INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Automotriz

Autores: Steeven Alexander Quirola Paladines
Oswaldo Xavier Ordoñez Armijos
Tutor: Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, Msc

Implementación de un Sistema de Suspensión Posterior Estándar sobre Prototipo Tubular Biplaza

Guayaquil-Ecuador |2024

Certificación de Autoría

Nosotros, Steeven Alexander Quirola Paladines, con CI: 0706943149 y Oswaldo Xavier Ordoñez Armijos, con CI: 0750484487, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

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

Steeven Alexander Quirola Paladines	Oswaldo Xavier Ordoñez Armijos
C.I.: 0706943149	C.I.: 0750484487

Aprobación del Tutor

Yo, Edgar Gustavo Vera Puebla certifico que conozco a los autores del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su seguridad y autenticidad, como de su contenido

_____

Edgar Gustavo Vera Puebla, Msc

C.I.: 1715264105

Director del Proyecto

Dedicatoria

Dedico este trabajo experimental e investigativo a mis queridos padres, Washington y Narcisa, por su arduo esfuerzo y sacrificio que han realizado toda su vida para poder brindarme la educación y la formación académica y personal con la que cuento hasta la actualidad. A mis hermanas, Jenniffer y Emily por ser mi pilar familiar y fuente de inspiración y superación para ellas.

Steeven Alexander Quirola Paladines

Agradecimientos

A Dios,

Por la vida y las bendiciones que he recibido en el transcurso de mi formación académica y personal.

A mis padres,

Por su inagotable apoyo incondicional que me han brindado toda mi vida, y ni que hablar de sus consejos y palabras de superación para mis momentos más difíciles.

A mis hermanas,

Por ser mi fuente de inspiración y superación para ellas.

Steeven Alexander Quirola Paladines

Dedicatoria

Este proyecto de titulación se lo dedico en primer lugar a Dios quién supo guiarme por el camino correcto, darme las fuerzas necesarias para seguir adelante y no desmayar en el intento.

A mi familia quienes han estado en cada paso de este proceso. A mis padres que me han inculcado valores, principios y carácter para afrontar cada situación que se me presentara. Este triunfo también me lo dedico a mí mismo, ya que nunca me di por vencido, supe encarar cada momento bueno y malo a lo largo de este camino.

Oswaldo Xavier Ordoñez Armijos

Agradecimientos

Agradezco a Dios, quien me ha bendecido en cada paso de mi vida. A mi familia en general quienes siempre me han apoyado incondicionalmente. A mis padres por su esfuerzo, por su gran corazón, por su perseverancia, esta meta la conseguí gracias a su apoyo, a mis hermanos quienes siempre están conmigo. Agradezco a mi esposa, a mi hija y a mi hijo, por acompañarme en este logro.

Agradezco a la Universidad Internacional del Ecuador y todo el personal quienes hacen parte de tan grandiosa universidad. Gracias a mis docentes que han sido motivación y guía a lo largo de mi vida profesional, al personal administrativo expreso mi gratitud por su amabilidad, cortesía y atención brindada.

Expreso mi gratitud hacia el Ing. Edgar Vera, por su paciencia y ser el tutor de nuestro proyecto de titulación, agradezco a mi compañero Steeven Quirola por su compromiso en nuestro proyecto.

Gracias a todos mis compañeros que fueron parte de este camino, también agradezco a todas las personas que de una u otra forma formaron parte de este proceso.

