



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“ANÁLISIS DE LAS VIBRACIONES GENERADAS EN LA
SUSPENSIÓN DE VEHÍCULOS COMERCIALIZADOS EN EL
ECUADOR, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MODELOS
MATEMÁTICOS, PARA EVITAR EL ESTRÉS MÚSCULO
ESQUELÉTICO EN EL CONDUCTOR”**

**PUYOL TORRES PEDRO JOSÉ
VELÁSQUEZ LEMACHE CRISTIAN JONNATHAN**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACION

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Riobamba – Ecuador

2019

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

2018-05-04

Yo recomiendo que el trabajo de Titulación preparado por:

CRISTIAN JONNATHAN VELÁSQUEZ LEMACHE

Titulada:

**“ANÁLISIS DE LAS VIBRACIONES GENERADAS EN LA SUSPENSIÓN DE
VEHÍCULOS COMERCIALIZADOS EN EL ECUADOR, MEDIANTE LA
UTILIZACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS, PARA EVITAR EL ESTRÉS
MÚSCULO ESQUELÉTICO EN EL CONDUCTOR”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Dr. Mario Efraín Audelo Guevara.
DIRECTOR

Ing. Javier José Gavilanes Carrión.
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

2018-05-04

Yo recomiendo que el trabajo de Titulación preparado por:

PEDRO JOSÉ PUYOL TORRES

Titulada:

**“ANÁLISIS DE LAS VIBRACIONES GENERADAS EN LA SUSPENSIÓN DE
VEHÍCULOS COMERCIALIZADOS EN EL ECUADOR, MEDIANTE LA
UTILIZACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS, PARA EVITAR EL ESTRÉS
MÚSCULO ESQUELÉTICO EN EL CONDUCTOR”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Dr. Mario Efraín Audelo Guevara.
DIRECTOR

Ing. Javier José Gavilanes Carrión.
ASESOR

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CRISTIAN JONNATHAN VELÁSQUEZ LEMACHE

TÍTULO: “ANÁLISIS DE LAS VIBRACIONES GENERADAS EN LA SUSPENSIÓN DE VEHÍCULOS COMERCIALIZADOS EN EL ECUADOR, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS, PARA EVITAR EL ESTRÉS MÚSCULO ESQUELÉTICO EN EL CONDUCTOR”

Fecha de Examinación: 11-01-2019

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Dr. Mario Efraín Audelo Guevara. DIRECTOR			
Ing. Javier José Gavilanes Carrión. ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: PEDRO JOSÉ PUYOL TORRES

TÍTULO: “ANÁLISIS DE LAS VIBRACIONES GENERADAS EN LA SUSPENSIÓN DE VEHÍCULOS COMERCIALIZADOS EN EL ECUADOR, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS, PARA EVITAR EL ESTRÉS MÚSCULO ESQUELÉTICO EN EL CONDUCTOR”

Fecha de Examinación: 11-01-2019

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Dr. Mario Efraín Audelo Guevara. DIRECTOR			
Ing. Javier José Gavilanes Carrión. ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios por ser mi guía en todo este arduo caminar, por la salud que me ha brindado para que pueda lograr mi meta, por los Padres que tengo y sobre todo por brindarme una vida llena de aprendizaje y felicidad. Eres quien guía el destino de mi vida.

Les doy las gracias a mis Padres por apoyarme en todo momento, por inculcarme valores, por haberme brindado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo, por ser un ejemplo de superación.

Pedro José Puyol Torres

Este trabajo va dedicado a Dios y de manera muy especial a mi madre pues ella fue mi pilar fundamental para la construcción de mi vida profesional he inculco en mi responsabilidad, valores y muchos deseos de superación, es la persona a quien más respeto y quien se ha ganado toda mi admiración. Gracias Dios por concederme la mejor de las madres.

A mi familia, por siempre estar presentes en los momentos difíciles de esta vida estudiantil y finalmente a mis amigos por convertirse en mi familia durante este periodo académico.

Cristian Jonnathan Velásquez Lemache

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Automotriz, por inculcarme todos los conocimientos necesarios para defenderme en el área laboral, por la paciencia y consejos brindados en todos estos años de carrera, gracias a ellos he logrado cumplir mi objetivo que es ser un Ingeniero Automotriz de calidad y ético.

Agradezco a todas las personas que estuvieron ahí brindándome su apoyo para seguir adelante y no rendirme, en especial a mis Padres por su confianza y esfuerzo diario. A mi Tutor y Asesor por guiarme con su experiencia, sabiduría, para culminar con éxito esta etapa.

Pedro José Puyol Torres

En primera instancia mi más sincero agradecimiento a los docentes que forman parte de la Escuela de Ingeniería Automotriz, de la Facultad de Mecánica, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, personas de gran sabiduría quienes han dado lo mejor de ellos para ser de mi un profesional competitivo en esta sociedad.

A mi madre, hermana y amigos que han sido parte de este difícil proceso de aprendizaje en esta prestigiosa institución.

Cristian Jonnathan Velásquez Lemache

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

SUMMARY

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

1	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	1
1.1	Problematización	1
1.2	Justificación	1
1.2.1	Justificación teórica	1
1.2.2	Justificación metodológica	1
1.2.3	Justificación práctica	2
1.3	Alcance	2
1.4	Objetivos.....	2
1.4.1	Objetivo General.....	2
1.4.2	Objetivos Específicos	2
1.5	Marco teórico.....	3
1.5.1	Introducción.....	3
1.5.2	Concepto de suspensión.....	3
1.5.3	Principio básico de funcionamiento de la suspensión	4
1.5.4	Componentes de la suspensión	5
1.5.5	Tipos de suspensión.....	11
1.5.5.1	Suspensión rígida.....	11
1.5.5.2	Suspensión semirrígida.....	12
1.5.5.3	Suspensión independiente.....	15
1.5.6	Suspensiones especiales	19
1.5.7	Sensor Acelerómetro (MMA7361).....	22
1.5.8	Microprocesador ATMEGA328P.....	24
1.5.9	Convertidor de voltaje LM2596	26
1.5.10	Transceptor NRF24L01	27
1.5.11	Arduino Nano	28
1.5.12	LCD “16x2”	31

CAPÍTULO II

2	MARCO METODOLÓGICO	34
2.1	Diseño metodológico:	34
2.1.1	Tipo de investigación.....	34
2.1.2	Población y Muestra	35
2.1.2.1	Población	35
2.1.2.2	Muestra	35
2.1.2.3	Unidad de Muestreo.....	35
2.1.2.4	Unidad de análisis	35
2.1.2.5	Tipo de Muestreo.....	35
2.1.3	Método de recolección de información	36
2.1.3.1	Procedimiento para la selección de la muestra	36
2.1.4	Estructura del instrumento	36
2.1.5	Método de procesamiento y análisis estadístico	37
2.1.6	Procedimiento	48
2.2	Matriz involucrados	67
2.3	Árbol de problemas	68
2.4	Árbol de objetivos	68
2.5	Matriz de marco lógico	69

CAPÍTULO III

3	MARCO DE RESULTADOS	70
3.1	Resultados.....	70

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Especificaciones Técnicas del microcontrolador ATMEG328P.....	25
Tabla 2-1: Conexión del NRF24L01 con Arduino	28
Tabla 3-1: Diagrama de pines de una pantalla LCD “16x2”	32
Tabla 1-2: Constantes utilizados para la programación en Matlab	32

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Suspensión del vehículo	4
Figura 2-1: Principio básico de funcionamiento	5
Figura 3-1: Componentes del sistema de suspensión	5
Figura 4-1: Muelle tipo Ballesta	6
Figura 5-1: Muelle helicoidal	6
Figura 6-1: Barra de torsión	7
Figura 7-1: Barra estabilizadora	7
Figura 8-1: Brazos de suspensión.....	8
Figura 9-1: Soporte de motor BMW	8
Figura 10-1: Amortiguador.....	9
Figura 11-1: Amortiguador de fricción	9
Figura 12-1: Amortiguador hidráulico	10
Figura 13-1: Amortiguador a gas	10
Figura 14-1: Suspensión rígida.....	11
Figura 15-1: Timonería Watt.....	12
Figura 16-1: Barra Panhard	12
Figura 17-1: Suspensión semi rígida	13
Figura 18-1: Eje de Dion	14
Figura 19-1: Eje torsional.....	15
Figura 20-1: Suspensión independiente “Audi Quattro”	15
Figura 21-1: Eje Oscilante.....	16
Figura 22-1: Suspensión de brazos tirados	17
Figura 23-1: Conjunto McPherson	17
Figura 24-1: Suspensión paralelo deformable	18
Figura 25-1: Suspensión multibrazo.....	18
Figura 26-1: Suspensión hidroneumática	19
Figura 27-1: Suspensión neumática del automóvil	20
Figura 28-1: MMA7361 Sensor Acelerómetro	22
Figura 29-1: Pines del MMA7361	24
Figura 30-1: Conexión Sensor-Arduino	24
Figura 31-1: Disposición de pines del ATMEGA328P.....	25

Figura 32-1: Microprocesador ATMEGA328P.....	25
Figura 33-1: Convertidor de voltaje LM2596	27
Figura 34-1: Esquema NRF24L01	28
Figura 35-1: Arduino Nano	29
Figura 36-1: diagrama de pines “Arduino Nano”	31
Figura 37-1: LCD “Pines”	31
Figura 1-2: Cálculo de las constantes de elasticidad	48

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Encuesta	36
Gráfico 2-2: Tipo de conductores	37
Gráfico 3-2: Tipo de molestias	38
Gráfico 4-2: Tipo de vehículo.....	38
Gráfico 5-2: Tipo de carretera “Vitara”	39
Gráfico 6-2: Tiempo de manejo “Vitara”	39
Gráfico 7-2: Clase de molestias “Vitara”	40
Gráfico 8-2: Tipo de carretera “Grand Vitara 5P”	40
Gráfico 9-2: Tiempo de manejo “Grand Vitara 5P”	41
Gráfico 10-2: Clase de molestias “Grand Vitara 5P”	41
Gráfico 11-2: Tipo de carretera “Vitara SZ”	42
Gráfico 12-2: Tiempo de manejo “Vitara SZ”	42
Gráfico 13-2: Clase de molestias “Vitara SZ”	43
Gráfico 14-2: Tipo de carretera “Chevrolet Sail”	43
Gráfico 15-2: Tiempo de manejo “Chevrolet Sail”	44
Gráfico 16-2: Clase de molestias “Chevrolet Sail”	44
Gráfico 17-2: Tipo de carretera “Tucson”	45
Gráfico 18-2: Tiempo de manejo “Tucson”	45
Gráfico 19-2: Clase de molestias “Tucson”	46
Gráfico 20-2: Tipo de carretera “Otros”	46
Gráfico 21-2: Tiempo de manejo “Otros”	47
Gráfico 22-2: Clase de molestias “Otros”	47
Gráfico 23-2: Esquema del vehículo “VITARA”	50
Gráfico 24-2: Desplazamiento angular	52
Gráfico 25-2: Diagrama de desplazamientos.....	53
Gráfico 26-2: Diagrama de cuerpo libre de la cabeza	54
Gráfico 27-2: Diagrama de cuerpo libre del asiento.....	54
Gráfico 28-2: Diagrama de cuerpo libre del centro de gravedad.....	55
Gráfico 29-2: Diagrama de cuerpo libre de la barra	56
Gráfico 30-2: Diagrama de cuerpo libre de la suspensión delantera	57
Gráfico 31-2: Diagrama de cuerpo libre de la suspensión trasera	58

Gráfico 32-2: Modelación “Suspensión Delantera”	59
Gráfico 33-2: Modelación “Suspensión Trasera”	60
Gráfico 34-2: Modelación “Desplazamiento angular”	61
Gráfico 35-2: Simulación “Centro de Gravedad”	62
Gráfico 36-2: Simulación “Desplazamiento del Asiento”	63
Gráfico 37-2: Simulación “Desplazamiento de la cabeza”	64
Gráfico 38-2: Simulación “Vehículo VITARA”	65
Gráfico 39-2: Diagrama del equipo medidor de vibraciones.....	66
Gráfico 1-3: Comportamiento de la amortiguacion en el chasis	66
Gráfico 2-3: Comportamiento de la amortiguacion en el asiento	67
Gráfico 3-3: Comportamiento de la amortiguacion en el cuello	67

INDICE DE ANEXOS

Anexo A. Programación realizada en Matlab.

Anexo B. Programación del emisor “Arduino”.

Anexo C. Programación del receptor “Arduino”.

Anexo D. Conexión del equipo medidor de vibraciones de los sistemas de suspensión.

Anexo E. Ensamblaje de equipo.

Anexo F. Cálculo de las constantes de elasticidad de espirales y neumáticos.

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se analiza las vibraciones, generadas en la suspensión de vehículos comercializados en el Ecuador, mediante la utilización de modelos matemáticos y un simulador del comportamiento de la suspensión, para evitar el estrés músculo esquelético y las demás afecciones que se presentan en los conductores, al conducir un vehículo cuyo sistema de suspensión genera altos niveles de vibración. La investigación se desarrolló en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con una investigación bibliográfica primaria, con la cual se hizo un análisis teórico de los resultados obtenidos de la simulación del sistema de suspensión, la misma que se procedió a comparar con los resultados que se obtuvieron de la investigación de campo, para lo cual se necesitó desarrollar un sistema que permitió realizar dichos análisis. Se realizó una simulación del comportamiento del sistema de suspensión para lo cual fue necesario algunos procedimientos matemáticos y un software (MATLAB) para poder alcanzar dicha simulación, al igual que se construyó un equipo mediante la utilización de diferentes elementos electrónicos y software que permite medir las vibraciones que experimenta el conductor al momento de conducir, la simulación y el equipo se desarrollaron para mostrar las distintas formas de evaluar este sistema, cuyos resultados nos permitieron observar la diferencia que existe entre un estudio ideal y uno real. La conclusión a las que se arribó con este trabajo de titulación se sintetiza en que el nivel de vibraciones que afectan a los conductores está muy sensibilizado en el concepto del grado de afección que puede sufrir el conductor. El Ecuador debe tener mecanismos de control con mayor severidad en relación con la calidad, funcionabilidad y seguridad de los automóviles que ingresan a nuestro país y con ello preservar la integridad y confort de los conductores.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <INGENIERIA AUTOMOTRIZ>, <SISTEMA DE SUSPENSION>, <SIMULADOR DE UN SISTEMA DE SUSPENSION>, <ASPECTOS ELECTRONICOS>, <VIBRACIONES DEL SISTEMA DE SUSPENSION>, <EQUIPO DE MEDIDOR DE VIBRACIONES>.

SUMMARY

In the present degree work is analyzed the vibrations generated in the suspension of vehicles commercialized in Ecuador, by means of the utilization of mathematical models and simulator of the behavior of the suspensión, to avoid stress to skeletal muscle and the other affections that appear in drivers when driving a vehicle whose suspensión system generates high levels of vibration. The research was developed at Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, with a primary bibliographic research, with which a theoretical analysis of the results obtained from the simulation of the suspension system was made, which was compared with the results that were obtained from field research, for which it was necessary to develop a system that allowed to perform such analyzes. A simulation of the behavior of the suspension system was carried out, which required some mathematical procedures and MATLAB software to be able to reach such simulation; as well as, a team was built using different electronic elements and software in order to measure the vibrations experienced by the driver at the time of driving, the simulation and the team were developed to show the different ways of evaluating this system, whose result allowed us to observe the difference between an ideal study and a real one. In conclusion, this research is summarized in that the level of vibrations that affect drivers is very sensitized to the concept of the degree of affection that can suffer the driver. Ecuador must have control mechanisms with greater severity in relation to the quality, functionality and safety of the cars that enter our country and with it preserve the integrity and comfort of drivers.

Key words: <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <AUTOMOTIVE ENGINEERING>, <SUSPENSION SYSTEM>, <SIMULATOR OF SUSPENSION SYSTEM>, <ELECTRONIC ASPECT>, <VIBRATIONS OF THE SUSPENSION SYSTEMS>, <VIBRATION METER EQUIPMENT>.

INTRODUCCIÓN

La absorción de choque en automóviles se realiza mediante un sistema de suspensión que soporta el peso del vehículo mientras se intentan reducir o eliminar vibraciones que pueden ser inducidas por una variedad de fuentes, tales como irregularidades en la superficie de la carretera, fuerzas aerodinámicas, vibraciones del motor y transmisión, y falta de uniformidad del conjunto neumático / rueda (ShirahattiI, y otros, 2008).

Usualmente, las irregularidades de la superficie de la carretera, que van desde baches hasta variaciones aleatorias del perfil de elevación de superficie, actúan como una fuente principal que excita la vibración de la carrocería del vehículo a través del conjunto neumático / rueda y el sistema de suspensión (ShirahattiI, y otros, 2008).

Los sistemas de suspensión tienen como función mantener la estabilidad del vehículo a la vez que deben de ofrecer un grado de confortabilidad aceptable para los ocupantes del mismo, de esta manera se crea una relación contradictoria entre confort y seguridad (Elheim, 2013).

Mediante la utilización de determinados elementos electrónicos podemos conocer el comportamiento del sistema de suspensión de un vehículo.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Problematización

La falta de estudio en los sistemas de suspensión utilizados en los vehículos y las vibraciones producidas, provocan afecciones de diferentes categorías en los conductores y acompañantes, la exposición a vibraciones de baja frecuencia puede provocar lumbalgia, afecciones a la visión y a las mujeres que se encuentran en estado de gestación puede causar mal formación y en los peor de los casos la pérdida del bebe.

1.2 Justificación

1.2.1 *Justificación teórica*

En la actualidad no se realizan estudios de vibración en el conductor, ocasionada por las irregularidades de carreteras, falta de uniformidad en las ruedas y suspensión. Con este proyecto se logrará determinar si existen afecciones en los conductores al encontrarse expuestos a vibraciones por largos periodos de tiempo.

1.2.2 *Justificación metodológica*

Para lograr los objetivos planteados en el presente proyecto de investigación se utilizará fuentes bibliográficas para la recolección de información que será útil para realizar la modelación matemática. Y mediante capacitaciones en el área de electrónica adquirir los conocimientos necesarios para la elaboración del equipo de medición.

1.2.3 Justificación práctica

El docente tendrá la oportunidad de impartir de mejor manera sus clases al hacerlas más didácticas ya que con la simulación se obtendrá un sistema útil para analizar y con el equipo se comprobará la parte práctica.

Los más beneficiados serán los estudiantes ya que con las pruebas prácticas que realicen podrán utilizar los resultados para implementar mejoras en los sistemas de suspensión de los vehículos ya sea para competición o mayor confort.

1.3 Alcance

Se espera construir, analizar e implementar un equipo de medición que permita realizar el estudio de vibraciones en el cuerpo humano producidos por la mala selección de los sistemas de suspensión en los vehículos.

Demostrar que la selección de los sistemas de suspensión de los vehículos puede generar traumas musculo esqueléticos en el ser humano.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Analizar las vibraciones generadas en la suspensión de vehículos comercializados en el Ecuador, mediante la utilización de modelos matemáticos, para evitar el estrés músculo esquelético en el conductor.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Revisar fuentes bibliográficas, accediendo a bibliotecas y páginas con documentos científicos, para obtener información actualizada de estudios realizados.

- Realizar encuestas a usuarios de Vitara JX 3p a inyección, mediante cuestionarios digitales, para constatar las molestias ocasionadas por las vibraciones.
- Construir un equipo de diagnóstico, con la utilización de elementos electrónicos, para realizar los análisis de las vibraciones.
- Realizar el estudio real vs calculado, mediante la utilización de acelerómetros, para verificación del equipo.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Introducción

La absorción de choque en automóviles se realiza mediante un sistema de suspensión que soporta el peso del vehículo mientras se intentan reducir o eliminar vibraciones que pueden ser inducidas por una variedad de fuentes, tales como irregularidades en la superficie de la carretera, fuerzas aerodinámicas, vibraciones del motor y transmisión, y falta de uniformidad del conjunto neumático / rueda (ShirahattiI, y otros, 2008).

Usualmente, las irregularidades de la superficie de la carretera, que van desde baches hasta variaciones aleatorias del perfil de elevación de superficie, actúan como una fuente principal que excita la vibración de la carrocería del vehículo a través del conjunto neumático / rueda y el sistema de suspensión (ShirahattiI, y otros, 2008).

Los sistemas de suspensión tienen como función mantener la estabilidad del vehículo a la vez que deben de ofrecer un grado de confortabilidad aceptable para los ocupantes del mismo, de esta manera se crea una relación contradictoria entre confort y seguridad (Elheim, 2013).

Mediante la utilización de determinados elementos electrónicos podemos conocer el comportamiento del sistema de suspensión de un vehículo.

1.5.2 Concepto de suspensión

Se denomina suspensión al conjunto de mecanismos intercalados entre la masa suspendida y la masa no suspendida (Elheim, 2013).

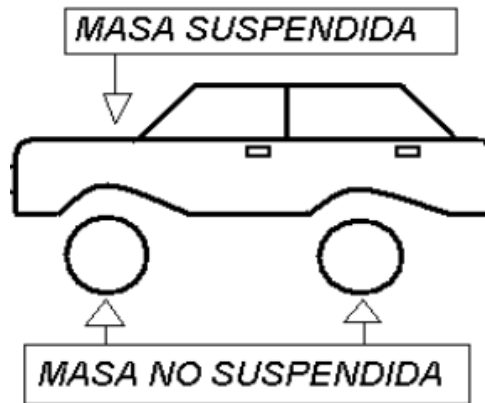


Figura 1-1: Suspensión del vehículo

Fuente: (Elheim, 2013)

Las masas suspendidas están constituidas por la carrocería, bastidor, conjuntos mecánicos, los propios ocupantes y carga del vehículo (Elheim, 2013).

Las masas no suspendidas están constituidas por las ruedas, componentes de transmisión, guiado, frenos y algunos componentes estructurales de la propia suspensión (Elheim, 2013).

1.5.3 Principio básico de funcionamiento de la suspensión

Por su carácter elástico las ruedas se adaptan a las pequeñas irregularidades del terreno no perdiendo contacto con éste, cuando la irregularidad del terreno es mayor se necesita un elemento elástico (resorte) para absorber las irregularidades. Este elemento se comprime, almacenando energía, mientras la masa suspendida permanece horizontal (Elheim, 2013).

Posteriormente la energía almacenada es devuelta en forma de oscilaciones, generando rebotes en la rueda y balanceo en la masa suspendida. Para absorber y eliminar estos rebotes lo antes posible se disponen los amortiguadores. Debemos mencionar que el resorte tiene un límite elástico y si éste se supera, el resorte sufriría una deformación permanente, haciendo que varíen sus características (Elheim, 2013).

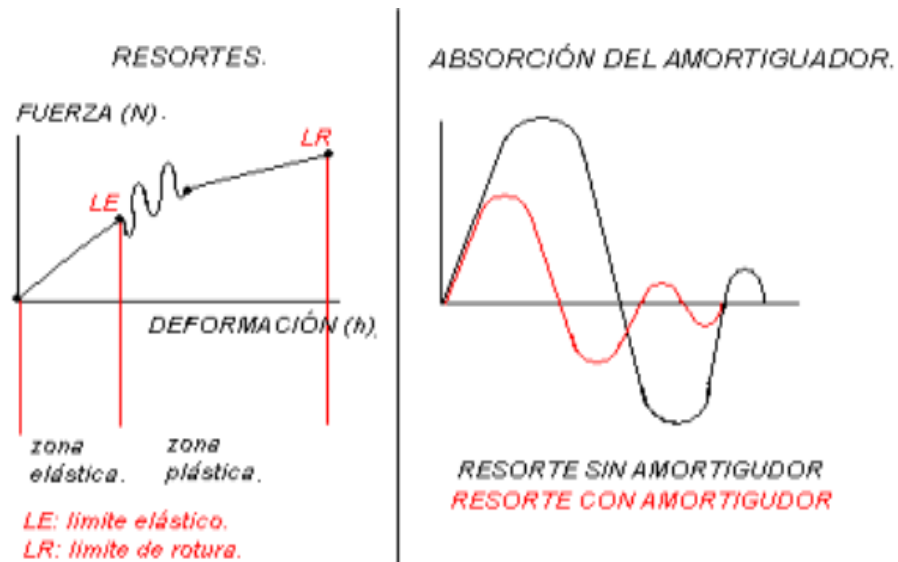


Figura 2-1: Principio básico de funcionamiento

Fuente: (Elheim, 2013)

1.5.4 Componentes de la suspensión

- Ballestas
- Elemento flexible (muelles y resortes).
- Elemento de amortiguación (amortiguador).
- Uniones de los elementos de amortiguación (ponchos, soporte de motor, etc.).
- Otros elementos que templan o amarran la suspensión para lograr una mayor rigidez (barra estabilizadora, barra de torsión, etc.).

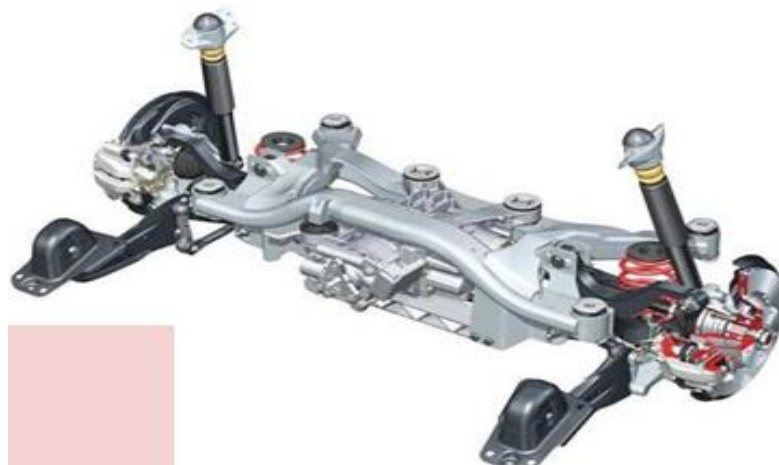


Figura 3-1: Componentes del sistema de suspensión

Fuente: (institutomotores, 2010)

Ballesta

Su principal ventaja es la gran capacidad de soportar grandes cargas con pequeñas deformaciones, se usa en camiones y automóviles pesados. La hoja más larga se llama maestra y entre las hojas se intercala láminas de zinc para mejorar su flexibilidad (institutomotores, 2010).

