentaje de ganancia y pérdida neto.*

Condición	Movimiento Horario								
	Aceleración (%)			Velocidad angular (%)			Ángulo de inclinación (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
ADO	23,18	6,06	-0,22	39,10	12,27	-44,96	-1,30	-16,78	11,50
ASF	183,58	-17,28	-1,61	46,68	58,49	-6,35	-32,25	104,57	9,42
TIE	-13,12	-20,26	-0,14	31,42	26,13	41,70	-59,95	93,87	1,22
ROMP	-24,71	-28,18	0,07	-26,45	-27,83	-68,26	-56,80	-77,67	1,65
FREN	-81,08	-14,79	0,17	-46,54	-61,01	-82,31	-41,34	-61,55	5,30
CURVS	-64,07	9,96	-1,94	-0,88	-11,38	-4,17	40,11	-34,58	2,16
PROM	3,96	-10,75	-0,61	7,22	-0,56	-27,39	-25,26	1,31	5,21

Tabla 76*Síntesis del porcentaje de ganancia y pérdida neto.*

Condición	Movimiento Antihorario								
	Aceleración (%)			Velocidad angular (%)			Ángulo de inclinación (%)		
	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>
ADO	-25,51	16,19	0,00	19,55	5,64	-11,94	6,22	23,11	0,00
ASF	77,49	-77,69	0,00	38,44	57,10	58,75	-87,23	217,49	0,00
TIE	21,13	34,35	0,00	7,12	5,88	54,11	40,74	2,46	0,00
ROMP	-32,22	-12,58	0,00	-20,27	-12,64	-12,20	-11,75	-12,93	0,00
FREN	-40,56	-61,52	0,00	-36,22	-52,87	-78,38	-41,72	-99,72	0,00
CURVS	-33,86	-47,85	0,00	1,61	-1,69	-42,75	-48,88	-67,82	0,00
PROM	-5,59	-24,85	0,00	1,71	0,24	-5,40	-23,77	10,43	0,00

Las tablas de síntesis muestran el porcentaje de ganancia o pérdida neto con respecto al sistema de suspensión convencional, interpretando los valores negativos como reducción de vibraciones y los valores positivos como un aumento en las vibraciones con respecto al eje y el parámetro a evaluar.

Capítulo V

Marco Administrativo

Para el proyecto de investigación se tuvieron en cuenta parámetros administrativos, técnicos, financieros para su desarrollo y ejecución de forma que se obtiene su factibilidad en el desarrollo del proyecto de investigación.

Factibilidad del proyecto

Los recursos que se utilizan en el desarrollo de este proyecto son tecnológicos, humanos, financieros que son considerados dentro de la investigación para delimitar la viabilidad, con el fin que en la ejecución no existan inconvenientes ni percances, a su vez considerar la eficiencia del sistema neumático a comparación del sistema convencional.

Recursos humanos

En el desarrollo del proyecto los recursos humanos son indispensables puesto que aportan con conocimiento, ideas y las acciones necesarias para la conclusión del proyecto que se utilizan para cumplir los objetivos propuestos.

Tabla 77

Recursos Humanos

Orden	Descripción	Cantidad	Función
1.	William Castillo	1	Investigador
2.	Kevin Rosero	1	Investigador
3.	Ing. Germán Erazo	1	Colaborado científico

Recursos materiales

Los materiales utilizados se dividen en tres grupos los cuales son: mecánicos, eléctricos y electrónicos.

Recursos mecánicos

En esta sección se detalla todos los materiales mecánicos utilizados en el desarrollo del proyecto.

Tabla 78

Materiales mecánicos

Orden	Cantidad	Descripción
1	Tanque	Grupo alimentación
3	Muelles delanteros	Actuadores
4	Muelles posteriores	Actuadores
5	Bases duralon	Soportes guía
6	Elementos de acople	Conexión neumática
7	Válvulas de protección	Conexión neumática

Recursos eléctricos

En esta sección se detalla todos los materiales eléctricos utilizados en el desarrollo del proyecto.

Tabla 79*Recursos eléctricos*

Orden	Cantidad	Descripción
1	Compresor	Grupo alimentación
2	Bloque de electroválvulas	Controlador
3	Batería 12V	Alimentador
4	Cables de conexión	Conexión
5	Elementos de protección	Conexión

Recursos electrónicos

En esta sección se detalla todos los materiales electrónicos utilizados en el desarrollo del proyecto.