Oswaldo Xavier Ordoñez Armijos

Índice General

Dedicatoria v

Agradecimientos vi

Dedicatoria vii

Agradecimientos viii

Índice General ix

Índice de Figuras xiii

Índice de Ecuaciones xvi

Índice de Tablas xvii

Resumen xviii

Abstract xix

Capítulo I 1

Problema de la Investigación 1

1.1. Tema de Investigación 1

1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema 1

1.2.1. Planteamiento del Problema 1

1.2.2. Formulación del Problema 1

1.3. Sistematización del Problema 2

1.4. Objetivos de la Investigación 2

1.4.1. Objetivo General 2

1.4.2. Objetivos Específicos 3

1.5. Justificación e Importancia de la Investigación 3

1.5.1. Justificación Teórica 3

1.5.2. Justificación Metodológica 4

1.5.3. Justificación Práctica 5

1.5.4. Delimitación Temporal 6

1.5.5. Delimitación Geográfica 6

1.5.6. Delimitación del Contenido 6

1.6. Alcance 8

Capítulo II 9

2. Marco de Referencia 9

2.1. Automóvil Biplaza 9

2.2. Tipos de Suspensión Automotriz 9

2.3. Sistema de Suspensión Estándar 11

2.4. Masas Suspendidas y No Suspendidas 12

2.5. Elementos del Sistema de Suspensión 14

2.6. Factores de Trabajo del Sistema de Suspensión 18

2.7. Oscilación y Frecuencia 19

2.7.1. Vibración 22

2.8. Modelado y Simulación del Sistema de Suspensión 25

Capítulo III 27

Metodología 27

3.1. Métodos 27

3.2. Tipo de Estudio....27

3.2.1. Investigación Descriptiva....27

3.2.2. Método Descriptivo....28

3.3. Materiales....28

3.4. Análisis y Descripción de Vibraciones....28

3.5. Ecuaciones Base....29

3.6. Consideraciones de Restricción de Diseño....30

3.7. Proceso de Simulación Dinámica del Sistema de Suspensión Posterior Estándar....31

3.7.1. Consideraciones Iniciales....31

3.8. Modelado del Sistema de Suspensión Posterior Estándar....32

3.9. Simulación del Sistema de Suspensión Posterior Estándar....42

3.10. Interpretación de Resultados....44

3.11. Ciclos de Vida....44

3.12. Factor de Seguridad....45

Capítulo IV....47

Análisis de Resultados....47

4.1. Análisis de Datos Obtenidos....47

4.1.1. Análisis de Esfuerzos de Von Mises....47

4.1.2. Deformación....48

4.1.3. Porcentaje de Daño....49

4.1.4. Ciclos de Vida....49

4.1.5. Frecuencia 50

4.1.6. Factor de Seguridad 51

4.1.7. Montaje del Sistema de Suspensión Estándar Posterior 51

Conclusiones 55

Recomendaciones 56

Bibliografía 57

Anexos 59

Índice de Figuras

Figura 1 *Automóvil Biplaza* 9

Figura 2 *Sistema de Suspensión Estándar* 11

Figura 3 *Masas Suspendidas* 13

Figura 4 *Masas No Suspendidas* 13

Figura 5 *Sistema de Suspensión en Vehículo Tubular* 14

Figura 6 *Elementos Elásticos de la Suspensión* 15

Figura 7 *Neumático y sus Componentes* 16

Figura 8 *Barra de Torsión* 16

Figura 9 17

Figura 10 *Amortiguador de 2 Tubos* 18

Figura 11 *Oscilación Amortiguada* 20

Figura 12 *Representación de la Frecuencia* 21

Figura 13 *Sismógrafo de Zhang Heng* 23

Figura 14 *Pantalla Principal del Software Nastran 2021* 26

Figura 15 *Amortiguador del Volkswagen Brasilia de Marca Monroe* 32

Figura 16 *Plano Base para el Diseño en 2D* 33

Figura 17 *Plano del Amortiguador de Suspensión Posterior a Diseñar en 2D* 33

Figura 18 *Dibujo del Hexágono de 6 Lados* 34

Figura 19 *Selección del Plano del Dibujo a Diseñar en 3D* 34

Figura 20 *Generación del Modelo 3D del Hexágono* 35

Figura 21 *Hexágono en 3D con Redondeos Finales*.....35

Figura 22 *Generación del Modelo 3D de la Boquilla*.....36

Figura 23 *Modelado 3D de la Boquilla del Amortiguador*.....36

Figura 24 *Modelo 3D Final de la Boquilla del Amortiguador*.....37

Figura 25 *Generación Inicial del Amortiguador*.....37

Figura 26 *Geometría del Volumen y el Diámetro del Resorte*.....38

Figura 27 *Generación del Modelo 2D de la Rótula de Fijación*.....38

Figura 28 *Modelado 3D de las Rotulas de Fijación*.....39

Figura 29 *Generación del Modelo 2D del Pistón*.....39

Figura 30 *Modelado 3D del Pistón*.....40

Figura 31 *Extrusión del Amortiguador*.....40

Figura 32 *Generación de Volumen del Resorte*.....41

Figura 33 *Modelado 3D Final del Amortiguador para Suspensión Posterior*.....41

Figura 34 *Fijación de la Geometría*.....42

Figura 35 *Aplicación de la Carga*.....43

Figura 36 *Mallado del Sistema de Suspensión*.....43

Figura 37 *Cuadro de Opciones para Ver Resultados del Análisis de Simulación*.....44