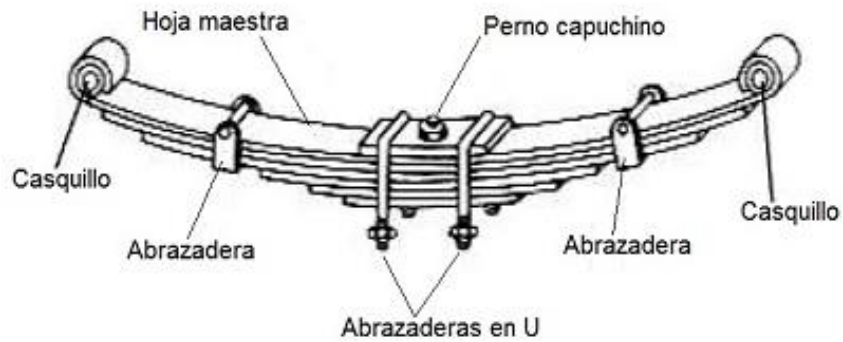


Figura 4-1: Muelle tipo Ballesta

Fuente: (institutomotores, 2010)

Muelle helicoidal o resorte

Están formados por un alambre de acero enrollado en forma de espiral, tienen la función de absorber los golpes que recibe la rueda (institutomotores, 2010).

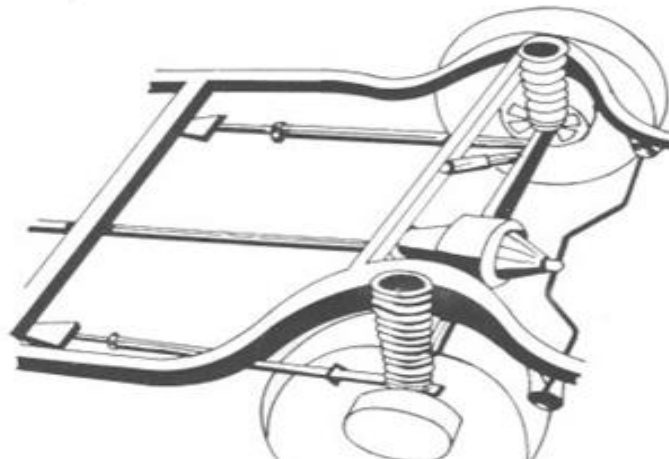


Figura 5-1: Muelle helicoidal

Fuente: (institutomotores, 2010)

Barra de torsión

Es un elemento elástico que actúa de filtro entre la carrocería y las ruedas. Se retuerce cuando la rueda se desplaza de su posición de equilibrio hacia arriba o hacia abajo y luego vuelve a su posición original amortiguando, en este retorno, el efecto rebote de las ruedas (institutomotores, 2010).

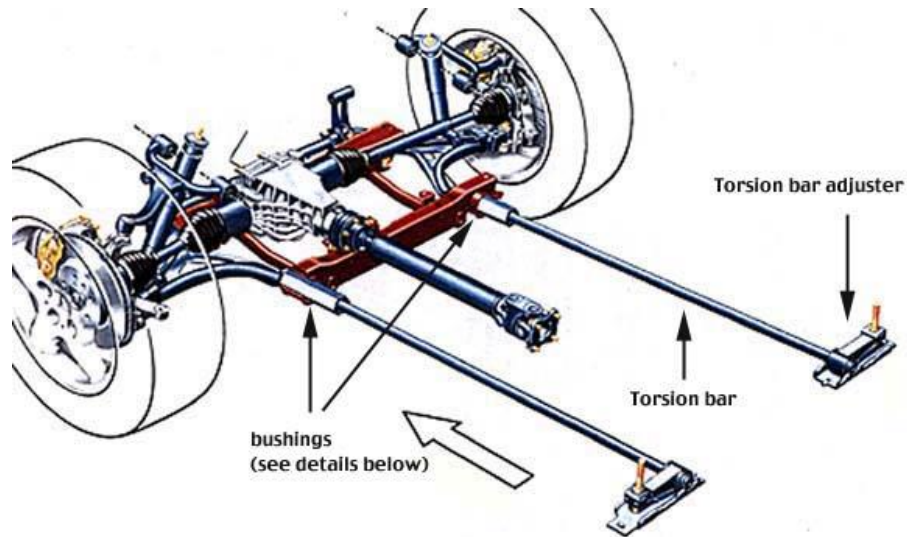


Figura 6-1: Barra de torsión

Fuente: (institutomotores, 2010)

Barra estabilizadora

Se le conoce también como barra contra vuelcos o barra anti-balanceo. Está constituida por una barra metálica que une las dos ruedas de un mismo eje. Permite tener una suspensión flexible y confortable, aumentando artificialmente la rigidez en curvas (institutomotores, 2010).

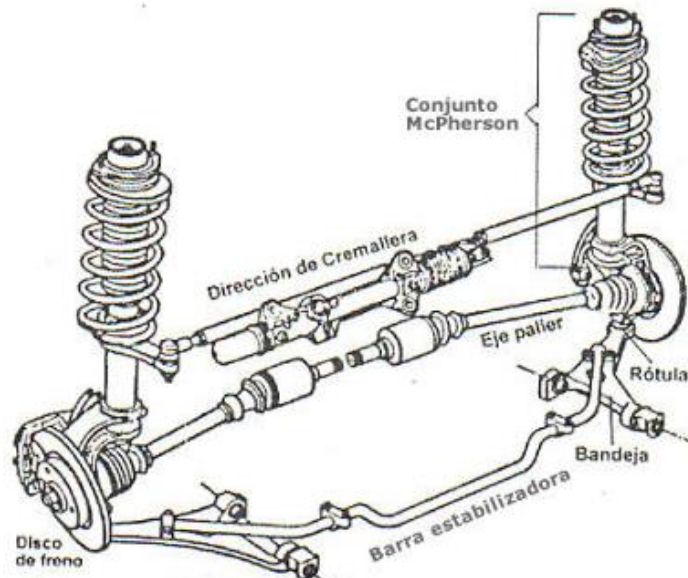


Figura 7-1: Barra estabilizadora

Fuente: (institutomotores, 2010)

Brazos de suspensión

Son elementos mecánicos articulados que permiten los movimientos verticales de la rueda y que, en función de su longitud y disposición, guían ésta a lo largo de su recorrido vertical, dando el efecto de caída y convergencia (institutomotores, 2010).

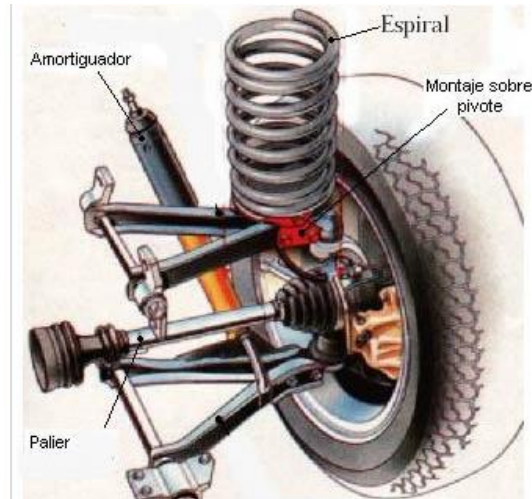


Figura 8-1: Brazos de suspensión

Fuente: (institutomotores, 2010)

Muelles de goma

Utilizados como elementos de amortiguación auxiliares, son muelles anulares de goma (elastómeros), de acción progresiva, vulcanizados entre piezas de metal (institutomotores, 2010).



Figura 9-1: Soporte de motor BMW

Fuente: (institutomotores, 2010)

Amortiguador

Tienen como misión contrarrestar el excesivo rebote de las ruedas (institutomotores, 2010).



Figura 10-1: Amortiguador

Fuente: (institutomotores, 2010)

Tipos de amortiguadores

- Amortiguadores hidráulicos
- Amortiguadores de fricción
- Amortiguadores neumáticos (o de gas)

Amortiguador de fricción: Son poco empleados y constan de dos brazos sujetos, una al bastidor y otro al eje o rueda correspondiente. Los brazos se unen entre si con unos discos de amianto o fibra que al oscilar ofrecen resistencia a las ballestas o muelles (institutomotores, 2010).

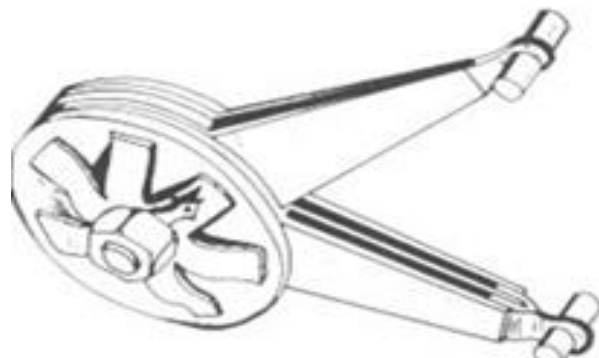


Figura 11-1: Amortiguador de fricción

Fuente: (institutomotores, 2010)

Amortiguadores hidráulicos: Basan su funcionamiento en el paso del aceite (medio amortiguador) por una serie de agujeros de una cámara a otra. Los amortiguadores hidráulicos se unen por un extremo al bastidor y por el otro al eje o rueda y están formados por dos cilindros excéntricos, dentro de los cuales se desplaza un vástago (institutomotores, 2010).



Figura 12-1: Amortiguador hidráulico

Fuente: (institutomotores, 2010)

Amortiguador a gas: Añaden un gas (que puede ser nitrógeno) que además de amortiguar también hace en cierto modo de resorte elástico, es por ello que este tipo de amortiguadores vuelven a su posición cuando se deja de actuar sobre ellos (institutomotores, 2010).



Figura 13-1: Amortiguador a gas

Fuente: (institutomotores, 2010)

1.5.5 Tipos de suspensión

1.5.5.1 Suspensión rígida

El sistema rígido es uno de los tipos de suspensión más antiguos y básicos que existe, su funcionamiento es sencillo. Unos amortiguadores van atornillados directamente a la barra transversal del puente, que es la que recibe las modificaciones que le mandan las suspensiones. Como se puede apreciar en la foto, cuando un coche atraviesa un obstáculo con una sola rueda, el puente entero se inclina en el sentido que dicte el terreno (Rod, 2017).



Figura 14-1: Suspensión rígida

Fuente: (Rod, 2017)

Suspensión auxiliar timonería watt

Se descubrió que colocando dos barras ancladas a un punto fijo (el chasis actual), un anclaje más alto que el otro, y uniendo sus otros extremos libres con una pieza anclada en su centro a otro punto, el movimiento arriba y abajo de ese punto era prácticamente rectilíneo. De esta manera se encontró hace ya unos cuantos años la manera de aplicarlo al eje trasero de ciertos coches, que eran rígidos y se quería que subiese y bajase de forma lo más recta posible (Rod, 2017).



Figura 15-1: Timonería Watt

Fuente: (Rod, 2017)

Suspensión auxiliar barra Panhard

Una barra Panhard consiste en la unión del chasis del coche al eje rígido (y normalmente motriz) mediante una barra que cruza de lado a lado y que se denomina como ya hemos dicho, barra Panhard. Esta barra permite el movimiento arriba y abajo del puente, e incluso permite que cada rueda suba y baje casi independientemente, pero evita que el eje se mueva en sentido transversal, es una evolución del eje tirado para su uso con ejes rígidos (Rod, 2017).



Figura 16-1: Barra Panhard

Fuente: (Rod, 2017)

1.5.5.2 Suspensión semirrígida

El sistema semirrígido lleva un brazo adicional, que permite reducir las vibraciones e inclinaciones que puede recibir el coche. Es decir, no es rígida, pero tampoco es

independiente, por lo que el aislamiento de las oscilaciones es relativamente limitado. Básicamente, se compone de unos muelles anclados a unos soportes articulados, los cuales van atornillados al diferencial y a una barra que cruza toda la zona del puente, limitando así su independencia. Es un sistema común que incorporan muchos coches, en sus versiones básicas (Rod, 2017).



Figura 17-1: Suspensión semirrígida

Fuente: (Rod, 2017)

Eje de Dion

En el eje de Dion las ruedas van unidas mediante soportes articulados al grupo diferencial, la suspensión con eje de Dion es parte de la masa suspendida, es decir, va anclado al bastidor del automóvil. Bajo este aspecto se transmite el giro a las ruedas a través de dos semiejes (palieres) como en las suspensiones independientes. A su vez las ruedas están unidas entre si mediante una traviesa o tubo de Dion que las ancla de forma rígida permitiendo a la suspensión deslizamientos longitudinales (Rod, 2017).

Este sistema tiene la ventaja frente al eje rígido de que se disminuye la masa no suspendida debido al poco peso de la traviesa del eje De Dion y al anclaje del grupo diferencial al bastidor y mantiene los parámetros de la rueda prácticamente constantes como los ejes rígidos gracias al anclaje rígido de la traviesa. La suspensión posee además elementos elásticos de tipo muelle helicoidal y suele ir acompañada de brazos longitudinales que limitan los desplazamientos longitudinales (Rod, 2017).

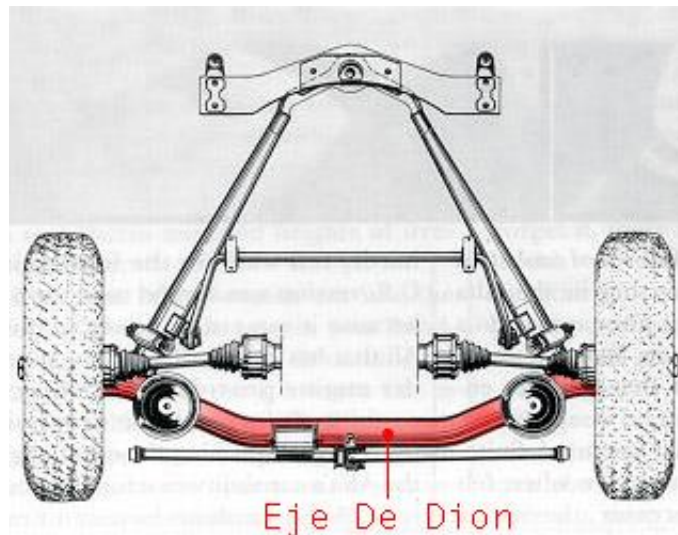


Figura 18-1: Eje de Dion

Fuente: (Rod, 2017)

Eje torsional

Consiste en que un tubo que une las dos ruedas tiene forma de "U", por lo que es capaz de deformarse un cierto ángulo cuando una de las ruedas encuentra un obstáculo, para después una vez pasado el obstáculo volver a la posición inicial. Las ruedas están unidas rígidamente a dos brazos longitudinales unidos por un travesaño que los une y que se tuerce durante las sacudidas no simétricas, dando estabilidad al vehículo (Rod, 2017).

Esta configuración da lugar, a causa de la torsión del puente, a una recuperación parcial del ángulo de caída de alto efecto de estabilización, características que, junto al bajo peso, al bajo coste y al poco espacio que ocupan, ideal para instalarla junto con otros componentes debajo del piso (depósito de combustible, escape, etc.). Esta configuración ha convertido a este tipo de suspensiones en una de las más empleadas en vehículos de gama media-baja (Rod, 2017).

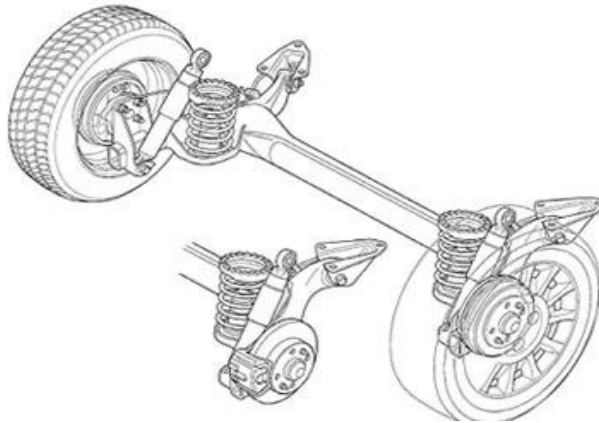


Figura 19-1: Eje torsional

Fuente: (Rod, 2017)

1.5.5.3 *Suspensión independiente*

Con una suspensión independiente, los neumáticos izquierdo y derecho son soportados por brazos separados y la carrocería es montada en estos brazos vía resortes. Puesto que los neumáticos izquierdo y derecho se mueven hacia arriba y abajo separadamente, allí prácticamente no hay influencia de un lado al otro lado. Esto reduce el balanceo de la carrocería y es posible lograr un excelente y cómodo viaje (Rod, 2017).

Audi Quattro
Trasera, multibrazo

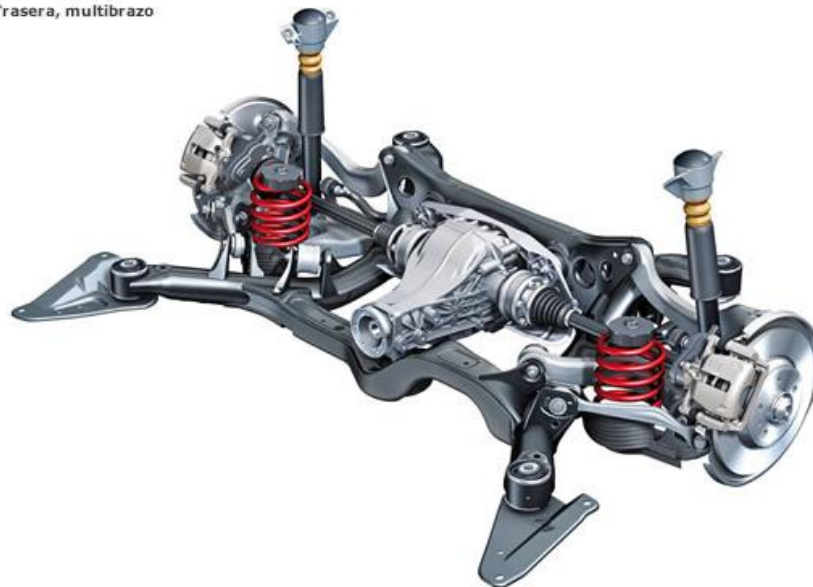


Figura 20-1: Suspensión independiente “Audi Quattro”

Fuente: (Rod, 2017)

Eje oscilante

La suspensión de eje oscilante tiene los muelles ubicados en unas articulaciones que van atornilladas al puente trasero. El funcionamiento es básico, ya que carece de brazos de torsión, solo uno conectado al puente y el amortiguador conectado al chasis. Es un sistema muy usado, que podemos encontrar en multitud de coches de calle. Aunque es un sistema básico, los nuevos desarrollos han conseguido que transmita una mayor estabilidad en el coche con más seguridad (Rod, 2017).

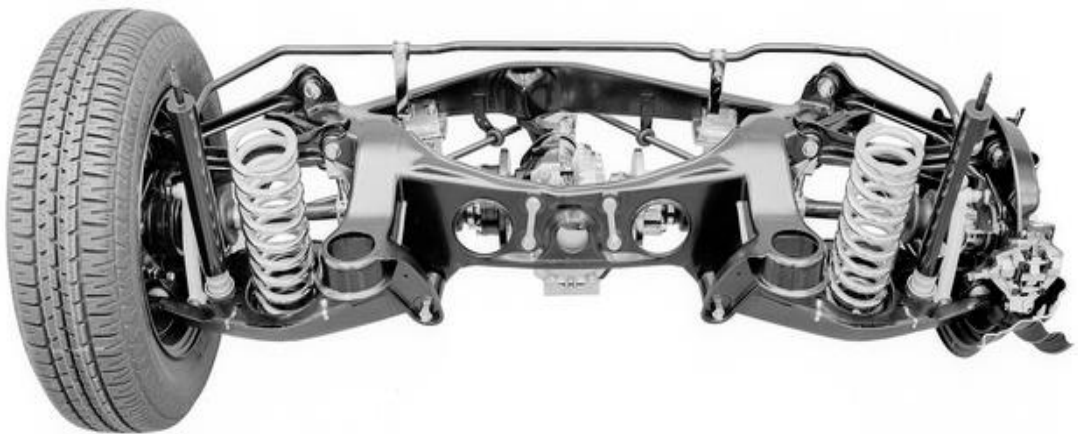


Figura 21-1: Eje Oscilante

Fuente: (Rod, 2017)

Brazos tirados

La mayor diferencia es que este tiene una separación en los brazos que alojan los muelles. Así, al ir por separados los brazos, la amortiguación se consigue de una manera independiente. Para un uso urbano es un sistema aceptable. Por el contrario, al estar el muelle separado del amortiguador, la gestión de las vibraciones no es del todo eficiente, pudiendo ser inestable en aquellas situaciones en las que se requiere de un uso más profundo del sistema (Rod, 2017).

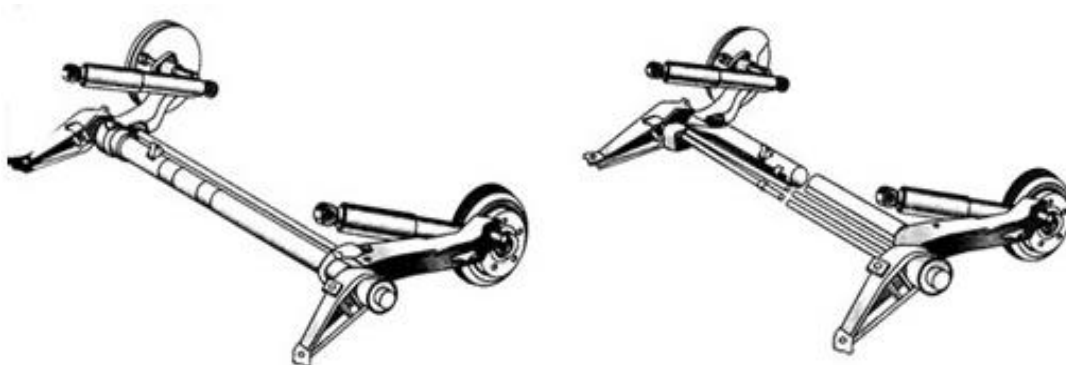


Figura 22-1: Suspensión de brazos tirados

Fuente: (Rod, 2017)

McPherson

El sistema McPherson es un sistema básico que es muy utilizado para los puentes delanteros, aunque se puede encontrar instalado en el trasero también. Es una estructura sencilla y su mantenimiento es económico. En este caso, los amortiguadores van directamente atornillado al chasis, por lo que tienen que tener una cierta rigidez en esa zona para que no sufra roturas. De esta manera, puede transmitir las vibraciones de manera correcta, y en caso de que sean algo fuertes, nos aseguramos de que pueda aguantarlo sin problemas (Rod, 2017).

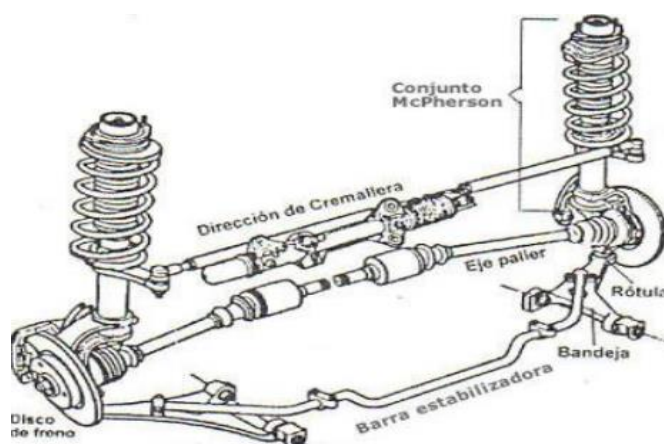


Figura 23-1: Conjunto McPherson

Fuente: (Rod, 2017)

Paralelo deformable

Es más sofisticado, ya que incorpora brazos y articulaciones superiores. También se le conoce como suspensión de paralelogramo deformable, ya que cuando actúa la amortiguación, tanto el brazo superior como el inferior, que en principio están colocados de forma paralela, se deforman según las actuaciones del mismo (Rod, 2017).



Figura 24-1: Suspensión paralelo deformable

Fuente: (Rod, 2017)

Suspensiones multibrazo o multi-link

Las suspensiones multibrazo se basan en el mismo concepto básico que sus precursoras las suspensiones de paralelogramo deformable, es decir, el paralelogramo está formado por dos brazos transversales, la mangueta de la rueda y el propio bastidor. La diferencia fundamental que aportan estas nuevas suspensiones es que los elementos, guía de la suspensión multibrazo pueden tener anclajes elásticos mediante manguitos de goma (Rod, 2017).

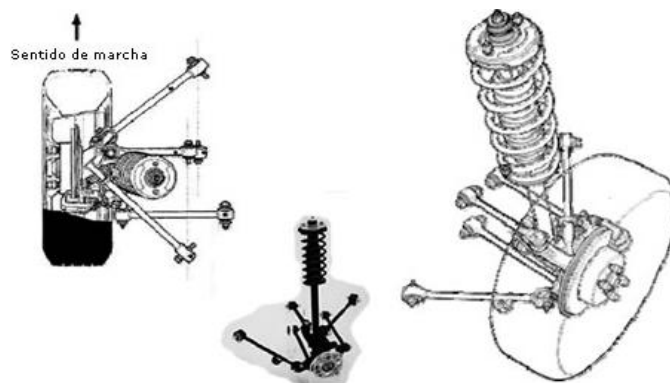


Figura 25-1: Suspensión multibrazo

Fuente: (Rod, 2017)

1.5.6 Suspensiones especiales

Suspensión hidroneumática convencional

La suspensión hidroneumática es un tipo de suspensión de automóvil desarrollado por Citroën y equipado en sus coches, así como adaptado por otros fabricantes, notablemente Rolls- Royce, Mercedes-Benz y Peugeot (Gonzalez, 2013).