Tabla 80*Recursos eléctricos*

Orden	Cantidad	Descripción
1	Sensor Witmotion	Monitoreo
2	Sensor ultrasónico	Monitoreo
3	Sensor de presión	Monitoreo
4	Arduino	Controlador
5	Bloque de relés	Controlador

Presupuesto

El presupuesto estimado para los investigadores para el desarrollo del proyecto es alrededor de \$1500

Tabla 81*Recursos Materiales*

Cantidad	Descripción	Valor
1	Tanque y compresor	\$ 469.92
4	Sensores ultrasónicos	\$ 26.10
1	Sensor Witmotion	\$ 83.31
1	Arduino Uno	\$ 16.50
1	Terminales Neumáticos	\$ 6.00
2	Pieza de Duralon	\$ 49.00
1	Acoples neumáticos	\$ 6.00
1	Manómetro	\$ 3.34
1	Válvula check	\$ 6.00
1	Acoples manguera	\$ 6.90
2	Muelles posteriores	\$ 67.00
1	Manguera	\$ 35.25
1	Arduino Mega	\$ 20
1	Bloque de reles	\$ 20.65
2	Muelles delanteros	\$ 200
4	Sensores de presión	\$ 73.96
1	Bloque electroválvulas	\$ 129.20
1	Cable UTP	\$ 5.00
1	Manguera y acoples	\$ 28.00
1	Pesaje del vehículo	\$ 10.00
1	Torneada de piezas	\$ 56.00
	Total	\$ 1332.13

Conclusiones

- Con la ayuda de fuentes bibliográficas se determinó que el sistema de suspensión neumática regula su altura electrónicamente facilitando su control en comparación a la suspensión convencional McPherson, no obstante, esta suspensión presenta costos de fabricación menores y una durabilidad mayor.
- Se evidenció que el sistema de suspensión neumática al poseer más componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos presenta más tendencia a presentar fallas en su sistema a comparación del sistema convencional McPherson.
- Gracias a la implementación del inclinómetro WT901BLECL BLES5.0, se obtuvo las muestras características del comportamiento de las suspensiones con alta fiabilidad.
- Se analizó el comportamiento de la suspensión convencional mediante la observación, testeo y análisis de los valores proporcionados por el sistema de monitoreo de suspensión obteniendo curvas características de los diferentes parámetros de medición los cuales corresponden a la aceleración, velocidad angular y ángulos de inclinación en los tres ejes coordenados respetando las condiciones de prueba descritas.
- Identificando las características requeridas para el funcionamiento del sistema de suspensión neumática se seleccionó los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos adecuados, considerando sus características obtenidas de las fichas técnicas de cada componente.
- En la implementación del sistema de suspensión neumática con control electrónico, se adaptó su geometría y conexiones eléctricas necesarias, con el fin de que el sistema funcione de acuerdo con lo especificado en la sección de diseño.

- Mediante el sistema de monitoreo de la suspensión se analizó de manera dinámica el comportamiento del sistema de suspensión neumática con control electrónico, evaluando los parámetros de aceleración, velocidad angular y ángulos de inclinación de acuerdo con las condiciones de prueba descritas.
- Con la ayuda de las tablas de comportamiento de las dos suspensiones generadas, se evaluó el porcentaje de ganancia o pérdida que presenta el sistema de suspensión neumático controlado electrónicamente a comparación del sistema convencional, individualmente en cada prueba y de manera general, obteniendo así una disminución general favorable con el sistema de suspensión neumática.
- Concluido el proyecto de investigación y evaluando los beneficios que presenta este tipo de suspensión a comparación del costo de adaptación del sistema, se precisa que no es factible su adaptación, puesto que los beneficios no son considerables a comparación al costo de adaptación.

Recomendaciones

- Para las condiciones de prueba del sistema de suspensión, establecer rutas que no presenten considerables variaciones en su terreno como rompevelocidades, baches, curvas pronunciadas, puesto que interfieren con la confianza de los valores obtenidos.
- Para la optimización del espacio utilizado es favorable construir el tanque de aire comprimido a la medida necesaria para que facilite el acceso y disminuya la cantidad de espacio muerto utilizado.
- Previo a la implementación del sistema de suspensión neumática se debe realizar un mantenimiento preventivo del sistema de suspensión, con el fin de evitar inconvenientes en su funcionamiento.
- La conexión del sistema neumático se lo debe realizar con acoples rápidos y seguros para garantizar la estanquidad del sistema y poder realizar un mantenimiento con mayor facilidad.
- Se debe tener precaución que todas las conexiones neumáticas, eléctricas no se encuentren cerca de un elemento que pueda comprometer su funcionamiento, como el árbol de transmisión, escape bujes y elementos móviles de la suspensión.
- La ventilación de los componentes debe ser constante puesto que al operar a elevadas presiones y condiciones adversas, el compresor puede sobrecalentarse perjudicando al funcionamiento del sistema y reduciendo su tiempo útil.
- Para revisar las conexiones neumáticas del sistema se debe despresurizar todo el sistema como medida de seguridad hacia el operario, tomando en cuenta que el sistema trabaja a elevadas presiones.

Bibliografía

Alejandro, P. M. (2020). *Descubriendo Arduino*. Buenos Aires : leder.