Los muelles mecánicos tradicionales son sustituidos por elementos elásticos hidroneumáticos, constituidos por un aceite mineral y un gas (nitrógeno), el cual constituye el elemento elástico, su presión y volumen varía con la carga. El aceite no es comprimible con lo que asegura la unión entre órganos mecánicos (Elheim, 2013).

En este tipo de suspensión la regulación de altura de casco se realiza haciendo salir o entrar cierta cantidad de líquido del interior del cilindro, dado que la altura varia con la carga esta regulación se produce automáticamente por medio de un regulador que está en continuo contacto con la carrocería (autonivelante) (Elheim, 2013).

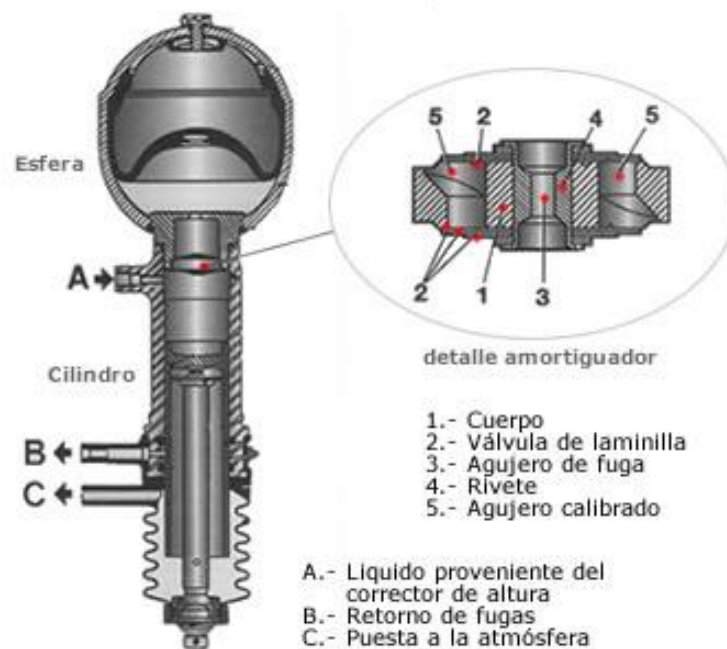


Figura 26-1: Suspensión hidroneumática

Fuente: (Gonzalez, 2013)

Suspensión hidro activa

Una suspensión ideal debe tener en cuenta las condiciones de rodaje y el modo de conducción para optimizar permanentemente el confort, así como el comportamiento en carretera y la seguridad activa. Para ello la suspensión hidro activa posee dos regímenes o posiciones (Elheim, 2013):

- Régimen elástico que asegura el confort y una conducción agradable.
- Régimen firme para un buen comportamiento en carreteras y seguridad activa.

Suspensión neumática

Este tipo sustituye los elementos elásticos (muelles, ballestas o barras de torsión), por unos cojines de aire en cada rueda. Este tipo se utiliza normalmente en vehículos industriales por que permiten mantener la misma distancia entre la carrocería y el suelo independientemente de la carga con dispositivos que varíen la presión del aire dentro del cojín neumático (Elheim, 2013).

Al mismo tiempo, la combinación con el muelle da como resultado una suspensión de flexibilidad variable que da al vehículo confort o seguridad dependiendo de la marcha y la carga (Elheim, 2013).

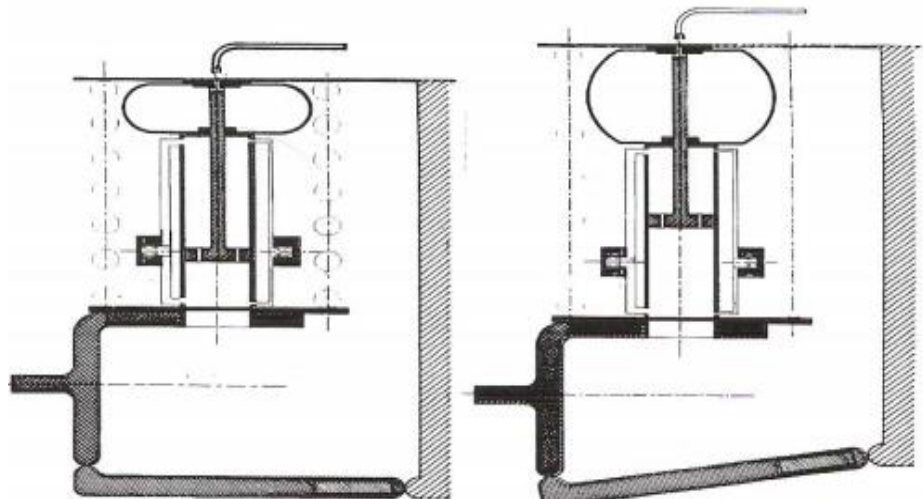


Figura 27-1: Suspensión neumática del automóvil

Fuente: (Elheim, 2013)

Control electrónico de la amortiguación

El mayor avance en sistemas de suspensión lo constituyen hoy día el sistema de control electrónico del comportamiento de los amortiguadores. La marca japonesa Mazda fue una de las primeras en desarrollar este tipo de sistemas, hoy en día se pueden encontrar en diferentes modelos de las marcas, como Opel, Mercedes, Nissan y Volvo (Medina, 2011).

El sistema en principio desarrollado por Mazda para equipar a su modelo 626 Coupé 2.0 presentaba como absoluta novedad la posibilidad de regular la actuación de los amortiguadores de cada rueda en tres posiciones normal, automática y deportiva de acuerdo con las condiciones de la conducción o las características de la carretera (Medina, 2011).

Cuando el mando de control se situaba en la posición “normal”, los amortiguadores delanteros y traseros presentaban una capacidad amortiguadora media, adecuada a un máximo confort. En la posición “automática” los amortiguadores delanteros, por la acción de una válvula solenoide, automáticamente quedaban tarados en un grado de dureza más alto a velocidades superiores a 80 Km/h, ofreciendo una buena estabilidad de marcha, al propio tiempo que un buen confort, al mantener normal el taraje de los amortiguadores traseros (Medina, 2011).

Por último, en la posición “deportiva”, los cuatro amortiguadores quedaban tarados al grado más alto, permitiendo esto las mejores condiciones de estabilidad de marcha para conducción deportiva a alta velocidad (Medina, 2011).

1.5.7 Sensor Acelerómetro (MMA7361)

Este sensor (MMA7361) es un acelerómetro analógico de 3 ejes (x, y, z). El nivel de las medidas del acelerómetro nos permite medir la aceleración, o la inclinación de una plataforma con respecto al eje terrestre. Este sensor funciona con alimentaciones entre 2.2 y 3.6VDC (3.3V es el valor óptimo), y consume solamente 400 μ A de corriente (Haro, 2015).

Especificaciones del sensor MMA7361 (Haro, 2015):

- Bajo consumo de corriente: 400 μ A.
- Modo de espera: 3 μ A.
- Bajo voltaje de la operación: 2,2 V – 3,6 V.
- Alta sensibilidad (800 mV / g @1.5g).
- Sensibilidad seleccionable ($\pm 1,5$ g, ± 6 g).
- Encendido rápido tiempo de calentamiento (0.5 ms tiempo de respuesta activa).
- Acondicionamiento de señales con filtro de paso bajo.
- Diseño robusto, alto Shocks supervivencia.

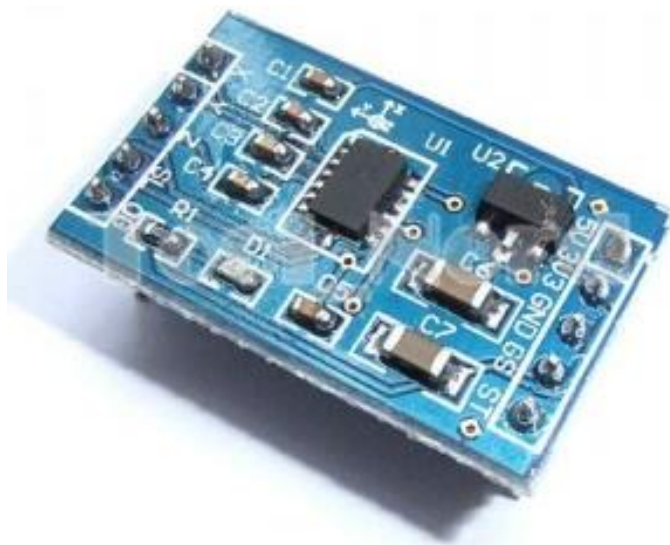


Figura 28-1: MMA7361 Sensor Acelerómetro

Fuente: (Haro, 2015)

Pines del sensor MMA7361 (Haro, 2015):

Eje – X	Es una señal de salida analógica a lo largo del eje X
Eje – Y	Es una señal de salida analógica a lo largo del eje Y
Eje – Z	Es una señal de salida analógica a lo largo del eje Z
Sleep(SL)	Este pin se activa de forma negada el integrado pasara a sleep y no nos enviara nada en sus salidas, se reanudará la operación cuando se consuma más energía.
Detect(OG)	Este pin será alto cuando se detecta 0g en los 3 ejes, útil para detectar caída libre
5V	Este pin está conectado a un regulador construido en el que traerá de 5V a 3.3V que se requieren en el chip para ejecutarse.
3.3V	Este pin no pasa por el regulador de 5V, es para aquellos que tienen un voltaje de 3.3V regulado previamente.
Ground(GND)	Este pin debe estar conectado a la tierra del circuito.
Sense Select(GS)	Este pin es un habilitador de los sensores x, y, z. Este hay que habilitarlo a nivel bajo, y luego restan los pines de alimentación y masa. se utiliza para seleccionar entre las dos sensibilidades. Si este pin es bajo se encuentra en modo 1,5 g. sí es alto, se cambia al modo de 6 g.
Self Test(ST)	Este chip se ha construido en un auto-test para verificar que tanto las piezas mecánicas y eléctricas en el interior del chip están funcionando correctamente. Es útil para la calibración.



Figura 29-1: Pines del MMA7361

Fuente: (Haro, 2015)

Conexión del sensor (MMA7361) al Arduino:

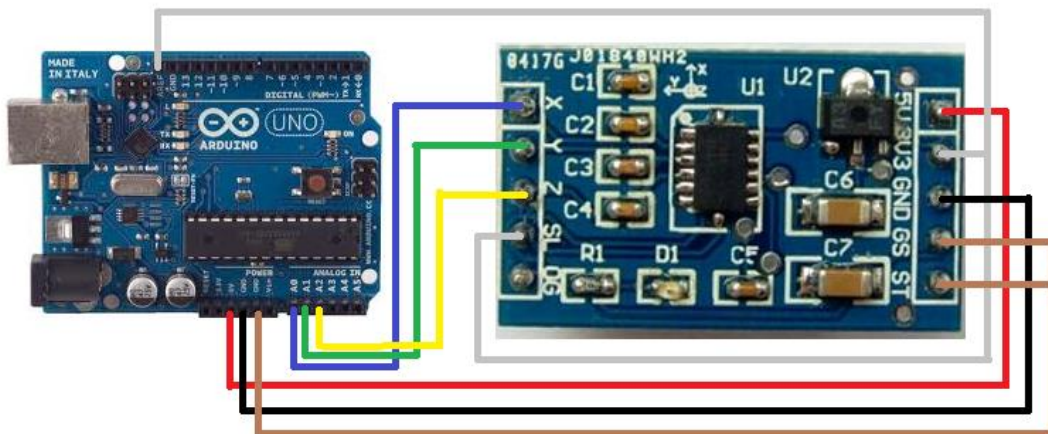


Figura 30-1: Conexión Sensor-Arduino

Fuente: (Haro, 2015)

1.5.8 *Microprocesador ATMEGA328P*

Este es un microcontrolador de la firma Atmel (ahora adquirida por Microchip) y está basado en la arquitectura AVR. AVR es una arquitectura basada en RISC (Computadora con conjunto de instrucciones reducidas), la arquitectura de un microprocesador o microcontrolador detalla la estructura interna del mismo y como se conforma la distribución, acceso y control de los diversos bloques que componen al microcontrolador (Sebastian, 2010).

La disposición de pines del encapsulado será la siguiente:

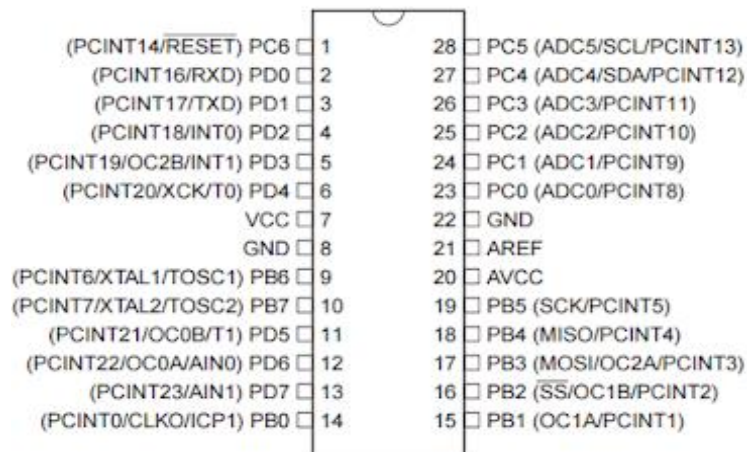


Figura 31-1: Disposición de pines del ATMEGA328P

Fuente: (Sebastian, 2010)

Tabla 1-1: Especificaciones Técnicas del microcontrolador ATMEGA328P

Microcontroller	ATMEGA328P
Operating voltaje	5v
Digital I/O pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O	6
Analog input pins	6
DC current per I/O pin	20 mA
Flash memory	32 KB (ATMEGA328P) of which 0.5 KB used by bootloader
Sram	2 KB (ATMEGA328P)
EEPROM	1 KB (ATMEGA328P)
Clock speed	16 MHz

Fuente: (Autores, 2018)

Realizado por: Cristian Velásquez, 2018

El aspecto físico del mismo será el siguiente

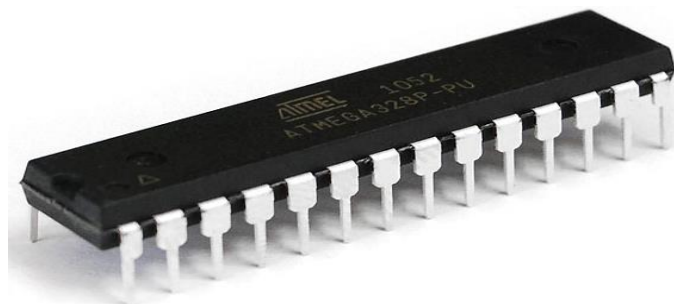


Figura 32-1: Microprocesador ATMEGA328P

Fuente: (Sebastian, 2010)

1.5.9 Convertidor de voltaje LM2596

Esta fuente se trata de una (Fuente Switching) del tipo DC/DC (ingresa DC y egresa DC) en nuestro caso sea del tipo Step-Down o Buck Converter, que quiere decir que será una fuente reductora (Sebastian, 2010).

Basa su funcionamiento en base al integrado LM2596-adj el cual se encarga de todo el proceso de Switcheo de la bobina o choque, que gracias a ella se logra generar la acción de reducir la tensión, aunque en algunos casos también se puede utilizar como elevador (Boost o Step-Up) (Sebastian, 2010).

La teoría de funcionamiento es que necesitamos encender y apagar rápidamente la bobina (Switchear) para que logre generar una diferencia de tensión respecto a la aplicada en bornes, claro que se estarán imaginando que la bobina genera un pico mucho mayor al de la fuente aplicada a sus bornes al quitarle la tensión (esto es porque la bobina tiende a mantener la carga inductiva en la misma y se rehúsa a que le quitemos la alimentación), dependiendo de la velocidad con la que le quitemos esta tensión y se la volvamos a restablecer, será la energía que nos entregara (Sebastian, 2010).

Estos tiempos están ligados a la frecuencia del transistor de potencia interno del LM2596-adj que suelen estar alrededor de los 150kHz, pero podríamos variar este valor y tendríamos que variar también la cantidad de espiras y núcleo de la bobina en cuestión (Sebastian, 2010).

Algunas especificaciones.

- Topología del tipo Buck Converter
- Tensión de entrada entre 4V y 40V de corriente continua
- Tensión de salida entre 1.25V y 37V de corriente continua
- Corriente de salida estable en 2A
- Corriente de salida máxima inestable en 3A
- Tensión de rizado (Ripple) en 100mV
- Frecuencia de operación +/-150kHz
- Eficiencia de conversión al rededor del 87%

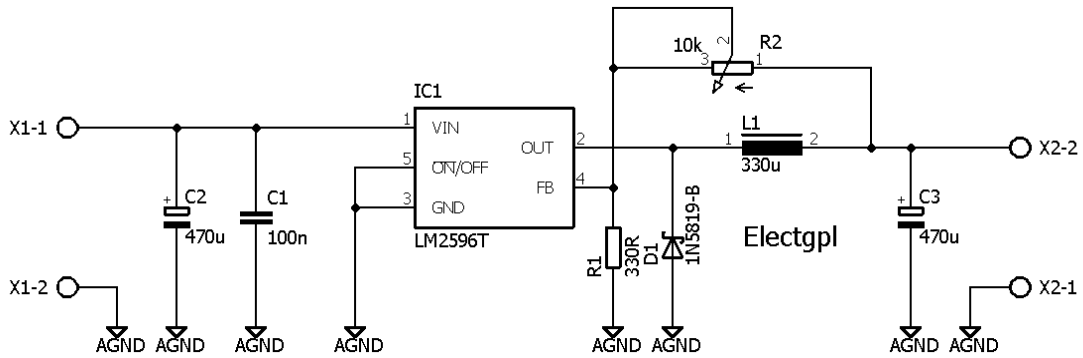


Figura 33-1: Convertidor de voltaje LM2596

Fuente: (Sebastian, 2010)

1.5.10 Transceptor NRF24L01

El NRF24L01+ es un circuito altamente integrado, de ultra bajo consumo (ULP), transceptor de RF de 2Mbps para la banda ISM de 2,4 GHz (Industrial, Scientific and Medical). Con corrientes inferiores a 14 mA, administración avanzada de energía, y una gama de alimentación de 1,9 a 3,6 V, el NRF24L01 ofrece una solución que permite una duración verdadera de meses a años de duración de la batería cuando se ejecuta con pilas de botón o AA / AAA (Orlando, 2015).

El NRF24L01 integra un transceptor RF de 2,4 GHz que soporta una interfaz SPI de alta velocidad para el controlador de la aplicación. No se requieren filtros externos, resonadores, o diodos VCO (Orlando, 2015).

Características del módulo NRF24L01.

- 2,4 GHz GFSK RF transceptor IC
- Operación en la banda ISM de 2,4 GHz sin licencia en todo el mundo
- 1 Mbps y 2 Mbps de velocidad de datos en el aire
- Enhanced ShockBurst™ protocolo hardware acelerador
- Bajo consumo de energía – meses o años de vida de la batería
- Compatible con todas las Series nRF24L Nordic en 1 y el modo 2 Mbps
- Compatible con nRF24E Nordic y nRF240 Series en el modo de 1Mbps

Esquema de conexión NRF24101

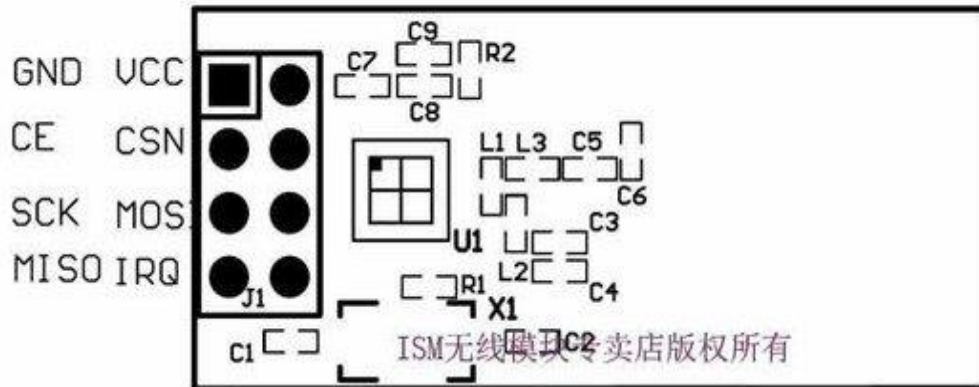


Figura 34-1: Esquema NRF24L01

Fuente: (Orlando, 2015)

Tabla 2-1: Conexión del NRF24L01 con Arduino

Arduino Uno	NRF24LO+
3.3 v	VCC
GND	GND
Pin digital #12	MISO
Pin digital #11	MOSI
Pin digital #13	SCK
Pin digital #8	CE
Pin digital #7	CSN

Fuente: (Autores, 2018)

Realizado por: Cristian Velásquez, 2018

1.5.11 Arduino Nano

El Arduino Nano es una pequeña y completa placa basada en el ATmega328 (Arduino Nano 3.0) o el ATmega168 en sus versiones anteriores (Arduino Nano 2.x) que se usa conectándola a una protoboard. Tiene más o menos la misma funcionalidad que el

Arduino Duemilanove, pero con una presentación diferente. No posee conector para alimentación externa, y funciona con un cable USB Mini-B (ElectroniClab, 2012).

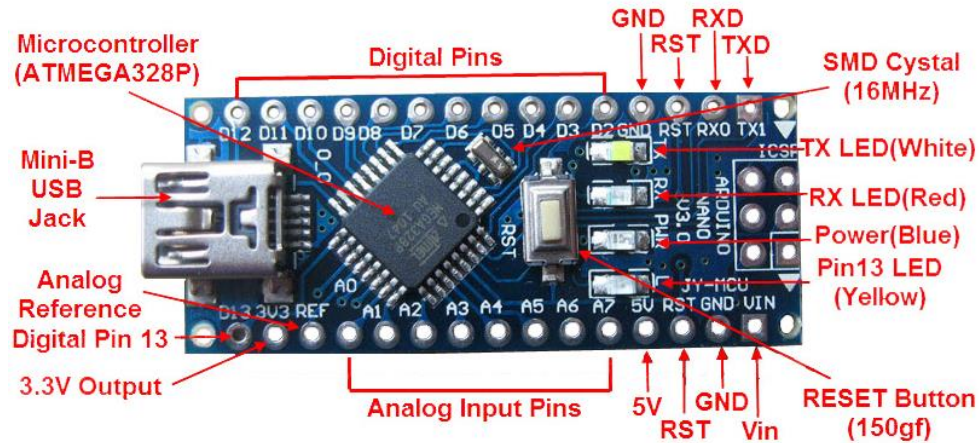


Figura 35-1: Arduino Nano

Fuente: (ElectroniClab, 2012)

Características

- Microcontrolador: ATmega328 (ATmega168 versiones anteriores)
- Tensión de operación (nivel lógico): 5 V
- Tensión de entrada (recomendado): 7-12 V
- Tensión de entrada (límites): 6-20 V
- Pines E/S digitales: 14 (de los cuales 6 proveen de salida PWM)
- Entradas analógicas: 8 corriente máxima por cada PIN de E/S: 40 mA
- Memoria flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 2KB son usados por el bootloader (16 KB – ATmega168)
- SRAM: 2 KB (ATmega328) (1 KB ATmega168)
- EEPROM: 1 KB (ATmega328) (512 bytes – ATmega168)
- Frecuencia de reloj: 16 MHz
- Dimensiones: 18,5mm x 43,2mm

Energía

El Arduino Nano posee selección automática de la fuente de alimentación y puede ser alimentado a través de:

- Una conexión Mini-B USB.
- Una fuente de alimentación no regulada de 6-20V
- Una fuente de alimentación regulada de 5V

El software Arduino incluye un monitor serial que permite visualizar en forma de texto los datos enviados desde y hacia la placa Arduino. Los LED RX y TX en la placa parpadearán cuando los datos se estén enviando a través del chip FTDI y la conexión USB con el PC, pero no para la comunicación directa a través de los pines 0 y 1 (Electroniclab, 2012).

Cada uno de los 14 pines digitales del Nano puede ser usado como entrada o salida, usando las funciones `pinMode()`, `digitalWrite()`, y `digitalRead()`. Operan a 5 voltios. Cada pin puede proveer o recibir un máximo de 40mA y poseen una resistencia de pull-up (desconectada por defecto) de 20 a 50 Kohm. Además, algunos pines poseen funciones especializadas (Electroniclab, 2012):

- Serial: 0 (RX) y 1 (TX). (RX) usado para recibir y (TX) usado para transmitir datos TTL
- Interrupciones Externas: pines 2 y 3. Estos pines pueden ser configurados para activar una interrupción por paso a nivel bajo, por flanco de bajada o flanco de subida, o por un cambio de valor.
- PWM: pines 3, 5, 6, 9, 10, y 11. Proveen de una salida PWM de 8-bits cuando se usa la función `analogWrite`.
- SPI: pines 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Estos pines soportan la comunicación SPI, la cual, a pesar de poseer el hardware, no está actualmente soportada en el lenguaje Arduino.
- LED: Pin 13. Existe un LED conectado al pin digital 13. Cuando el pin se encuentra en nivel alto, el LED está encendido, cuando el pin está a nivel bajo, el LED estará apagado.

El nano posee 8 entradas analógicas, cada una de ellas proveen de 10 bits de resolución (1024 valores diferentes). Por defecto miden entre 5 voltios y masa, sin embargo, es posible cambiar el rango superior usando la función `analogReference` (patagoniatec, 2013).

Diagrama de pines

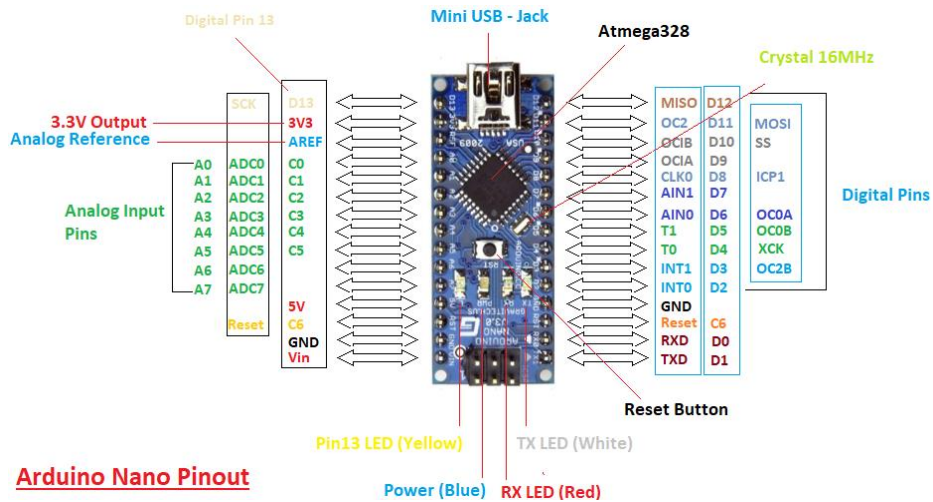


Figura 36-1: diagrama de pines “Arduino Nano”

Fuente: (Electronclab, 2012)

1.5.12 LCD “16x2”

El LCD (Liquid Crystal Display) o pantalla de cristal líquido es un dispositivo empleado para la visualización de contenidos o información de una forma gráfica, mediante caracteres, símbolos o pequeños dibujos dependiendo del modelo. Está gobernado por un microcontrolador el cual dirige todo su funcionamiento (todoelectrodo, 2013).

En este caso vamos a emplear un LCD de 16x2, esto quiere decir que dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una. Los píxeles de cada símbolo o carácter varían en función de cada modelo (todoelectrodo, 2013).

Pines del LCD

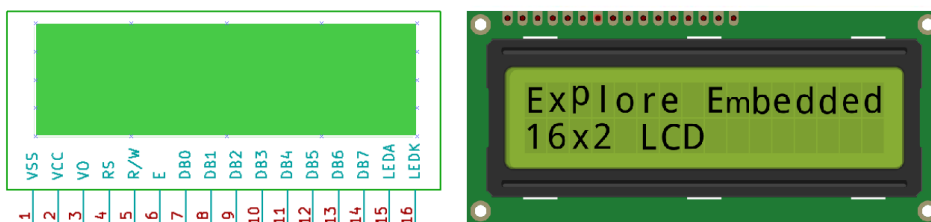


Figura 37-1: LCD “Pines”

Fuente: (todoelectrodo, 2013)

Tabla 3-1: Diagrama de pines de una pantalla LCD “16x2”

Numero de pin	Símbolo	Función
1	VSS	Gnd
2	VCC	5 voltios
3	VO	corresponde al pin de contraste.
4	RS	Corresponde al pin de selección de registro de control de datos (0) o registro de datos (1). Es decir, el pin RS funciona paralelamente a los pines del bus de datos. Cuando RS es 0 el dato presente en el bus pertenece a un registro de control/instrucción. y cuando RS es 1 el dato presente en el bus de datos pertenece a un registro de datos o un carácter.
5	R/W	Corresponde al pin de Escritura (0) o de Lectura (1). Nos permite escribir un dato en la pantalla o leer un dato desde la pantalla
6	E	Corresponde al pin Enable o de habilitación. Si E (0) esto quiere decir que el LCD no está activado para recibir datos, pero si E (1) se encuentra activo y podemos escribir o leer desde el LCD
7	DB0	Bit de datos 0
8	DB1	Bit de datos 1
9	DB2	Bit de datos 2
10	DB3	Bit de datos 3
11	DB4	Bit de datos 4
12	DB5	Bit de datos 5
13	DB6	Bit de datos 6
14	DB7	Bit de datos 7
15	LED A	Ánodo de retroiluminación (+)
16	LED K	Cátodo de luz de fondo (-)

Fuente: (todoelectrodo, 2013)

Realizado por: Cristian Velásquez, 2018

DDRAM y CGROM

La memoria DDRAM (Data Display RAM): corresponde a una zona de memoria donde se almacenan los caracteres que se van a representar en pantalla. Es decir, es la memoria donde se almacenan los caracteres a mostrar con su correspondiente posición (todoelectrodo, 2013).

La memoria CGROM es una memoria interna donde se almacena una tabla con los caracteres que podemos visualizar en el LCD. En la imagen podemos ver un ejemplo de la tabla con un contenido de 192 caracteres (todoelectrodo, 2013).

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Diseño metodológico:

2.1.1 *Tipo de investigación*

Según el problema propuesto y los objetivos planteados, el tipo de investigación que se realizó determina un estudio aplicado, de tipo experimental, de acuerdo con al tipo de datos que se recopilan; y transversal de acuerdo con el periodo y ocurrencia de los hechos.

APLICADA

Se considera una investigación aplicada porque se pretendió determinar el comportamiento de los sistemas de suspensión de los vehículos mediante métodos matemáticos.

EXPERIMENTAL

Se considera experimental por que los valores de las constantes se obtuvieron, realizando mediciones de los diferentes elementos involucrados en el estudio.

TRANSVERSAL

Se considera transversal por que el estudio se realizó en un momento determinado, como si se detuviera el tiempo para su estudio, de este modo se pudo observar los valores de los elementos de la suspensión.

2.1.2 *Población y Muestra*

2.1.2.1 *Población*

La población está constituida por las personas que hacen uso de vehículos para movilizarse, tanto conductores como pasajeros.

2.1.2.2 *Muestra*

Por falta de una base de datos adecuada sobre el tipo de vehículos que circulan en la ciudad de Riobamba. La muestra quedó constituida por 60 conductores ecuatorianos de la ciudad de Riobamba, pertenecientes a ambos sexos.

2.1.2.3 *Unidad de Muestreo*

La unidad de muestreo estuvo conformada por cada una de las personas que integraron la muestra del presente trabajo.

2.1.2.4 *Unidad de análisis*

La unidad de análisis fueron las encuestas de todas las personas que integraron la muestra del presente trabajo.

2.1.2.5 *Tipo de Muestreo*

El método de selección de muestra fue por muestra no probabilístico, de tipo intencional o por conveniencia.

No probabilístico: Debido a que el proceso no les brinda a todos los individuos [de la población] la misma oportunidad de ser seleccionados.

Tipo intencional o por conveniencia: Debido a que la muestra se selecciona en base al propósito del estudio.

2.1.3 Método de recolección de información

2.1.3.1 Procedimiento para la selección de la muestra

- Estado de salud aceptable
- Ser conductor activo

2.1.4 Estructura del instrumento

El instrumento que se utilizó en el presente trabajo fue una encuesta donde se registran los datos del conductor y los problemas que causa su vehículo al momento de conducir largas distancias.

Ficha para la recolección de datos:

- Tipo de conductor
- Tipo de vehículo
- Tipo de molestias
- Tipo carretera

Molestias al conducir

Esta encuesta nos ayudará a cuantificar y cualificar las molestias perceptivas al conducir vehículos por largos periodos como por ejemplo dolor de espalda, cansancio visual, dolor de cuello entre otros

* Required

1. TIPO DE CONDUCTOR *

Mark only one oval.

- HOMBRE
- MUJER
- MUJER EN ESTADO DE GESTACION

2. Ha sentido molestias al conducir su vehículo *

Mark only one oval.

- Sí Skip to question 3.
- No Stop filling out this form.

Tipo de Vehículo

3. Que vehículo Tiene *

Mark only one oval.

- Vitara
- Grand Vitara 5p
- Grand Vitara SZ
- Sail
- Tucson
- Otros Skip to question 4.

Gráfico 1-2: Encuesta

Fuente: (Autores, 2018)

2.1.5 Método de procesamiento y análisis estadístico

Se aplicaron métodos, instrumentos y procedimientos de acuerdo con lo siguiente:

- Elaboración de una base de datos
- Revisión de los datos obtenidos
- Tabulación
- Presentación gráfica

Análisis estadístico

Tipo de conductores

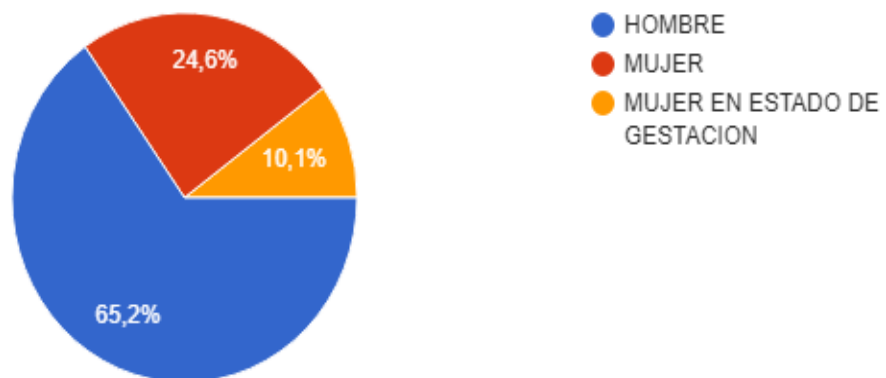


Gráfico 2-2: Tipo de conductores

Fuente: (Autores, 2018)

Interpretación: Según la información del gráfico 2-2 se puede constatar que, durante la aplicación de las entrevistas realizadas, los conductores de vehículos en su mayoría son hombres, quizá esto obedece a que en medio donde se realizaron las encuesta la mayor parte de personas son del sexo masculino.

¿Ha sentido molestias al conducir su vehículo?

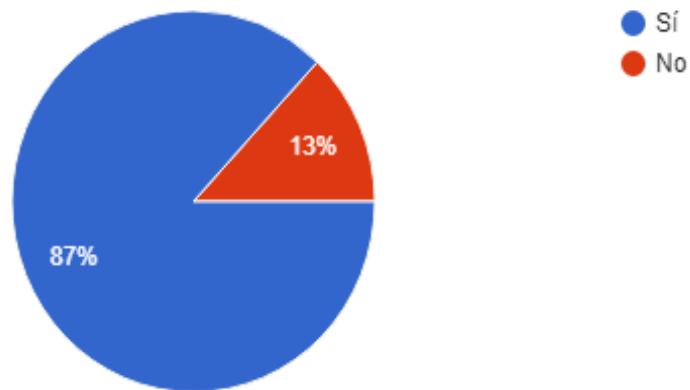


Gráfico 3-2: Tipo de molestias

Fuente: (Autores, 2018)

Interpretación: Según la información del gráfico 3-2 se puede afirmar, que la mayoría de los conductores han sentido alguna molestia al momento de conducir, los diferentes tipos de vehículos en diferentes condiciones.

¿Qué vehículo tiene?

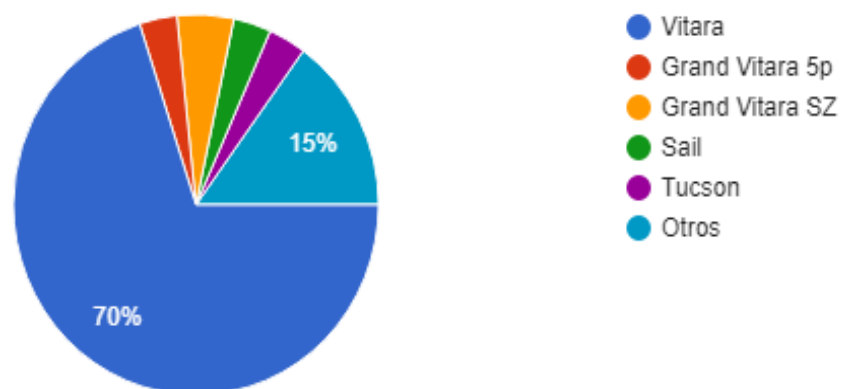


Gráfico 4-2: Tipo de vehículo

Fuente: (Autores, 2018)

Interpretación: Según la información del gráfico 4-2 se puede constatar, que durante la aplicación de las entrevistas realizadas a los conductores de vehículos, la mayoría de los conductores poseen un vitara, quizá esto obedece a que en medio donde se realizaron las encuesta la mayor parte de personas son propietarios de vitaras.

Molestias vitara

¿En qué tipo de carreteras ha sentido molestias?

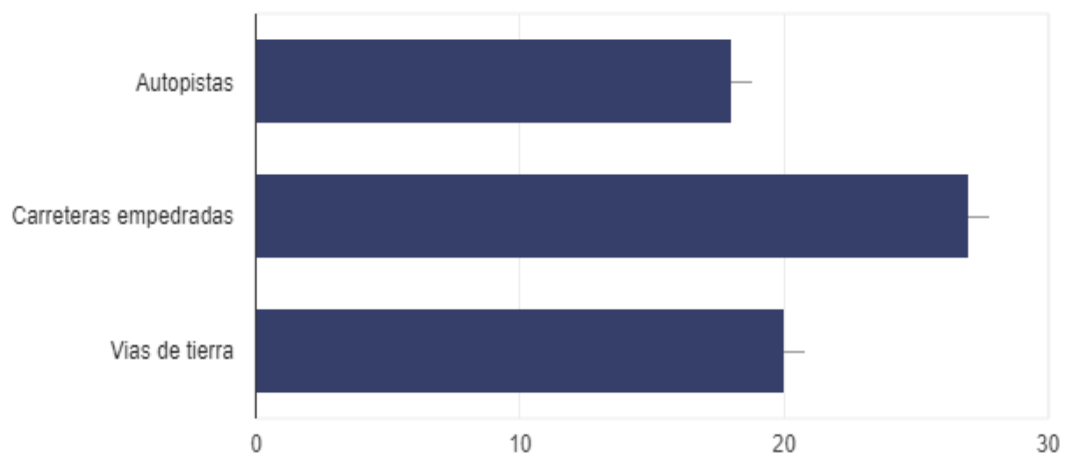


Gráfico 5-2: Tipo de carretera “Vitara”

Fuente: (Autores, 2018)

¿Después de que tiempo de manejo ha sentido molestias?

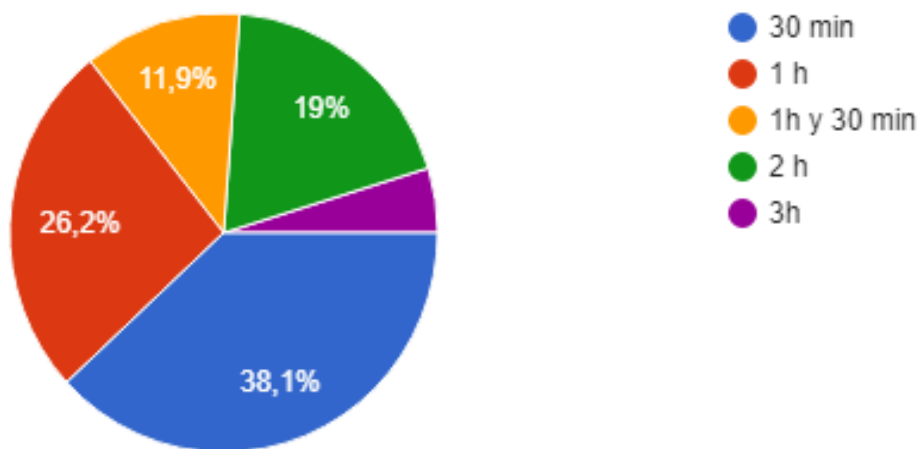


Gráfico 6-2: Tiempo de manejo “Vitara”

Fuente: (Autores, 2018)

¿Qué clase de molestias ha sentido?

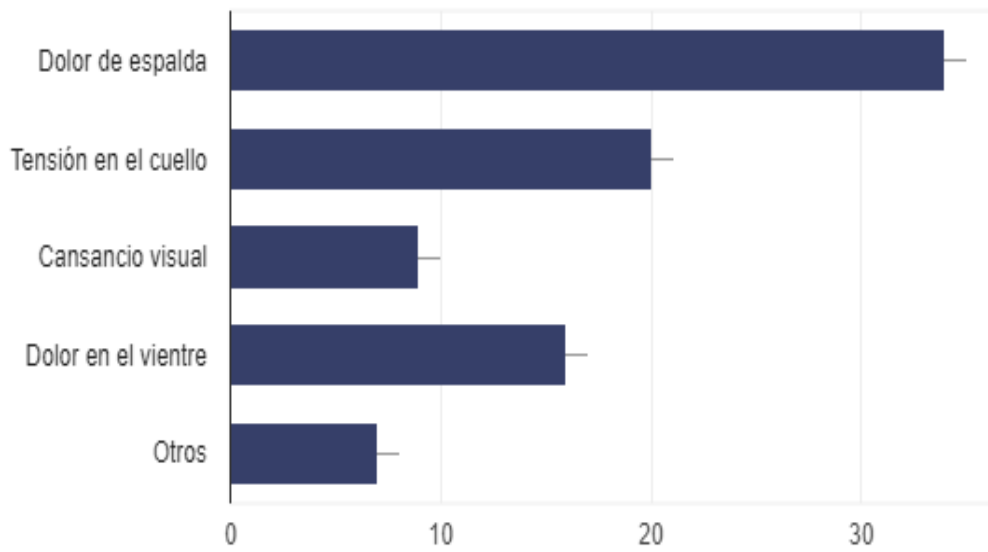


Gráfico 7-2: Clase de molestias “Vitara”

Fuente: (Autores, 2018)

Molestias Grand Vitara 5p

¿En qué tipo de carreteras ha sentido molestias?

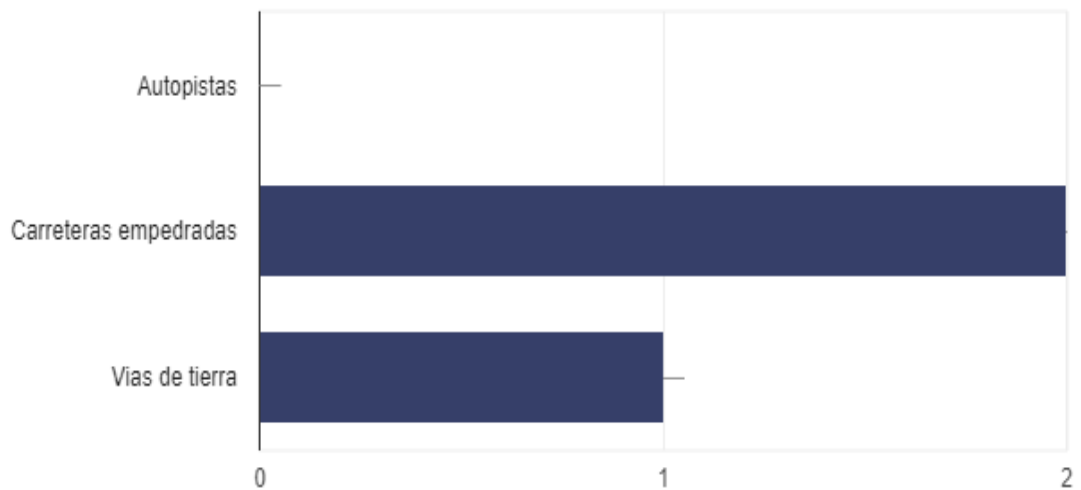


Gráfico 8-2: Tipo de carretera “Grand Vitara 5P”

Fuente: (Autores, 2018)

¿Después de que tiempo de manejo ha sentido molestias?

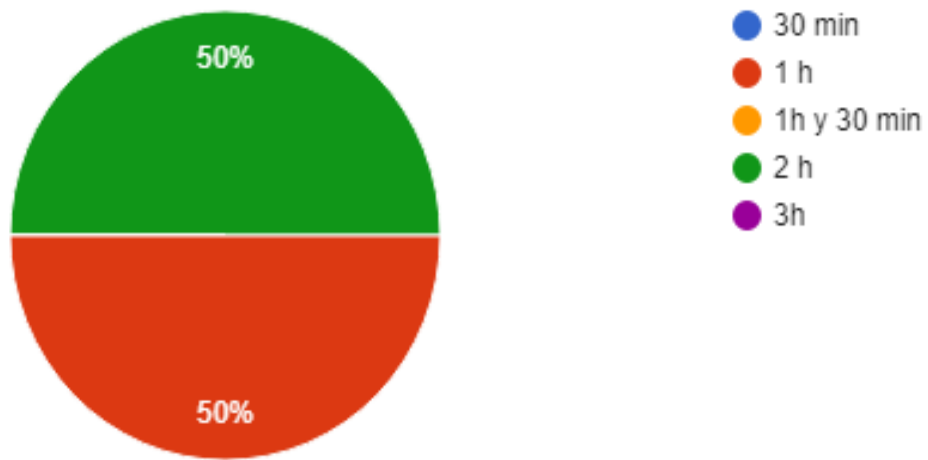


Gráfico 9-2: Tiempo de manejo “Grand Vitara 5P”

Fuente: (Autores, 2018)

¿Qué clase de molestia ha sentido?

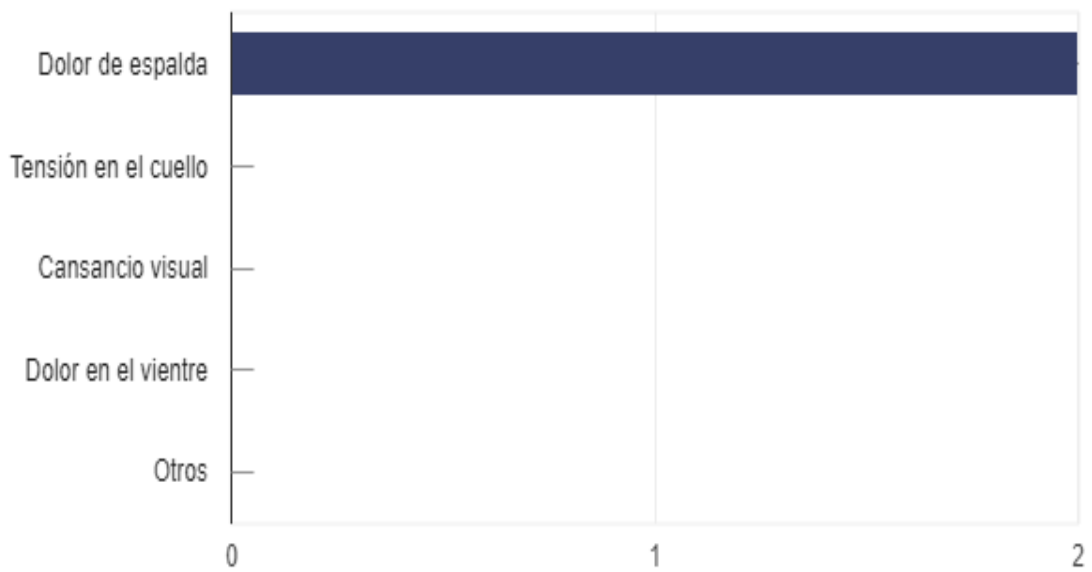


Gráfico 10-2: Clase de molestias “Grand Vitara 5P”

Fuente: (Autores, 2018)

Molestias Grand Vitara SZ

¿En qué tipo de carreteras ha sentido molestias?

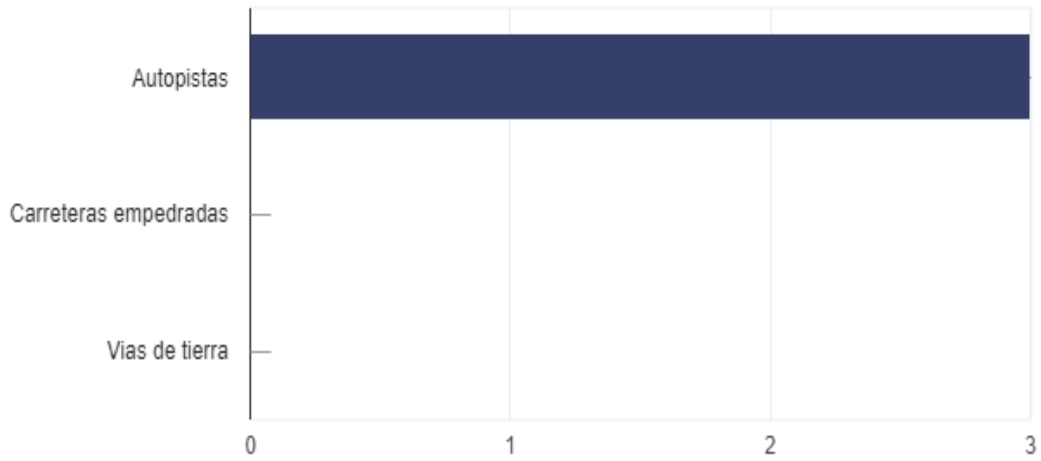


Gráfico 11-2: Tipo de carretera “Vitara SZ”

Fuente: (Autores, 2018)

¿Después de que tiempo de manejo ha sentido molestias?

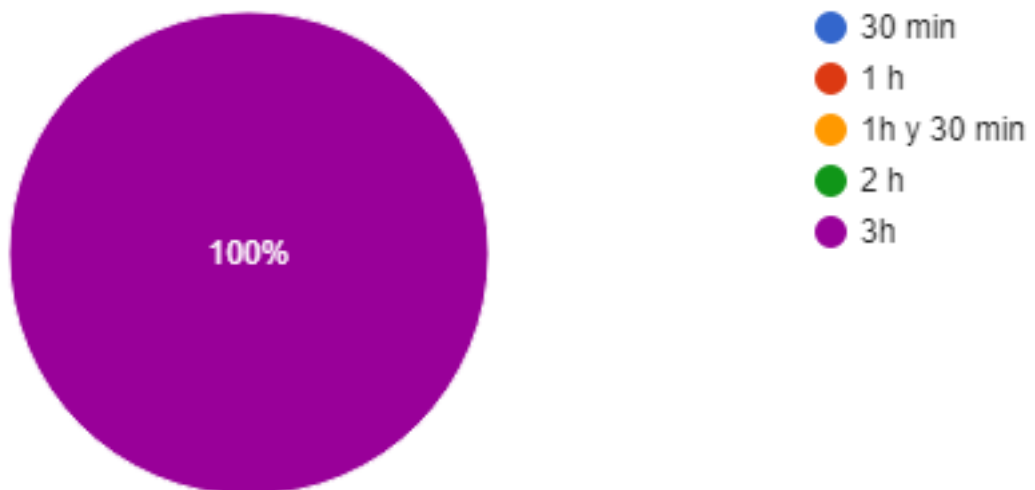


Gráfico 12-2: Tiempo de manejo “Vitara SZ”

Fuente: (Autores, 2018)

¿Qué clase de molestias ha sentido?