Alibaba. (08 de Enero de 2023). *Cilindro de aire de aluminio sin costuras, tanque de aire, sistema de suspensión neumática*. Obtenido de Cilindro de aire de aluminio sin costuras, tanque de aire, sistema de suspensión neumática:

<https://spanish.alibaba.com/product-detail/3-Gallon-aluminum-Seamless-air-cylinder-1600230994871.html>

Amazon. (08 de Enero de 2023). *Amazon*. Obtenido de Vixen Air Kit de suspensión para camión, bolsa de automóvil, viaje aéreo/resorte. Sistema a bordo: compresor de 200 psi, tanque de 4 galones, para elevación de barcos, remolque, bajada, bolsas de nivelación, bocina de tren a bordo, semi/SUV VXO4840B:

https://www.amazon.com/dp/B074RM8FCJ/ref=cm_sw_r_ap_a_i_NVN0Y171WMP1KKKH1AWH_0

Amazon. (08 de Enero de 2023). *Amazon*. Obtenido de PTNHZ Universal 1/4 NPT 0-300 Psi 12 V, suspensión de bolsa de aire con control de 4 esquinas, válvula solenoide de bloque para motocicleta auto:

https://www.amazon.com/dp/B08B1BKRXD/ref=cm_sw_r_ap_a_i_2DEVD4Z8JM1F0H3J26A3_1?_encoding=UTF8&pvc=1

Arleyalvarezvento. (13 de agosto de 2021). *VENTOS*. Obtenido de Cómo probar un compresor de suspensión neumática ventos.site:

<https://www.scribbr.es/citar/generador/folders/4zjaY5IJDF5ocFgztKcD0V/lists/3yURM8SsGH57U0bW4t9sDO/fuentes/5DIJoA5g8qSvDBOaipu1h6/editar/>

Audi. (2010). Sistemas de suspensiones neumáticas, Regulación de nivel en el Audi A6.

En Audi, *Sistemas de suspensiones neumáticas, Regulación de nivel en el Audi A6* (pág. 64). Berlin: Depto.

Bosch. (2005). *Manual de la técnica del automóvil*. Berlin : Postfach.

Bosch. (2005). *Sistemas para la estabilización del vehículo*. Mexico: DRA.

Casado, E. Á., García, J. G., Morales, T. G., Navarro, J. M., & Jiménez, J. L. (2020).

Mecánica del vehículo. Madrid: Paraninfo.

Casado, E. Á., Navarro, J. M., Morales, T. G., & Díaz, U. M. (2018). *Sistemas de*

transmisión de fuerzas y trenes de rodaje. Madrid: Summa.

César, N. M., & Alberto, P. V. (2011). *Construcción e implementación de un sistema de suspensión neumática inteligente en un vehículo tipo automóvil Mazda 323*.

Riobamba: DRA.

Electfreaks. (09 de Enero de 2023). *ElecFreaks*. California: DRA. Obtenido de Ultrasonic Ranging Module HC - SR04.

Emerson. (08 de Enero de 2023). *Emerson*. Obtenido de Sensores de temperatura NTC:

<https://climate.emerson.com/es-es/products/sensing-protection-devices/ntc-temperature-sensors>

Gonzales, T., Rio, G. d., Tena, J., & Torres, B. (2011). *Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección*. Mexico: Editex.

IDEARA, S. (2013). *Vibraciones mecánicas. Factores relacionados con la fuente y medidas de control*. Barcelona: Confederación de Empresarios de Pontevedra (CEP).

José, V. S. (2018). *Caracterización de las propiedades mecánicas del duralón*. Quito: -.

- Made-in-China. (08 de Enero de 2023). *EAA muelle neumático de goma 2e330-22 suspensión neumática Auto Parts*. Obtenido de EAA muelle neumático de goma 2e330-22 suspensión neumática Auto Parts: https://es.made-in-china.com/co_eaa80796111/product_Eaa-Rubber-Air-Spring-2e330-22-Air-Suspension-Auto-Parts_euhgnyguy.html
- Mapfre. (27 de agosto de 2020). *canalMotor*. Obtenido de ¿Qué es el control de suspensión electrónica?: <https://www.motor.mapfre.es/consejos-practicos/consejos-de-conduccion/control-de-suspension-electronica/>
- Martín, J. C., & Marco, A. M. (2012). *Mecánica del Automovil Actualizada*. Barcelona: REVERTÉ.
- Mercadolibre. (08 de Enero de 2023). *Bloque De Válvulas 8mm. 8 En 1 Suspensión Neumática Castor*. Obtenido de Bloque De Válvulas 8mm. 8 En 1 Suspensión Neumática Castor: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-811264982-bloque-de-valvulas-8mm-8-en-1-suspension-neumatica-castor-_JM
- Morales, B. I., & Ortiz, G. A. (2017). *Diseño y construcción de un banco para la determinación del centro de gravedad y transferencia de pesos en vehículos livianos*. Cuenca: DRA.
- Noroña M, M. V., B, G., & F, M. (06 de Enero de 2019). *Enfoque*. Obtenido de Desarrollo e innovación de los sistemas mecatrónicos en un automóvil: una revisión: <https://www.redalyc.org/journal/5722/572262171010/html/>
- Ponce. (17 de agosto de 2020). *Autocosmos* . Obtenido de Audi muestra algunos de sus avances con respecto a los sistemas de suspensión: <https://noticias.autocosmos.cl/2020/08/17/audi-muestra-algunos-de-sus-avances-con-respecto-a-los-sistemas-de->

Anexos