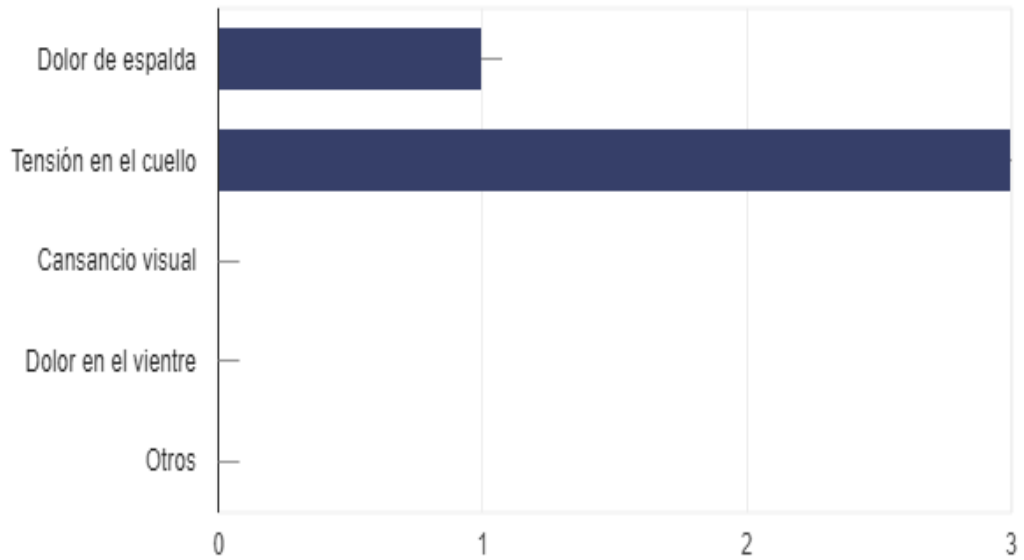


Gráfico 13-2: Clase de molestias “Vitara SZ”

Fuente: (Autores, 2018)

Molestias Chevrolet Sail

¿En qué tipo de carreteras ha sentido molestias?



Gráfico 14-2: Tipo de carretera “Chevrolet Sail”

Fuente: (Autores, 2018)

¿Después de que tiempo de manejo ha sentido molestias?

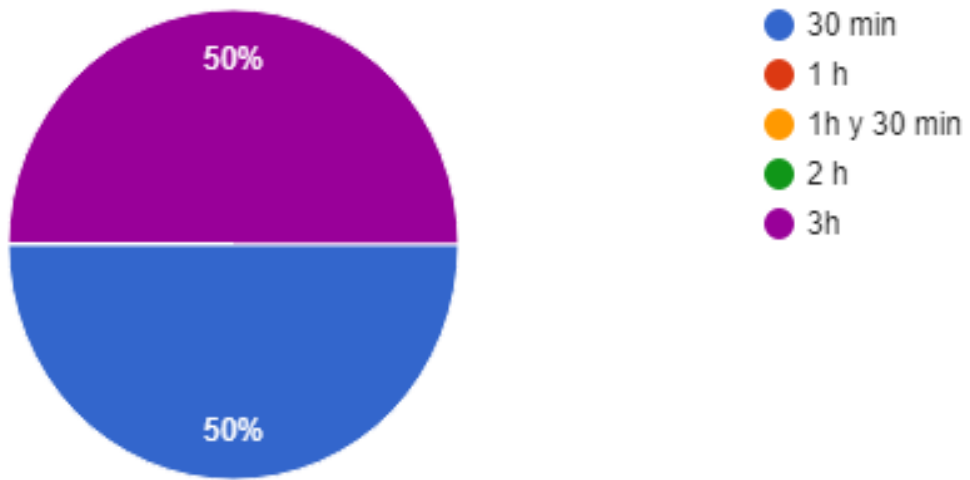


Gráfico 15-2: Tiempo de manejo “Chevrolet Sail”

Fuente: (Autores, 2018)

¿Qué clase de molestias ha sentido?

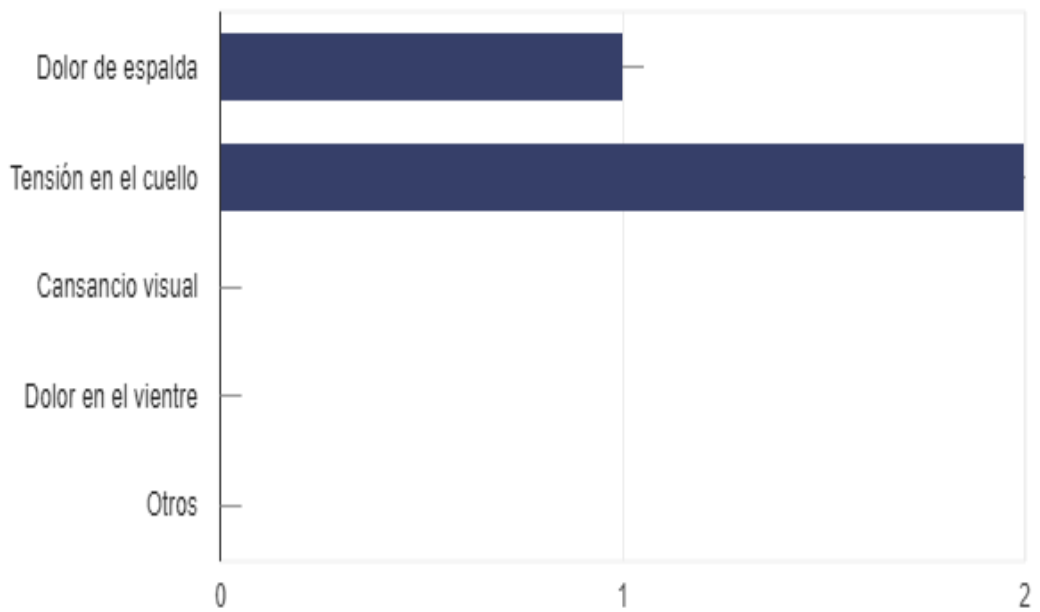


Gráfico 16-2: Clase de molestias “Chevrolet Sail”

Fuente: (Autores, 2018)

Molestias Hyundai Tucson

¿En qué tipo de carreteras ha sentido molestias?

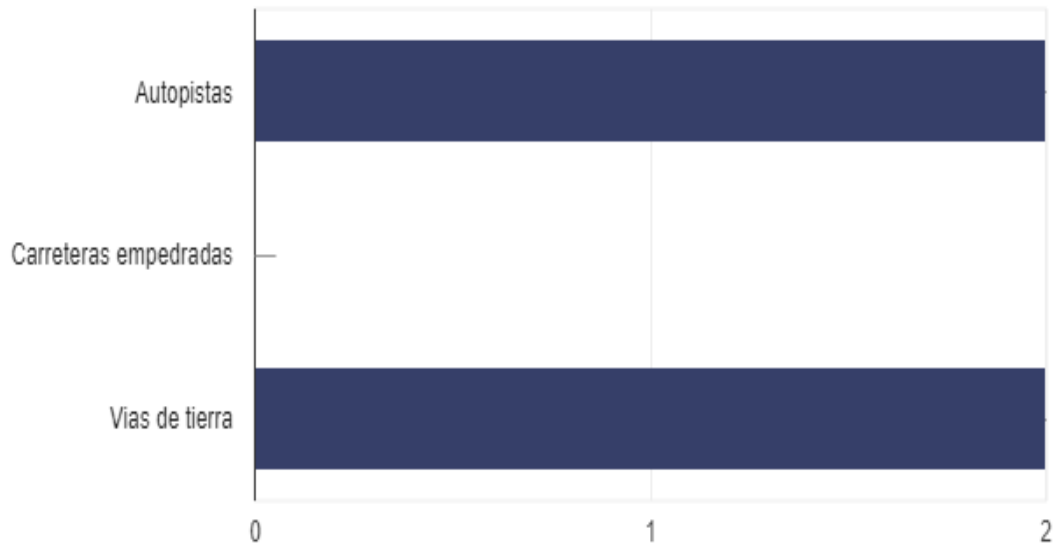


Gráfico 17-2: Tipo de carretera “Tucson”

Fuente: (Autores, 2018)

¿Después de que tiempo de manejo ha sentido molestias?

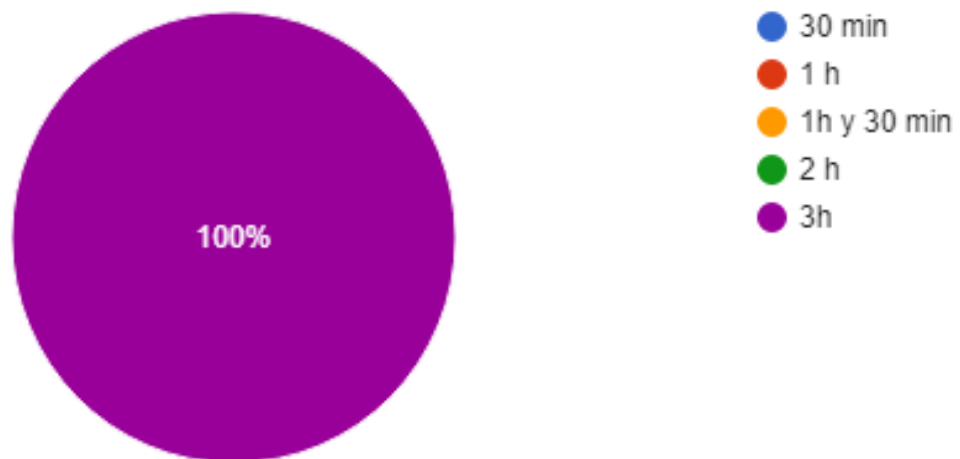


Gráfico 18-2: Tiempo de manejo “Tucson”

Fuente: (Autores, 2018)

¿Qué clase de molestias ha sentido?



Gráfico 19-2: Clase de molestias “Tucson”

Fuente: (Autores, 2018)

Molestias Otros

¿En qué tipo de carreteras ha sentido molestias?

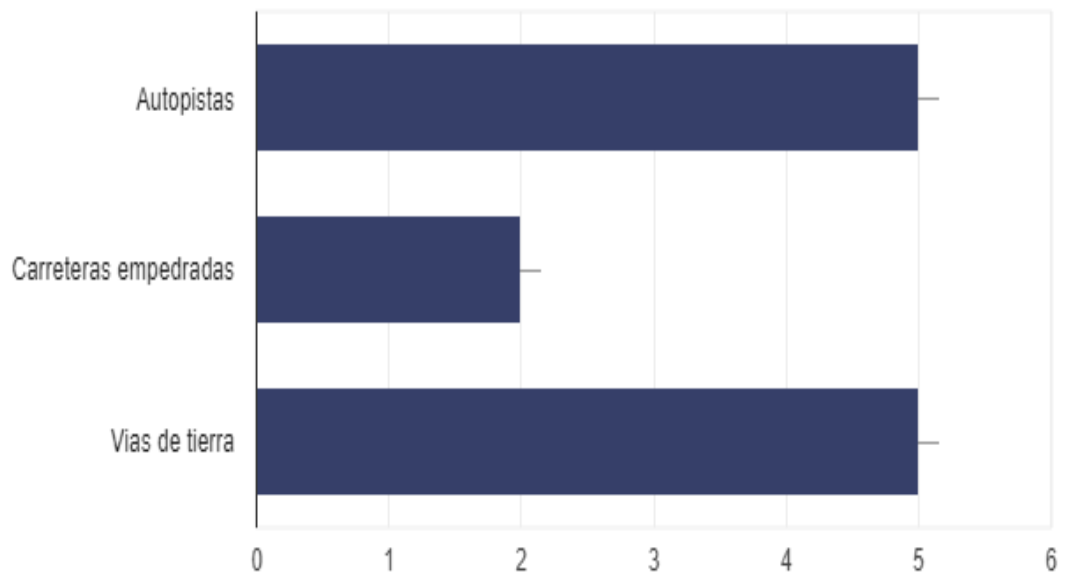


Gráfico 20-2: Tipo de carretera “Otros”

Fuente: (Autores, 2018)

¿Después de que tiempo de manejo ha sentido molestias?

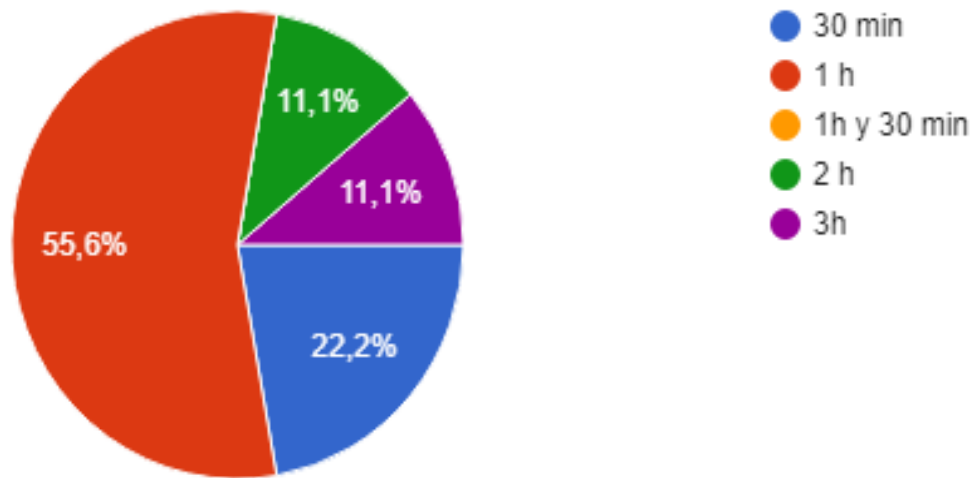


Gráfico 21-2: Tiempo de manejo “Otros”

Fuente: (Autores, 2018)

¿Qué clase de molestias ha sentido?

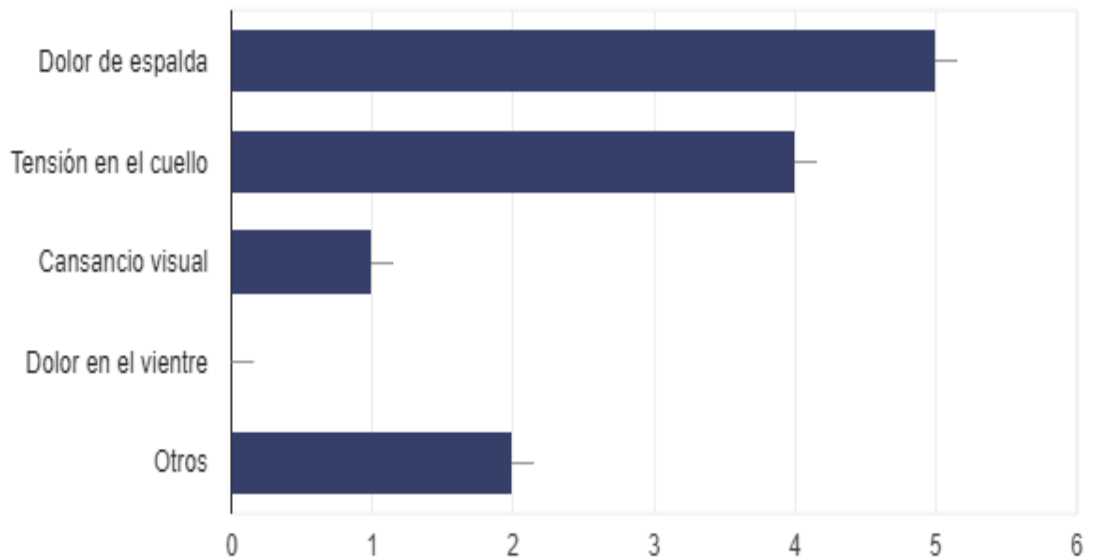


Gráfico 22-2: Clase de molestias “Otros”

Fuente: (Autores, 2018)

2.1.6 Procedimiento

El proceso de investigación tuvo las siguientes etapas:

Primera etapa: Se aplicaron un total de 60 encuestas, a conductores activos de ambos sexos sobre la inconformidad o afección que produce el sistema de suspensión de sus vehículos.

Para que el estudio pueda reflejar una apreciación más cercana a la realidad, se realizaron las preguntas más relevantes que abarcan la situación diaria de los conductores.

Se ocuparon como herramientas de análisis; hojas de verificación, análisis de promedios y porcentuales, histogramas y análisis estadístico.

Segunda etapa: Se realizó el cálculo de, constantes y un esquema del automóvil a ser estudiado, para poder identificar las variables y ecuaciones.

Calculo de constantes de elasticidad



Figura 1-2: Cálculo de las constantes de elasticidad

Realizado por: (Autores, 2018)

Para la obtención de las constantes de elasticidad de los espirales delantero y traseros realizamos pruebas de laboratorio mediante prensas hidráulicas en las cuales, se determinó la fuerza aplicada

y distancia que se comprime el espiral. La representación matemática de espirales y del neumático la obtenemos mediante la ley de Hooke

$$\vec{F}_K = -\vec{K} x$$

Por la deformación unidimensional se utiliza de forma escalar.

Constante del espiral delantero

$$F = K_t \times x$$

$$K_t = \frac{F}{x}$$

$$F = 2497N$$

$$x = 0.05m$$

(1)

$$K_t = \frac{2497 N}{0.05m}$$

$$K_t = 49940 Nm^{-1}$$

Constante del espiral trasero

$$F = K_d \times x$$

$$K_d = \frac{F}{x}$$

$$F = 1810 N$$

$$x = 0.09m$$

(2)

$$K_d = \frac{1810 N}{0.09m}$$

$$K_d = 20111,1111 Nm^{-1}$$

Constante del Neumático

$$F = K_n \times x$$

$$K_n = \frac{F}{x}$$

$$F = 63916 \text{ N}$$

$$x = 0.04\text{m}$$

$$K_n = \frac{63916 \text{ N}}{0.04\text{m}}$$

$$K_n = 1597900 \text{ Nm}^{-1}$$
(3)

Esquema del vehículo

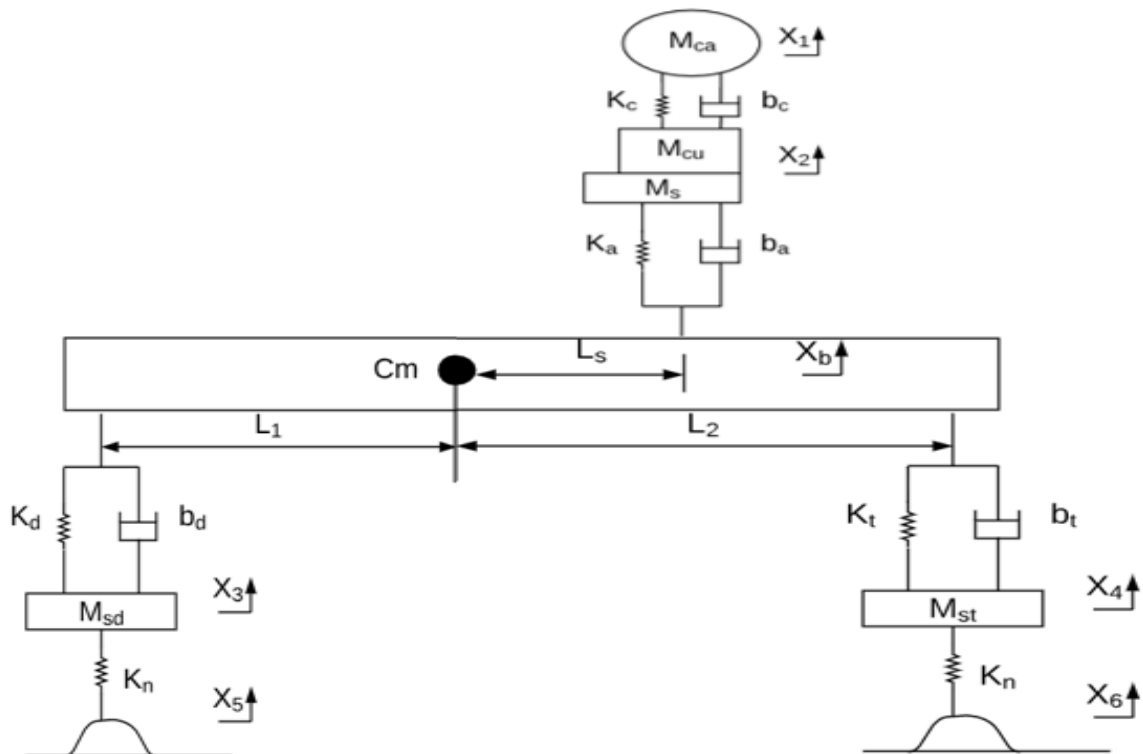


Gráfico 23-2: Esquema del vehículo “VITARA”

Fuente: (Autores, 2018)

Las constantes que necesarias para la programación en Matlab se obtuvieron mediante cálculos y equipos específicos necesarios, para realizar algunas mediciones dichas constantes están plasmadas en la siguiente tabla.

Tabla 1-2 Constantes utilizados para la programación en Matlab

Parámetros	Simbología	Valores
Masa de la cabeza	M_{ca}	4.53 (Kg)
Coficiente de rigidez del cuello	K_c	45000 (Nm ⁻¹)
Coficiente de elasticidad del cuello	b_c	1360 (Nm ⁻¹ s)
Masa del cuerpo	M_{cu}	77.6 (Kg)
Masa del asiento	M_s	15 (Kg)
Coficiente de rigidez del asiento	K_a	20000 (Nm ⁻¹)
Coficiente de elasticidad del asiento	b_a	1650 (Nm ⁻¹ s)
Distancia del asiento al centro de gravedad	L_s	0.5211 (m)
Distancia del eje delantero al centro de gravedad	L_1	0.879 (m)
Distancia del eje trasero al centro de gravedad	L_2	1.291 (m)
Coficiente de rigidez espiral delantero y trasero	$K_d - K_t$	(49940_20111,11) (Nm ⁻¹)
Coficiente de elasticidad amortiguador delantero y trasero	$b_d - b_t$	(3000-3000) (Nm ⁻¹ s)
Masa de la suspensión delantera	M_{sd}	80 (Kg)
Masa de la suspensión trasera	M_{st}	40 (Kg)
Masa total del vehículo	M_b	1140 (Kg)
Coficiente de elasticidad del neumático	K_n	1597900 (Nm ⁻¹ s)

Fuente: (Autores, 2018)

Realizado por: Cristian Velásquez, 2018

Ecuaciones

Los valores de $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ y x_b corresponden a los desplazamientos de los diferentes elementos.

x_1 = Desplazamiento de la cabeza

x_2 = Desplazamiento del cuerpo

x_3 = Desplazamiento de la suspensión delantera

x_4 = Desplazamiento de la suspensión trasera

x_5 = Desplazamiento del neumático delantero

x_6 = Desplazamiento del neumático trasero

x_b = Desplazamiento de la barra

La velocidad y aceleración se representará de la siguiente manera.

$$\frac{dx_1}{dt} = \dot{x}_1 \quad (4)$$

$$\frac{d^2x_1}{dt^2} = \ddot{x}_1 \quad (5)$$

La representación matemática de espíales y amortiguadores la obtenemos mediante la ley de Hooke y ley de Viscosidad de Newton respectivamente.

$$F_K = -K x \quad (6)$$

F_K es la fuerza del espiral, K es la constante de elasticidad y x es la variación de distancia.

$$F_b = -b \frac{dx}{dt} = -b\dot{x} \quad (7)$$

F_b es la fuerza del amortiguador b es la constante de viscosidad y \dot{x} es la variación de velocidad.

Para relación de magnitudes angulares y lineales tenemos.

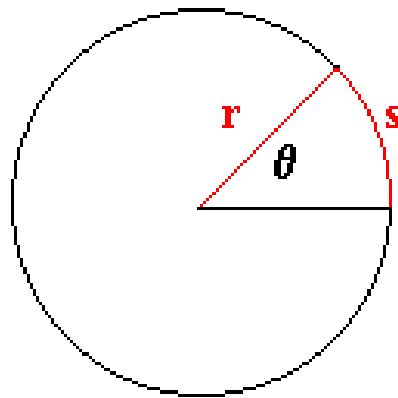


Gráfico 24-2: Desplazamiento angular

Fuente: (Autores, 2018)

$$\theta = \frac{s}{r} \quad (8)$$

Donde θ es el desplazamiento angular, r es el radio y s es el desplazamiento. Para nuestro estudio representaremos r con los valores de L_1 , L_2 y L_s respectivamente, los desplazamientos quedan expresados de la siguiente forma con respecto a la distancia del centro de gravedad.

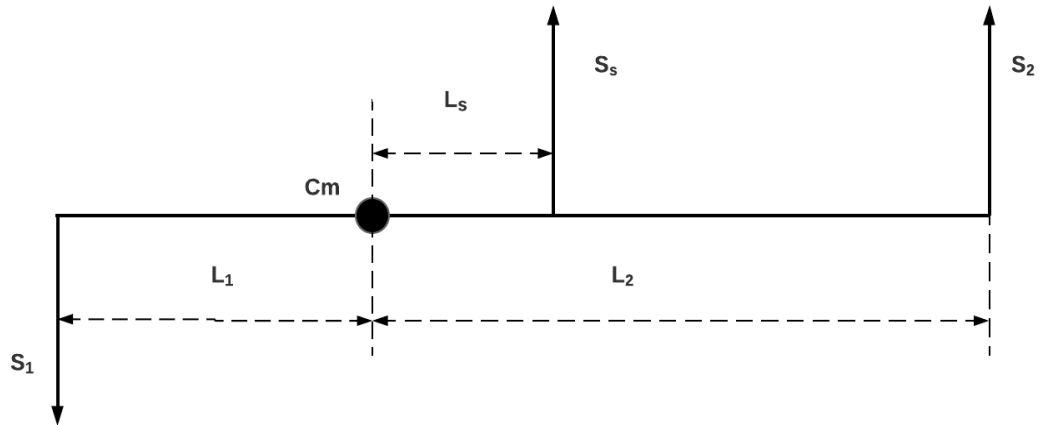


Gráfico 25-2: Diagrama de desplazamientos

Fuente: (Autores, 2018)

$$s_1 = \theta L_1 \quad (9)$$

$$s_2 = \theta L_2 \quad (10)$$

$$s_s = \theta L_s \quad (11)$$

Para sistemas en movimiento la segunda ley de Newton en el eje vertical y segunda ley de Newton para rotación establece que

$$\sum f_x = M a_x = M \ddot{x} \quad (12)$$

$$\sum T = I \alpha = I \ddot{\theta} \quad (13)$$

Donde M es la masa, \ddot{x} es la aceleración $\sum f_x$ es la sumatoria de las fuerzas que actúan sobre la masa, I es el momento de inercia $\ddot{\theta}$ es la aceleración angular $\sum T$ es la sumatoria de momentos que actúan sobre el cuerpo.

Ecuación de la cabeza

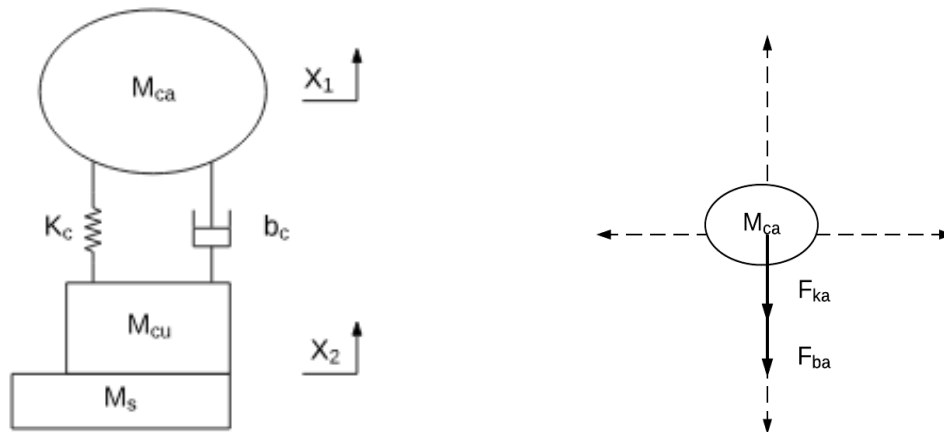


Gráfico 26-2: Diagrama de cuerpo libre de la cabeza

Fuente: (Autores, 2018)

Considerando que la cabeza se desplaza positivamente en sentido vertical, las fuerzas presentes tienen un sentido vertical negativo, aplicamos la segunda ley de Newton y tenemos la siguiente ecuación.

$$\begin{aligned} \sum f &= M_{ca}\ddot{x}_1 \\ -F_{kc} - F_{bc} &= M_{ca}\ddot{x}_1 \\ M_{ca}\ddot{x}_1 &= b_c(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + K_c(x_2 - x_1) \end{aligned} \quad (14)$$

Ecuación del asiento

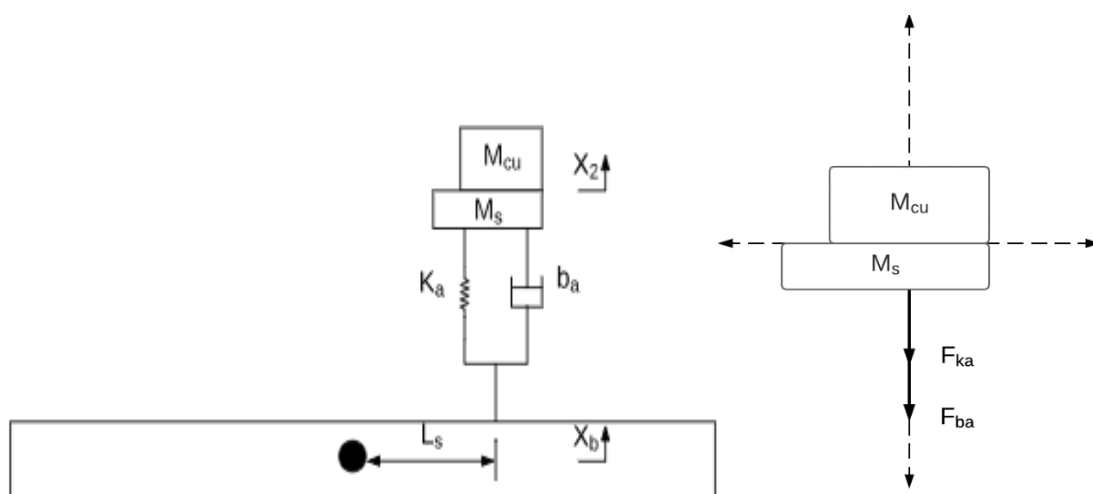


Gráfico 27-2: Diagrama de cuerpo libre del asiento

Fuente: (Autores, 2018)

En este caso se desplazan dos masas que se encuentran unidas, la masa del asiento y la del cuerpo las mismas se desplaza verticalmente de manera positiva y las fuerzas presentes tienen el sentido opuesto ha dicho movimiento, aplicando la segunda ley de Newton y reemplazando las fuerzas por sus equivalentes tenemos la siguiente ecuación.

$$\begin{aligned} \sum f &= (M_s + M_{cu})\ddot{x}_2 \\ -F_{ka} - F_{ba} &= (M_s + M_{cu})\ddot{x}_2 \quad (15) \\ (M_s + M_{cu})\ddot{x}_2 &= b_a(\dot{x}_b - \dot{x}_2 - L_s\dot{\theta}) + K_a(x_b - x_2 - L_s\theta) \end{aligned}$$

Ecuación del centro de gravedad

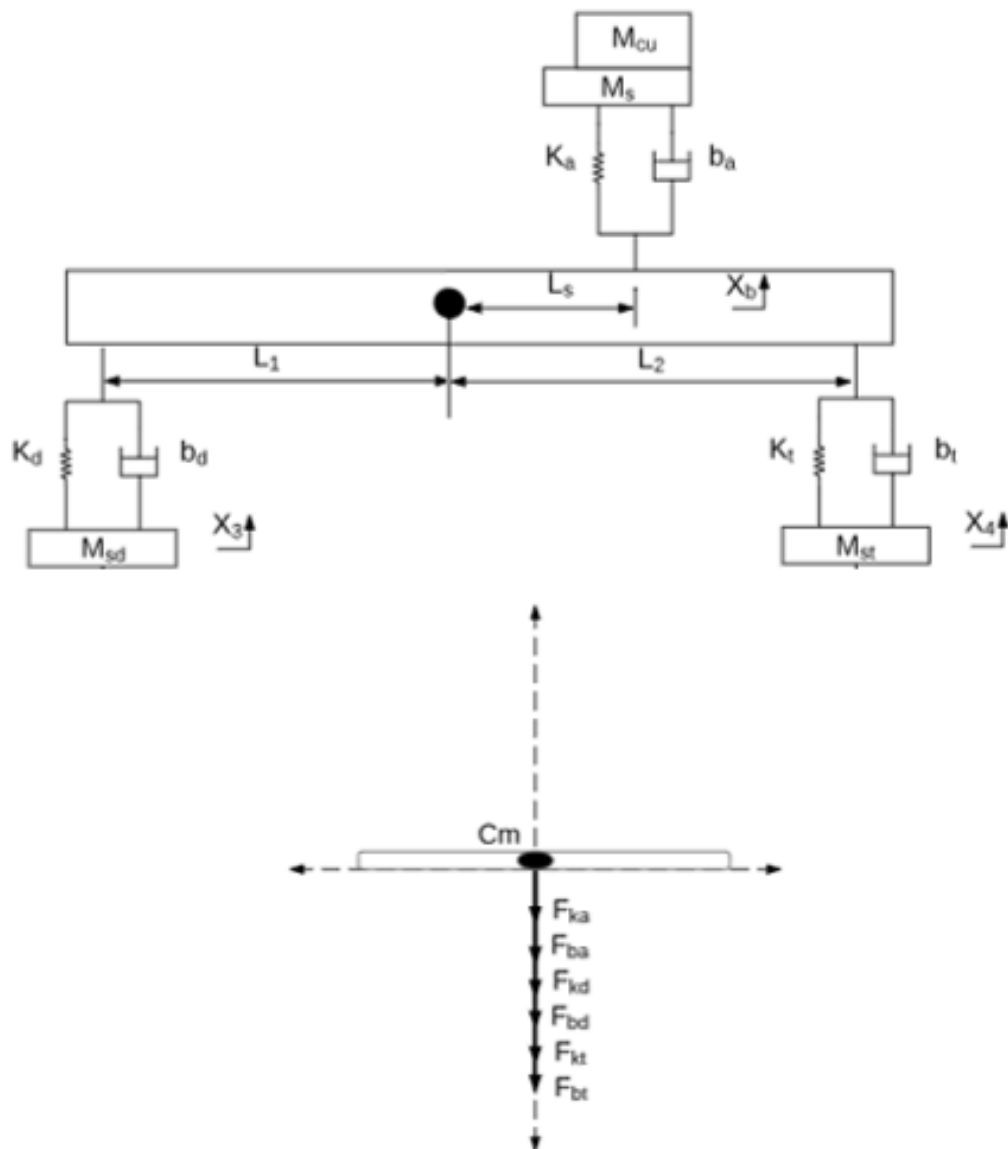


Gráfico 28-2: Diagrama de cuerpo libre del centro de gravedad

Fuente: (Autores, 2018)

Tomando en cuenta que el centro de gravedad se desplaza en el eje vertical de forma positiva y las fuerzas presentes tienen un sentido opuesto ha dicho desplazamiento, aplicamos la segunda ley de Newton y remplazamos las fuerzas por sus equivalentes y obtenemos la siguiente expresión.

$$\begin{aligned} \sum f &= M_b \ddot{x}_b \\ -F_{bd} - F_{bt} - F_{ba} - F_{kd} - F_{kt} - F_{ka} &= M_b \ddot{x}_b \quad (16) \\ M_b \ddot{x}_b &= b_d(\dot{x}_3 - \dot{x}_b + L_1 \dot{\theta}) + b_t(\dot{x}_4 - \dot{x}_b - L_2 \dot{\theta}) + b_a(\dot{x}_b - \dot{x}_2 - L_s \dot{\theta}) + K_d(x_3 - x_b + L_1 \theta) + K_t(x_4 - x_b - L_2 \theta) + K_a(x_b - x_2 - L_s \theta) \end{aligned}$$

Ecuación del desplazamiento angular

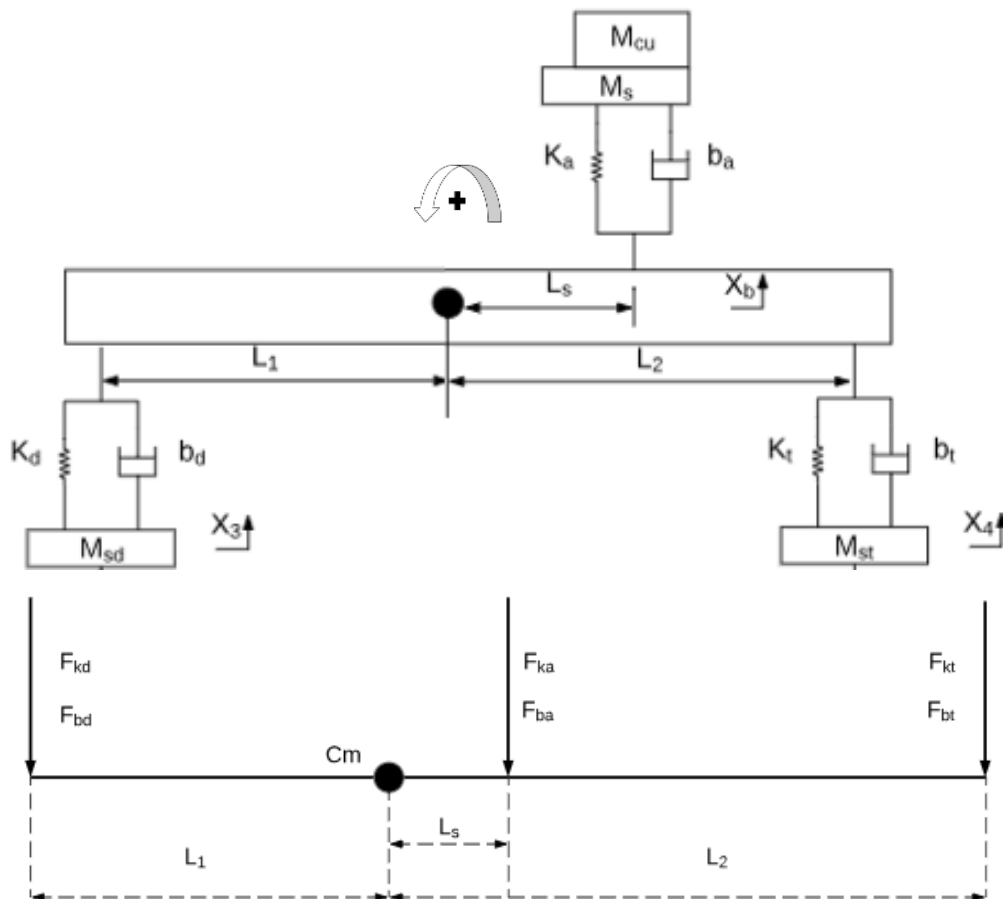


Gráfico 29-2: Diagrama de cuerpo libre de la barra

Fuente: (Autores, 2018)

Considerando como punto fijo el centro de masa, los extremos de la barra se desplazan en el plano vertical de forma rotacional y considerando el sentido de las manesillas del reloj como positivo, aplicamos la sumatoria de torques de todo el sistema y tenemos la siguiente ecuación.

$$\sum T = I\ddot{\theta}$$

$$I\ddot{\theta} = b_t(L_2\dot{x}_4 - L_2\dot{x}_b - \dot{\theta}L_2^2) + b_d(L_1\dot{x}_3 - L_1\dot{x}_b + \dot{\theta}L_1^2) + b_a(L_s\dot{x}_b - L_s\dot{x}_2 - \dot{\theta}L_s^2) + K_t(L_2x_4 - L_2x_b - \theta L_2^2) + K_d(L_1x_3 - L_1x_b + \theta L_1^2) + K_a(L_sx_b - L_sx_2 - \theta L_s^2) \quad (17)$$

Ecuación de la suspensión delantera

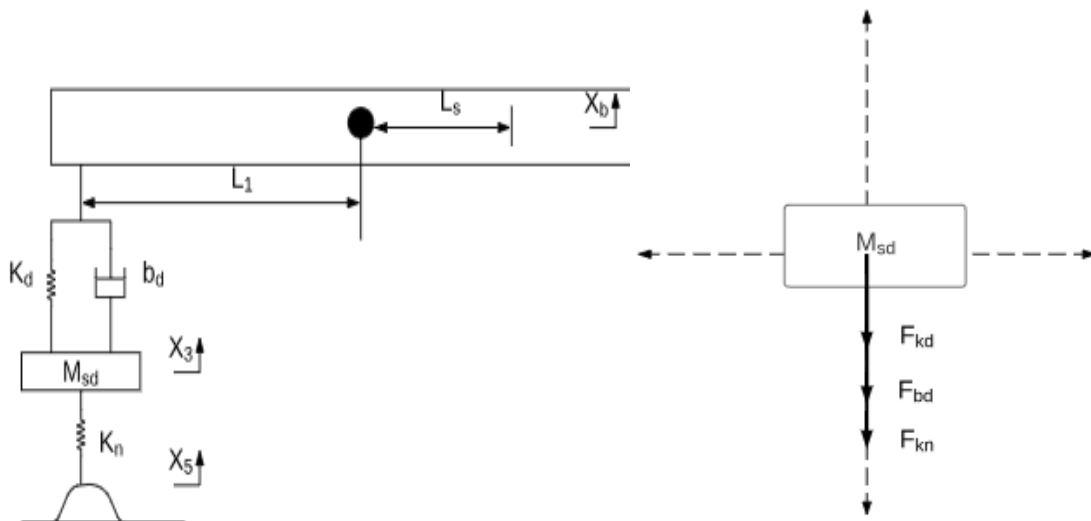


Gráfico 30-2: Diagrama de cuerpo libre de la suspensión delantera

Fuente: (Autores, 2018)

Se aplica la segunda ley de Newton sabiendo que la suspensión delantera se desplaza en el eje vertical de manera positiva y que las fuerzas presentes están en sentido contrario al desplazamiento, además realiza un movimiento rotacional respecto al centro de masa luego remplazamos las fuerzas por sus equivalentes y tenemos la siguiente ecuación.

$$\sum f = M_{sd}\ddot{x}_3$$

$$-F_{kd} - F_{bd} - F_{kn} = M_{sd}\ddot{x}_3 \quad (18)$$

$$M_{sd}\ddot{x}_3 = K_d(x_3 - x_b + L_1\theta) + b_d(\dot{x}_3 - \dot{x}_b + L_1\dot{\theta}) + K_n(x_5 - x_3)$$

Ecuación de la suspensión trasera

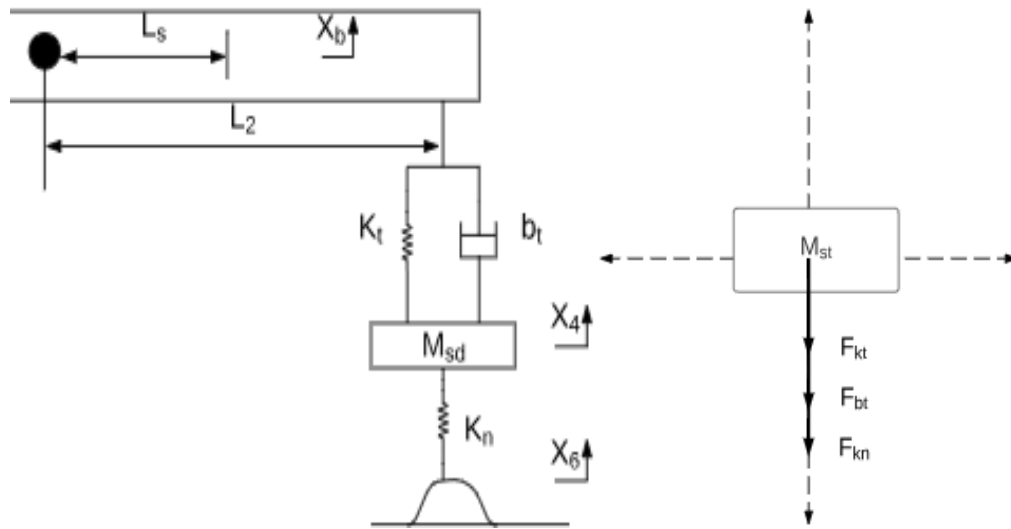


Gráfico 31-2: Diagrama de cuerpo libre de la suspensión trasera

Fuente: (Autores, 2018)

Tomando en cuenta el movimiento rotacional con respecto al centro de masa de la suspensión trasera además del movimiento vertical positivo y de sus fuerzas que están en sentido contrario al movimiento, aplicamos la segunda ley de Newton y obtenemos la siguiente ecuación.

$$\begin{aligned} \Sigma f &= M_{st}\ddot{x}_4 \\ -F_{kt} - F_{bt} - F_{kn} &= M_{st}\ddot{x}_4 \\ M_{st}\ddot{x}_4 &= K_t(x_4 - x_b - L_2 \cdot \theta) + b_t(\dot{x}_4 - \dot{x}_b - L_2 \cdot \dot{\theta}) + K_n(x_6 - x_4) \end{aligned} \quad (19)$$

Tercera etapa: Se realizó la modelación matemática de las diferentes partes del automóvil con ayuda de “SIMULINK”, para poder realizar el estudio ideal de un sistema de suspensión, el estudio se realiza mediante el análisis de la gráfica que arroja el programa.

Modelación Simulink

Suspensión Delantera

$$\Sigma f = M_{sd}\ddot{x}_3$$

$$-F_{kd}-F_{bd}-F_{kn} = M_{sd}\ddot{x}_3$$

$$M_{sd}\ddot{x}_3 = K_d(x_3 - x_b + L_1\theta) + b_d(\dot{x}_3 - \dot{x}_b + L_1\dot{\theta}) + K_n(x_5 - x_3)$$

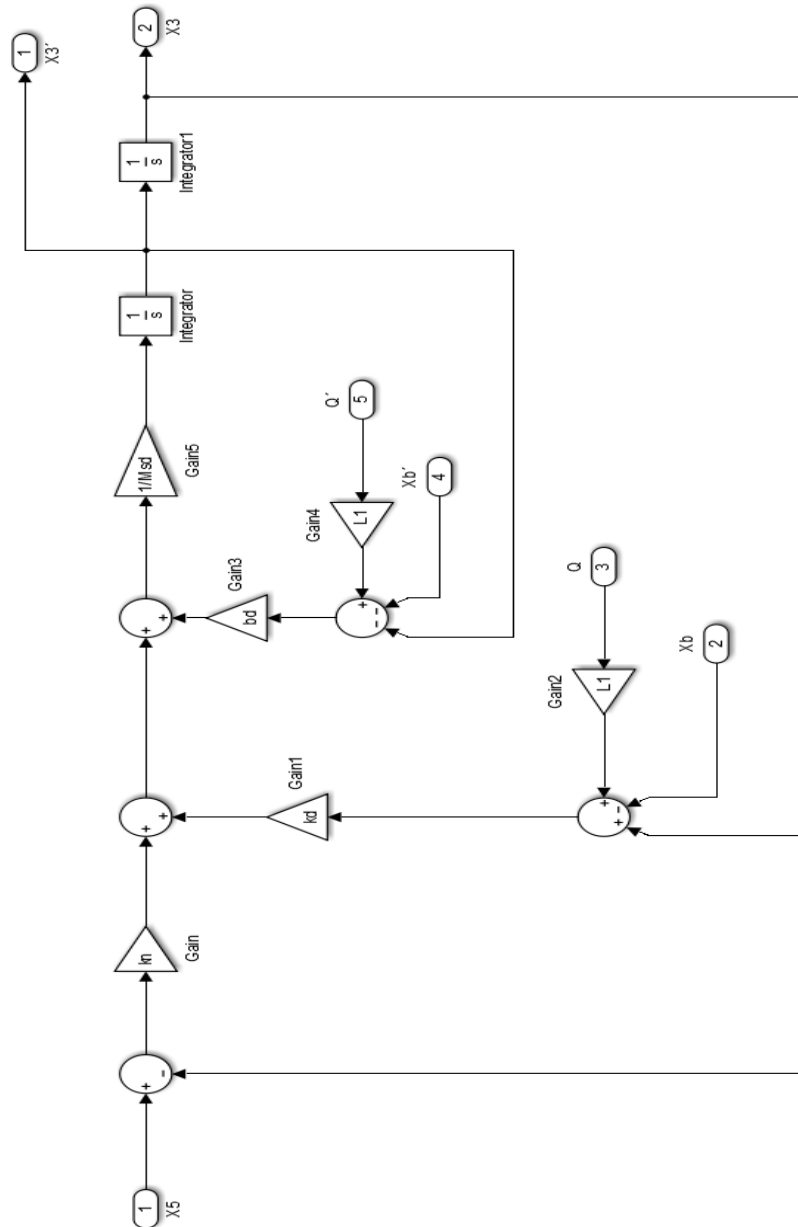


Gráfico 32-2: Modelación “Suspensión Delantera”

Fuente: (Autores, 2018)

Suspensión Trasera

$$\Sigma f = M_{st}\ddot{x}_4$$

$$-F_{kt} - F_{bt} - F_{kn} = M_{st}\ddot{x}_4$$

$$M_{st}\ddot{x}_4 = K_t(x_4 - x_b - L_2 \cdot \theta) + b_t(\dot{x}_4 - \dot{x}_b - L_2 \cdot \dot{\theta}) + K_n(x_6 - x_4)$$

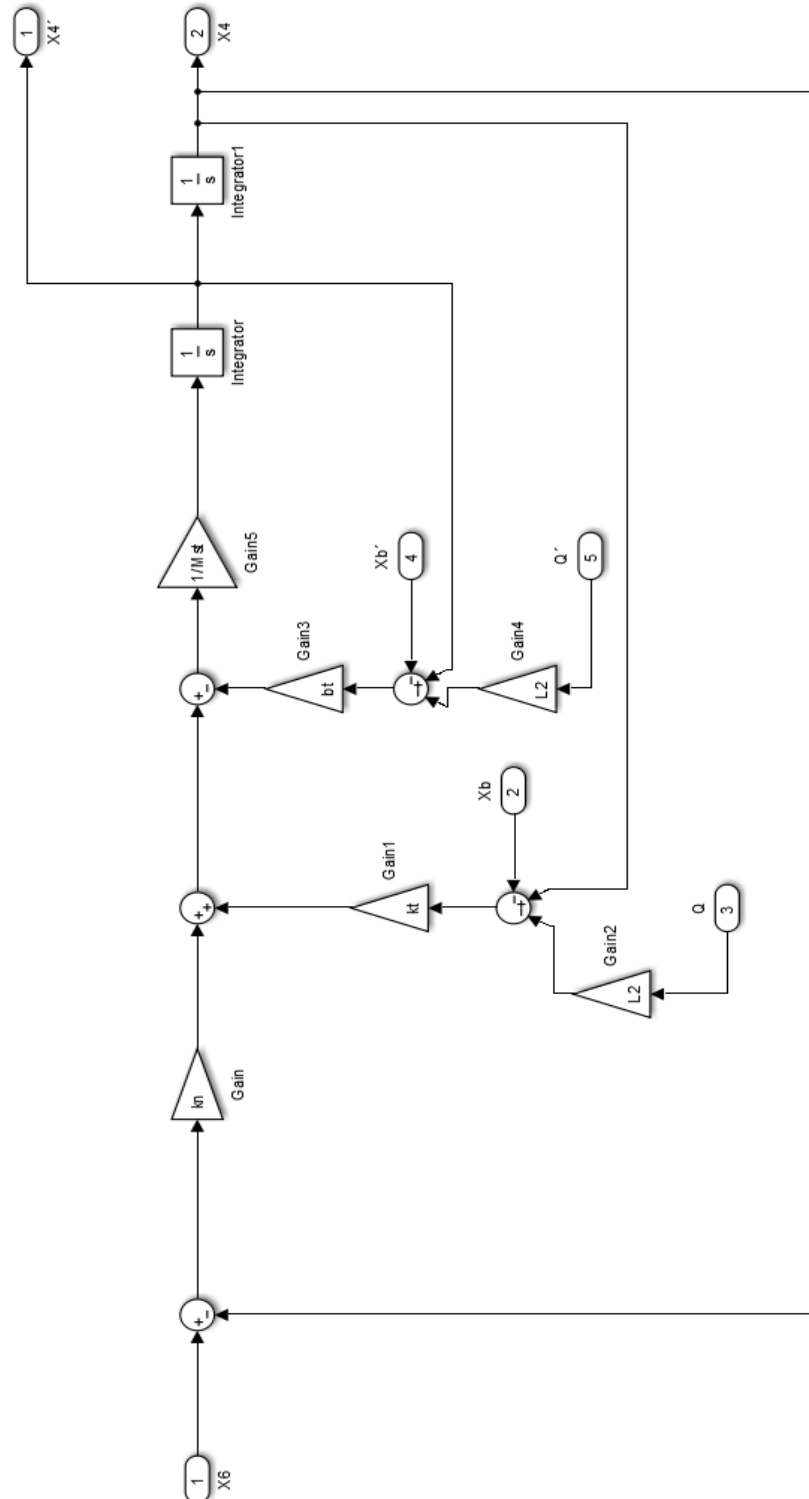


Gráfico 33-2: Modelación “Suspensión Trasera”

Fuente: (Autores, 2018)

Desplazamiento angular

$$\sum T = I\ddot{\theta}$$

$$I\ddot{\theta} = b_t(L_2\dot{x}_4 - L_2\dot{x}_b - \dot{\theta}L_2^2) + b_d(L_1\dot{x}_3 - L_1\dot{x}_b + \dot{\theta}L_1^2) + b_a(L_s\dot{x}_b - L_s\dot{x}_2 - \dot{\theta}L_s^2) + K_t(L_2x_4 - L_2x_b - \theta L_2^2) + K_d(L_1x_3 - L_1x_b + \theta L_1^2) + K_a(L_sx_b - L_sx_2 - \theta L_s^2)$$

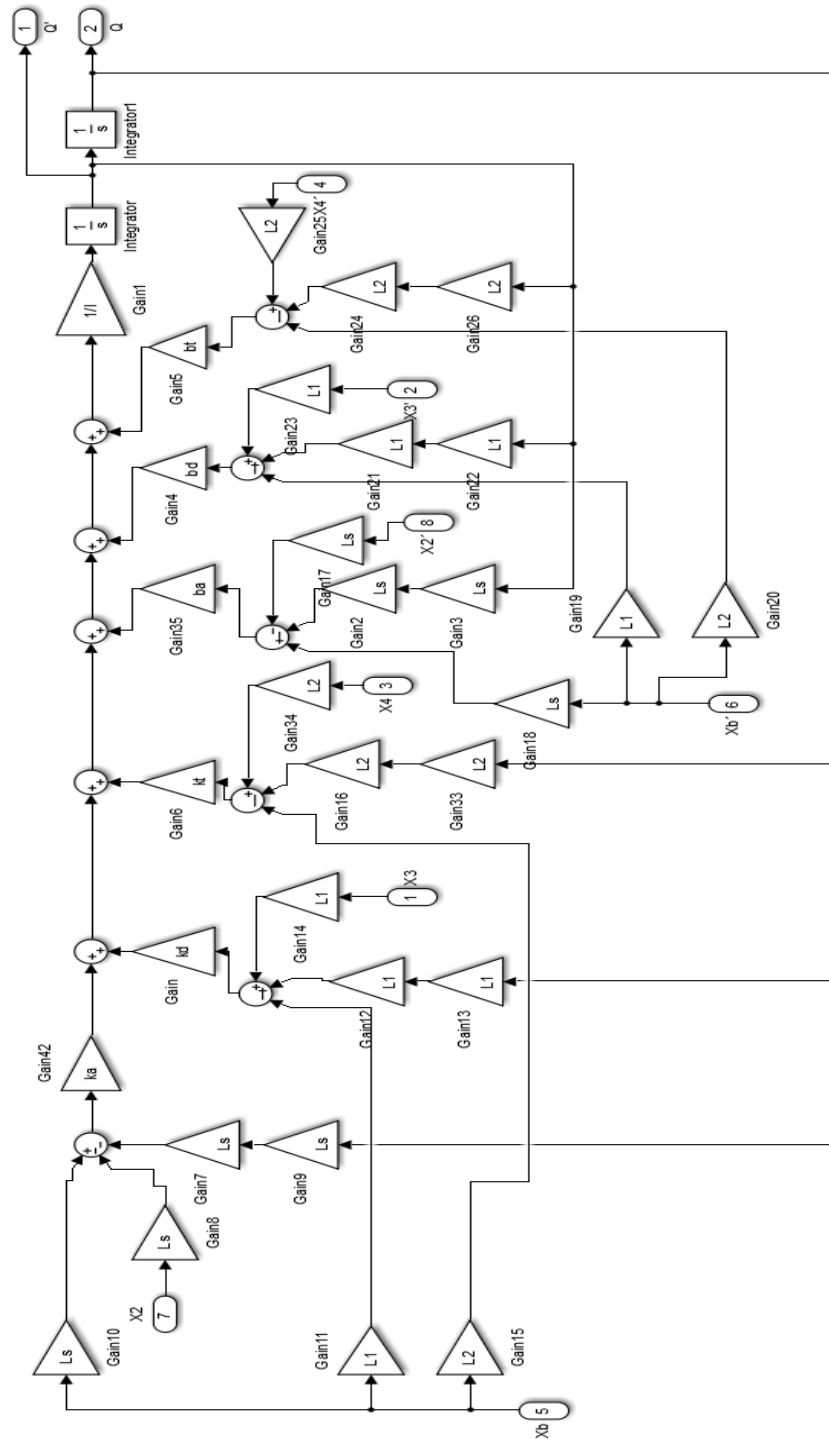


Gráfico 34-2: Modelación “Desplazamiento angular”

Fuente: (Autores, 2018)

Desplazamiento Centro de Gravedad

$$\Sigma f = M_b \ddot{x}_b$$

$$-F_{bd} - F_{bt} - F_{ba} - F_{kd} - F_{kt} - F_{ka} = M_b \ddot{x}_b$$

$$M_b \ddot{x}_b = b_d(\dot{x}_3 - \dot{x}_b + L_1 \dot{\theta}) + b_t(\dot{x}_4 - \dot{x}_b - L_2 \dot{\theta}) + b_a(\dot{x}_b - \dot{x}_2 - L_s \dot{\theta}) + K_d(x_3 - x_b + L_1 \theta) + K_t(x_4 - x_b - L_2 \theta) + K_a(x_b - x_2 - L_s \theta)$$

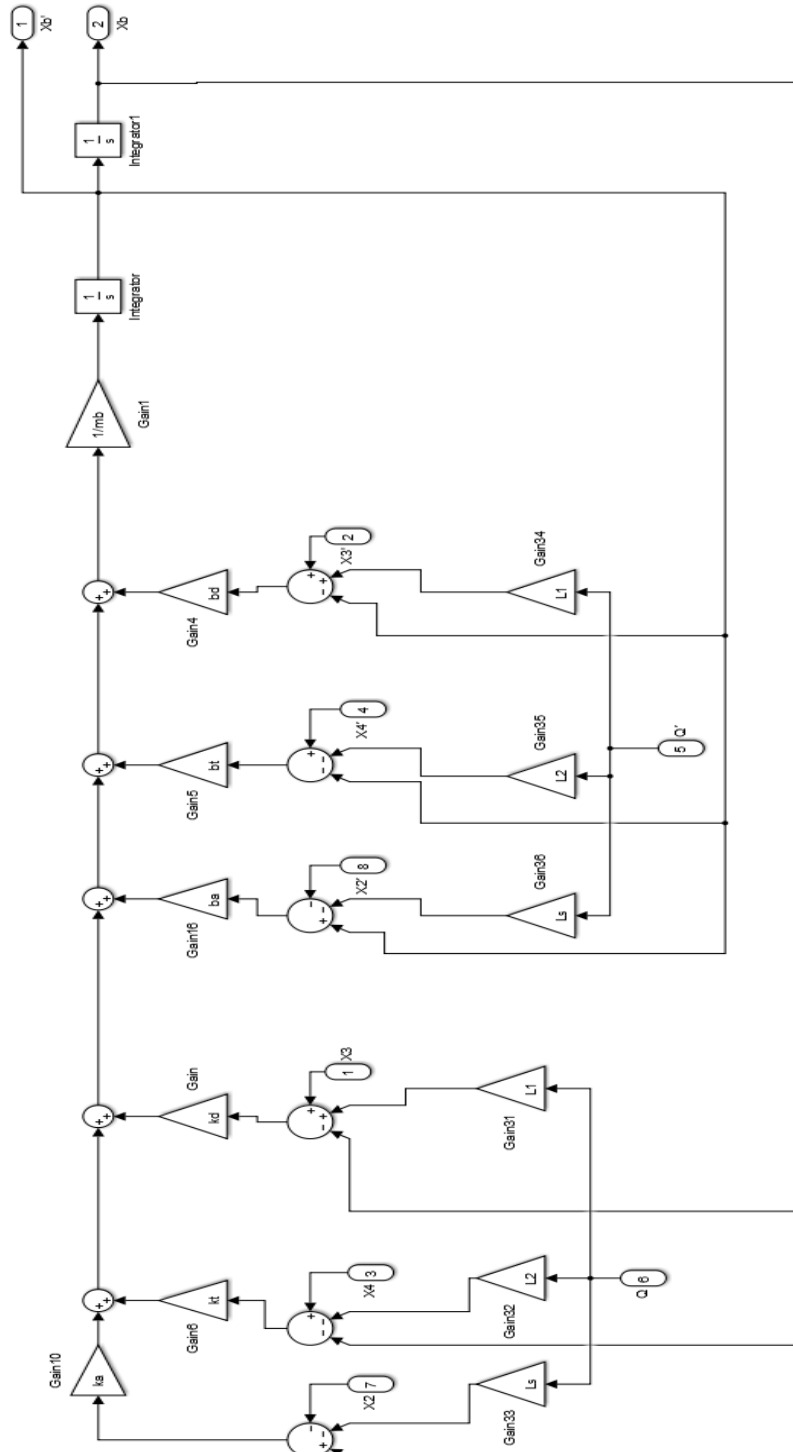


Gráfico 35-2: Simulación “Centro de Gravedad”

Fuente: (Autores, 2018)

Desplazamiento del Asiento

$$\begin{aligned} \Sigma f &= (M_s + M_{cu})\ddot{x}_2 \\ -F_{ka} - F_{ba} &= (M_s + M_{cu})\ddot{x}_2 \\ (M_s + M_{cu})\ddot{x}_2 &= b_a(\dot{x}_b - \dot{x}_2 - L_s\dot{\theta}) + K_a(x_b - x_2 - L_s\theta) \end{aligned}$$

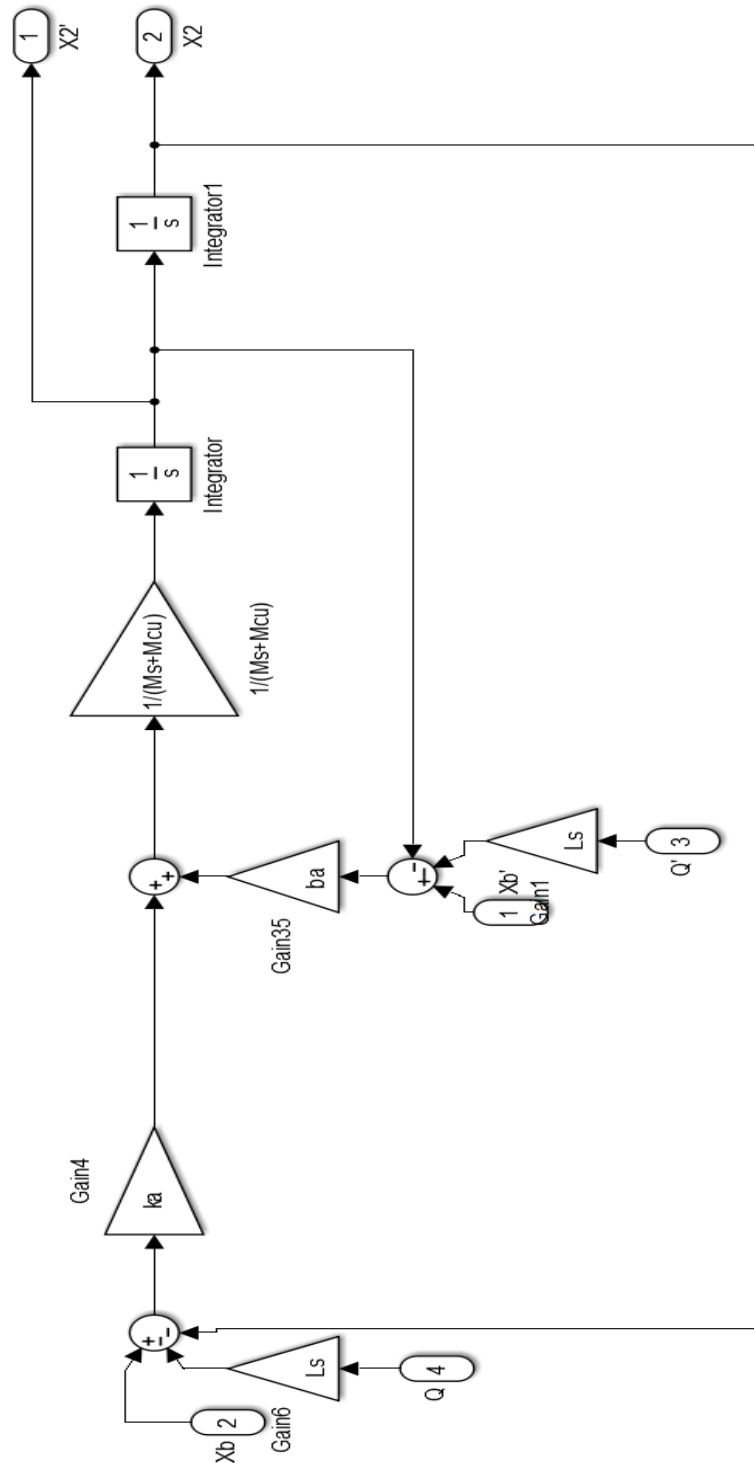


Gráfico 36-2: Simulación “Desplazamiento del Asiento”

Fuente: (Autores, 2018)

Desplazamiento de la cabeza

$$\Sigma f = M_{ca}\ddot{x}_1$$

$$-F_{kc} - F_{bc} = M_{ca}\ddot{x}_1$$

$$M_{ca}\ddot{x}_1 = b_c(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + K_c(x_2 - x_1)$$

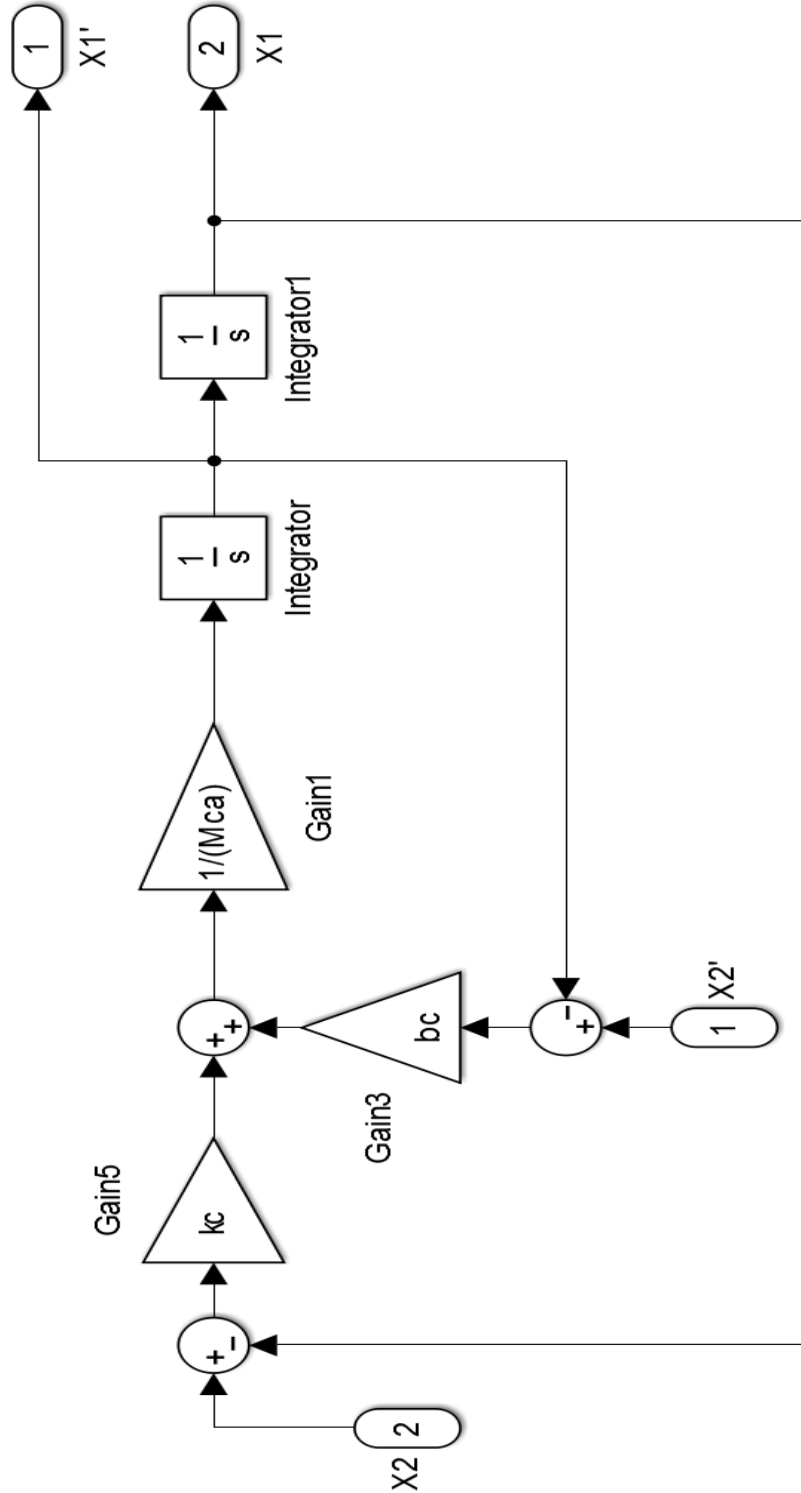


Gráfico 37-2: Simulación “Desplazamiento de la cabeza”

Fuente: (Autores, 2018)

Vehículo "Vitara"

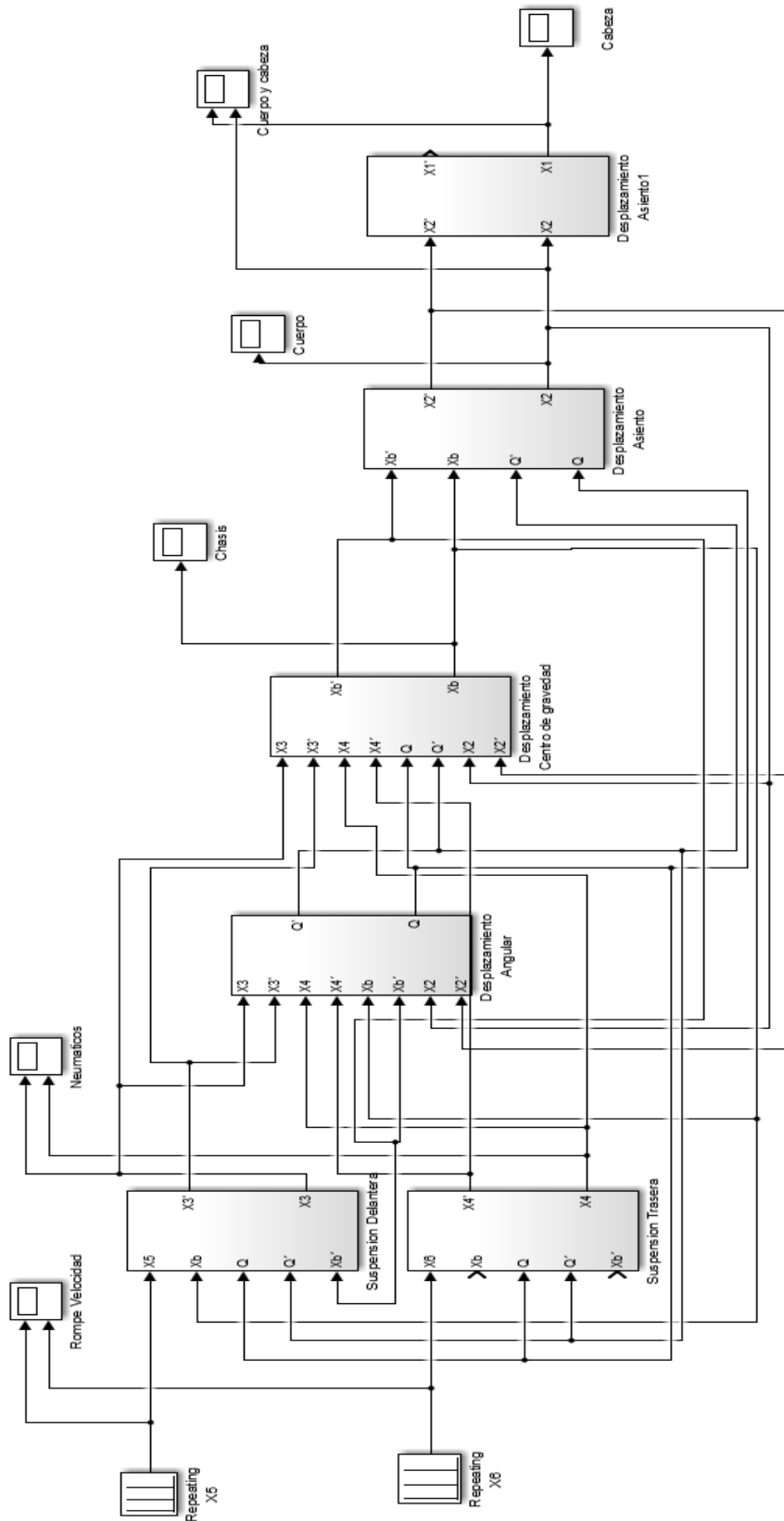


Gráfico 38-2: Simulación "Vehículo VITARA"

Fuente: (Autores, 2018)

Cuarta etapa: Se realizo un equipo de medición para realizar el estudio real de las vibraciones producidas por los diferentes sistemas de suspensión.

El equipo contiene elementos electrónicos como sensores, Arduino, transformadores, LCD, conectores, transmisores y una programación adecuada para el funcionamiento de este.

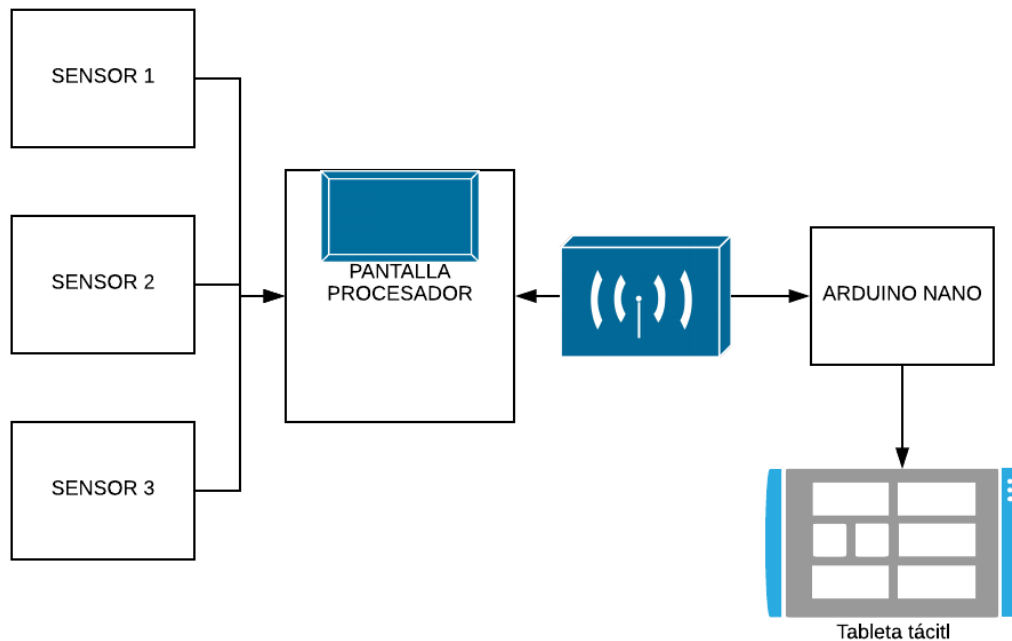


Gráfico 39-2: Diagrama del equipo medidor de vibraciones

Fuente: (Autores, 2018)

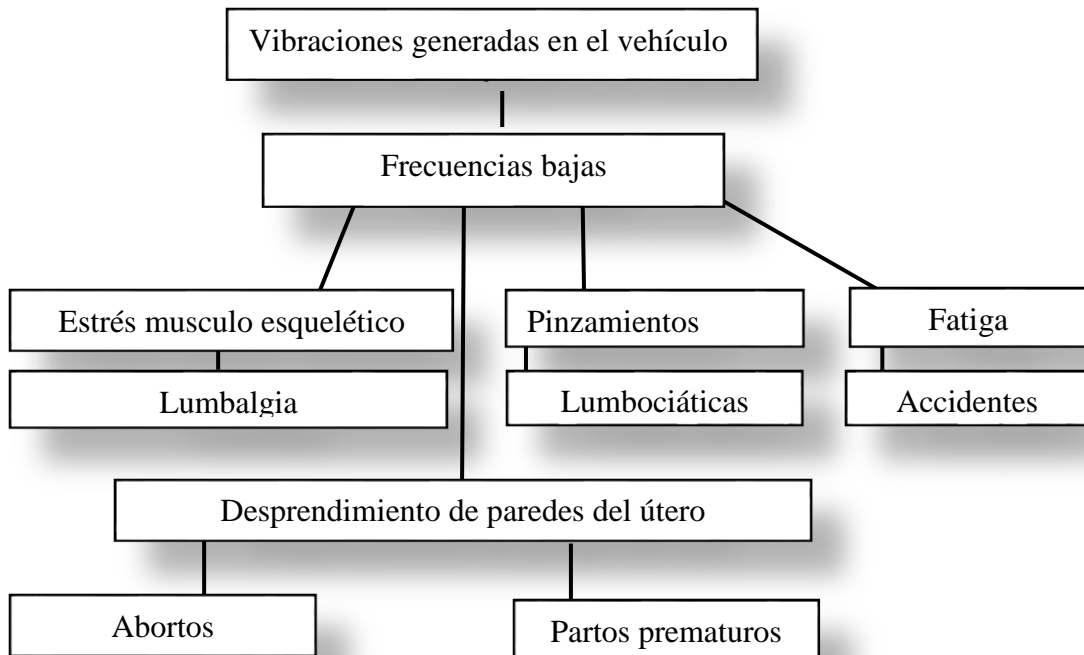
Los sensores van ubicados el uno en la cabeza, el dos en el cuerpo y el tercero en el piso, los cuales envían la información analógica que captan hacia el procesador mediante cables, el procesador recibe la información la transforma en digital y la trasmite mediante RF a un Arduino nano el cual recibe la señal la procesa y envía la información mediante un cable USB a la laptop, la misma que nos permite visualizar las gráficas resultantes del estudio.

Quinta etapa: El estudio se realizó mediante el análisis de las gráficas tanto ideal como real, la información que se obtuvo sobre el nivel de vibraciones que producen afecciones a la salud del cuerpo, fueron necesarias para poder validar los resultados obtenidos.

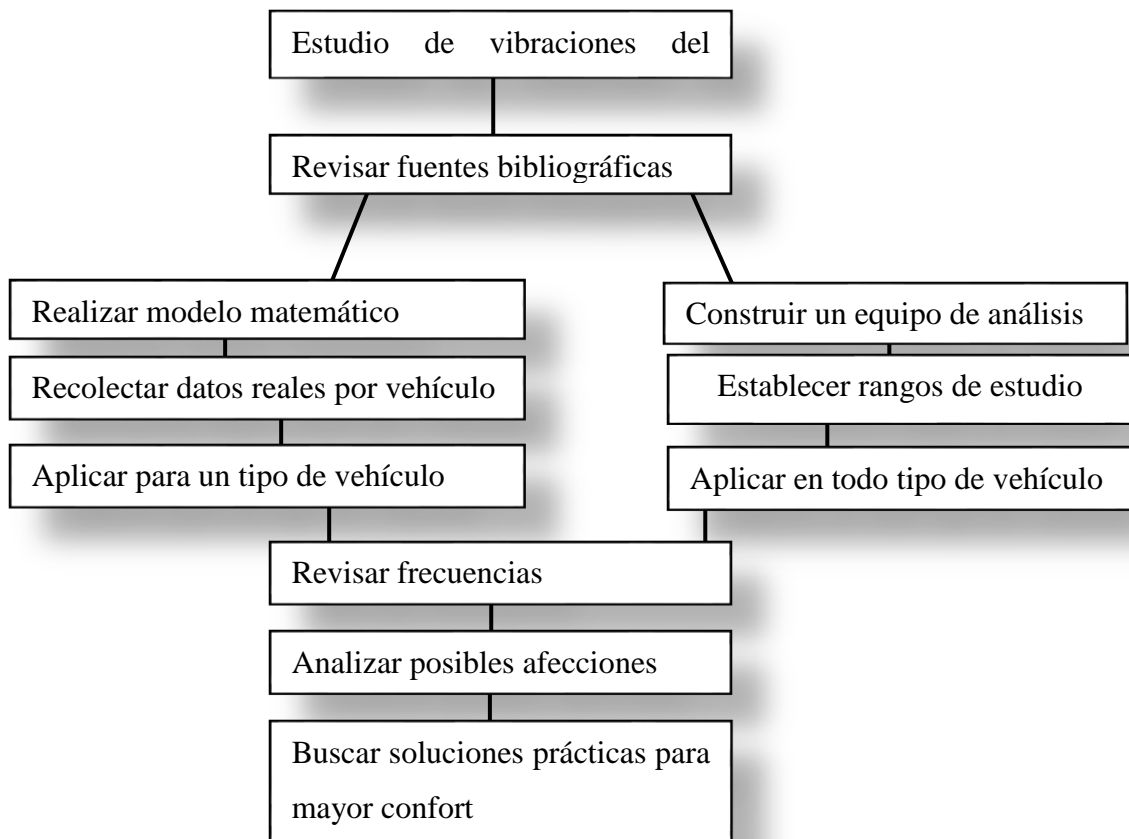
2.2 Matriz involucrados

GRUPOS INVOLUCRADOS	POSIBLES PROBLEMAS	INTERESES	ESTRATEGIAS	ACUERDOS Y COMPROMISOS
Conductores	-Fatiga - Pinzamientos discales -Lumbalgia - Lumbociáticas -Trastorno de Visión	Existe gran interés de los conductores, por evitar problemas de salud ocasionados al momento de conducir	Realizar estudios sobre el comportamiento de los sistemas de suspensión. Realizar estudios para poder elegir el sistema de suspensión adecuado para cada vehículo.	Facilitar las investigaciones a los docentes para que se siga profundizando en la mismas. Socializar con ANT para que haya un mayor control sobre la eficiencia del sistema de suspensión de los vehículos que ingresan al Ecuador.
Pasajeros	-Fatiga - Pinzamientos discales -Lumbalgia - Lumbociáticas -Problemas de parto en embarazadas	Existe gran interés de los pasajeros, por tener un mayor confort al momento de viajar.	Realizar estudios sobre el nivel de frecuencia que producen los sistemas de suspensión, para poder evitar problemas de salud en los ocupantes de vehículos.	Realizar un equipo de medición de vibraciones para que docentes, estudiantes y autoridades puedan realizar un estudio y control más adecuado sobre estos sistemas en los automóviles.

2.3 Árbol de problemas



2.4 Árbol de objetivos



2.5 Matriz de marco lógico

	Resumen narrativo	Indicadores Objetivamente Verificables	Medios de verificación
Objetivo General o Meta	Analizar las vibraciones generadas en la suspensión de vehículos comercializados en el Ecuador, mediante la utilización de modelos matemáticos, para evitar el estrés músculo esquelético en el conductor.	Porcentaje de conductores que presentan problemas de salud, al conducir distancias considerables.	Encuestas electrónicas a los individuos involucrados en el estudio.
Objetivo del Proyecto	Construir un equipo de diagnóstico, con la utilización de elementos electrónicos, para realizar los análisis de las vibraciones.	Nivel de vibraciones producidas por los diferentes sistemas de suspensión de los vehículos.	Mediante las gráficas, que nos arrojan el equipo de medición con ayuda de Matlab.
Resultados	Construcción e implementación de un equipo de medición que permita realizar el estudio de vibraciones en el cuerpo humano producidos por la mala selección de los sistemas de suspensión en los vehículos.	Verificación del estado de los diferentes sistemas de suspensión.	Mediante la utilización del equipo construido
Actividades	-Recopilar información de investigaciones anteriores. -Realizar encuestas a los conductores. -Diseñar y elaborar un equipo para medición de vibraciones- -Realizar pruebas con el equipo.	-Información disponible archivada -Porcentaje de personas encuestadas	Encuestas realizadas.

CAPÍTULO III

3 MARCO DE RESULTADOS

3.1 Resultados

Estudio mediante modelo matemático

En las gráficas podemos apreciar una reducción en la amplitud y reducción en el tiempo de amortiguamiento esto se debe al aumento en el coeficiente de viscosidad que existe después de cada puto como por ejemplo después del chasis existe un amortiguamiento en el asiento y así mismo después de este hay un amortiguamiento más en el cuello del conductor.

Chasis

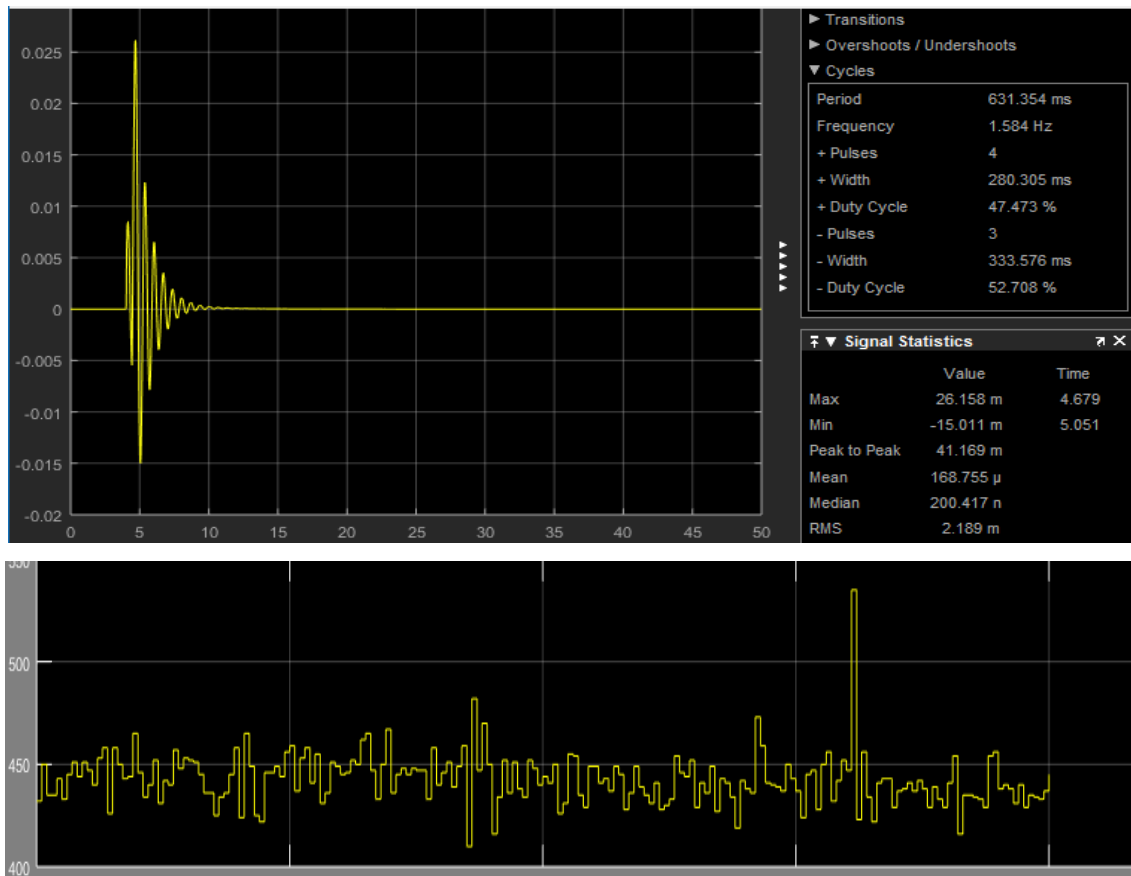


Gráfico 1-3: Comportamiento de la amortiguación en el chasis

Fuente: (Autores, 2018)

Asiento

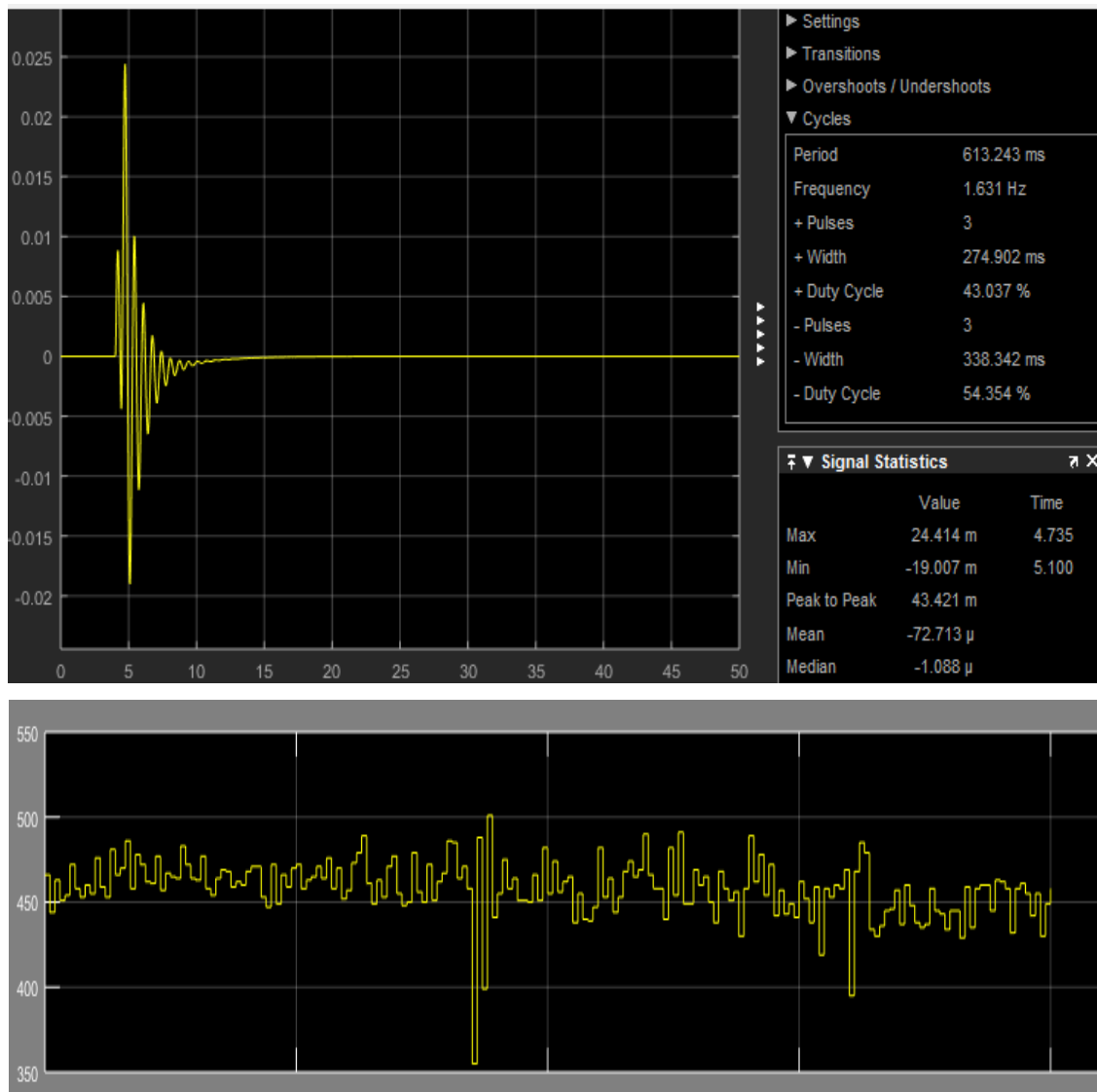


Gráfico 2-3: Comportamiento de la amortiguación en el asiento

Fuente: (Autores, 2018)

Cabeza

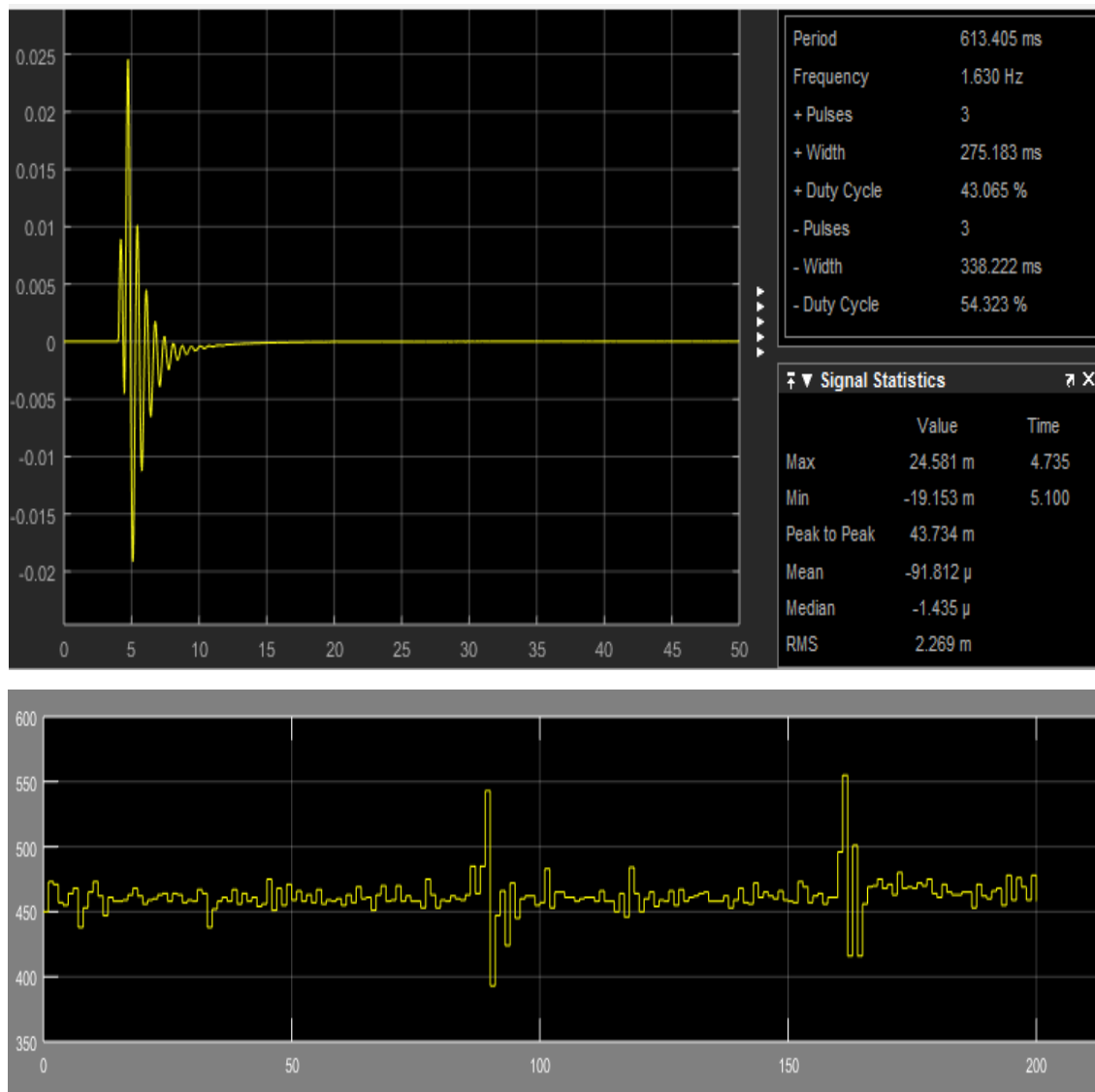


Gráfico 3-3: Comportamiento de la amortiguación en el cuello

Fuente: (Autores, 2018)

Análisis

A pesar del complejo modelo matemático obtenido en este estudio, todo se reduce a un simple sistema de (masa, resorte, amortiguador)

$$\frac{1}{Mx^2 + bx + k} \quad (20)$$

En donde tenemos que M es la masa b es la constante de viscosidad y k es la constante de elasticidad. Para tener un sistema estable los índices de viscosidad como elasticidad deben ser positivos caso contrario el sistema sería inestable y tendería al infinito.

Para obtener un movimiento amortiguado el índice de viscosidad debería ser mayor que cero, caso contrario en vez de un movimiento amortiguado tendríamos un oscilador, por lo cual hemos concluido que es de suma importancia diseñar o seleccionar un amortiguado que tenga un índice de viscosidad adecuado para reducir en su mayoría las vibraciones ocasionadas por las carreteras

En el estudio de la suspensión del vehículo vitara 3p lx 2002 hemos podido determinar que para un aumento en el confort del conductor y pasajeros se debería hacer una mejor selección en amortiguadores ya que estos son los encargados de reducir las vibraciones, por lo tanto, si se selecciona un amortiguador con mayor coeficiente de viscosidad, se presentarían menos vibraciones y así mismo menos posibilidades de daño al conductor o pasajeros.

Por otra parte, si los amortiguadores de un vehículo llegaran a estar defectuosos esto ocasionaría que su índice de viscosidad descienda, y de esa manera existirían mayor vibraciones e impacto sobre el conductor y pasajeros.

CONCLUSIONES

- Se realizó la investigación correspondiente sobre las afecciones que causan las vibraciones, mediante la revisión de artículos científicos e investigaciones realizadas posteriormente.
- Se recopiló información acerca de las molestias que producen los diferentes sistemas de suspensión de los vehículos en los conductores, para esto se realizó una encuesta digital y posteriormente fueron estudiados todos los datos obtenidos.
- Se logró construir un equipo, el cual permite medir la cantidad de frecuencia presente en los conductores al momento de conducir un vehículo, para el cual fue necesario usar distintos elementos electrónicos y algunos programas de (diseño, programación y simulación).
- Se realizó la simulación del comportamiento de un sistema de suspensión con datos ideales, para poder realizar una comparación entre los datos que nos brinda el equipo y el simulador.

RECOMENDACIONES

- Realizar una encuesta con un mayor alcance y un alto valor de tamaño de muestra, para poder tener una mejor apreciación sobre las molestias causadas por las vibraciones en los conductores al momento de conducir.
- Las constantes que se usan para la programación del simulador deben ser obtenidos de textos científicos para que los cálculos sean fidedignos y para las constantes que deben ser calculadas utilizar laboratorios que dispongan de equipos de medición de alta precisión.
- Los elementos electrónicos que se ocupan en la elaboración del equipo de medición de vibraciones deberán tener la mayor precisión posible ya que de esto depende la exactitud de los datos de medición que realiza el equipo.
- Los mecanismos de control de nuestro país deben ocupar equipos como el descrito en esta tesis para tener un mejor control de los vehículos que ingresan y con ello salvaguardar la integridad de los conductores.

BIBLIOGRAFÍA

Electroniclab. *arduino-nano*. [En línea] 2 de enero de 2012. [Consulta: 20 de agosto 2018]. Disponible en: <https://electronilab.co/tienda/arduino-nano-v3-atmega328-5v-cable-usb/>.

Elheim. *LA-SUSPENSION-EN-EL-AUTOMOVIL*. [En línea] 20 de Octubre de 2013. [Consulta: 25 de julio 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/presentation/177595710/LA-SUSPENSION-EN-EL-AUTOMOVIL>.

Gonzalez, Adrian Lopez. *DIRECCION-Y-SUSPENSION*. [En línea] 3 de febrero de 2013. [Consulta: 30 de julio 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/123652696/DIRECCION-Y-SUSPENSION-pdf>.

Haro, Jonathan. *sensor-acelerometro. hetpro-store*. [En línea] mayo de 2015. [Consulta: 10 de septiembre 2018]. Disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/mma7361-sensor-acelerometro/>.

Institutomotores. *Sistema-de-suspension*. [En línea] 20 de enero de 2010. [Consulta: 25 de julio 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/presentation/25480847/S16-Sistema-de-suspension>.

Medina, Gustavo. *Sistema-de-Suspension*. [En línea] 19 de NOVIEMBRE de 2011. [Consulta: 25 de julio 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/73174328/Sistema-de-Suspension>.

Mitra, Anirban; & Nilopal, benerjee. *Ride_comfort_and_Vehicle_handling_of_Quarter_Car_Model*. [En línea] 9 de Diciembre de 2016. [Consulta: 11 de octubre 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/311515777_Ride_comfort_and_Vehicle_handling_of_Quarter_Car_Model_Using_SIMULINK_and_Bond_Graph.

Orlando. *arduino hetpro*. [En línea] 25 de Abril de 2015. [Consulta: 22 de octubre 2018]. Disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/nrf24l01-con-arduino/>.

Patagoniatec. 2013. *arduino-nano-328*. [En línea] 07 de febrero de 2013. [Consulta: 22 de octubre 2018]. Disponible en: <http://saber.patagoniatec.com/2014/12/arduino-nano-328-arduino-atmega-clon-compatible-arduino-argentina-ptec/>.

Rod, Enrique. *Tipos-de-Suspension-y-Funciones*. [En línea] 7 de julio de 2017. [Consulta: 15 de julio 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/presentation/353168968/Tipos-de-Suspension-y-Funciones>.

Sebastian, Caccavallo. *Atmega328p*. [En línea] 2010. [En línea] 7 de julio de 2017. [Consulta: 22 de octubre 2018]. Disponible en: <https://electgpl.blogspot.com/search?q=microprocesador>

Shirahatti, Anil; et al. *Optimal design of passenger car suspension for ride and road holding*. [En línea] enero/marzo de 2008. [Consulta: 10 de mayo 2018]. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-58782008000100010

Todoelectrodo. *LCD*. [En línea] 10 de Febrero de 2013. [Consulta: 25 de noviembre 2018]. Disponible en: <http://todoelectrodo.blogspot.com/2013/02/lcd-16x2.html>