Figura 38 *Esfuerzo de Compresión*.....47

Figura 39 *Esfuerzo de Tensión*.....48

Figura 40 *Deformación*.....48

Figura 41 *Porcentaje de daño*.....49

Figura 42 *Ciclo de Vida* 50

Figura 43 *Frecuencia* 50

Figura 44 *Factor de Seguridad* 51

Figura 45 *Prototipo Tubular Biplaza* 51

Figura 46 *Flujograma de Montaje de la Suspensión* 52

Figura 47 *Colocación del Prototipo en el Elevador de 2 Postes* 53

Figura 48 *Montaje del Sistema de Suspensión* 53

Figura 49 *Revisión del Montaje del Sistema de Suspensión* 54

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 *Frecuencia Natural de Vibración del Sistema* 24

Ecuación 2 *Coeficiente Crítico de Amortiguamiento* 24

Índice de Tablas

Tabla 1 *Frecuencias por el Tipo de Suspensión* 21

Tabla 2 *Frecuencias por el Cilindraje del M.C.I* 22

Tabla 3 *Propiedades de Acero Aleado Tipo Isotrópico* 31

Tabla 4 *Especificaciones Técnicas del Amortiguador* 32

Resumen

Los sistemas que arman el vehículo hoy en día han sido innovados e incorporan tecnología útil para que el ocupante puede despasarse de forma segura y rápida, sin la preocupación de que algo puede ocurrir y/o se produzca un accidente. No obstante el sistema de suspensión desde su creación y aplicación ha tratado de minimizar el impacto de la vibración mecánica producto del choque del neumático contra la calzada, y la cual se transfiere a través de la carrocería del vehículo generando que el ocupante también la llegue a percibir; por ello se ha creado el amortiguador como absorbente de energía y el espiral como dispersor de la energía, añadido de componentes que hacen la función de sostenibilidad y unión con el sistema de dirección del vehículo. Por lo cual se es necesario el estudiar el trabajo, funcionabilidad, trayectoria, fatiga, ciclos de vida, vibración y factor de seguridad del sistema de suspensión del vehículo, por medio de la simulación en Software de Diseño Asistido por Computadora (CAD), en el que se podrá escoger el material y realizar las simulaciones necesaria para analizar los esfuerzos a los que está sometido la suspensión posterior estándar.

Palabras Clave: *Análisis, diseño, esfuerzo, simulación, sistema, suspensión posterior.*

Abstract

The systems that assemble the vehicle today have been innovated and incorporate useful technology so that the occupant can get out of the vehicle safely and quickly, without worrying that something may happen and/or an accident may occur. However, since its creation and application, the suspension system has tried to minimize the impact of mechanical vibration resulting from the impact of the tire against the road, and which is transferred through the body of the vehicle, causing the occupant to also reach it perceive. For this reason, the shock absorber has been created as an energy absorber and the coil as an energy disperser, adding components that perform the function of sustainability and connection with the vehicle's steering system. Therefore, it is necessary to study the work, functionality, trajectory, fatigue, life cycles, vibration and safety factor of the vehicle suspension system, through simulation in Computer Aided Design Software (CAD), in in which the material can be chosen and the necessary simulations carried out to analyze the stresses to which the standard rear suspension is subjected.

Keywords: *Analysis, design, effort, simulation, system, rear suspension.*

Capítulo I

Problema de la Investigación

1.1. Tema de Investigación

Implementación de un sistema de suspensión posterior estándar sobre prototipo tubular biplaza.

1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

1.2.1. Planteamiento del Problema

Los vehículos del tipo tubular biplaza de competencia son diseños fabricados en talleres automotrices de forma empírica y basada en gustos y necesidades de quien lo va a usar, así como también de las consideraciones que tienen para ser considerados dentro de una competencia. Se emplean materiales de alta resistencia e incorporan componentes automotrices que brinden el desempeño, rendimiento y confort necesario.

Las modificaciones que saben tener estos vehículos de competencia están dirigidos al motor de combustión interna (M.C.I), sistema de transmisión, suspensión y dirección. En el caso del sistema de suspensión se modifica de forma parcial (ciertos elementos, solo parte delantera, solo parte posterior), en el cual se cambia y/o adapta elementos de acuerdo con las propiedades que el diseño tenga en la estructura, optimizando maniobrabilidad, fiabilidad y confort. Por consiguiente, se considera la implementación del sistema de suspensión posterior en un prototipo tubular biplaza de competencia en el cual se modele cada elemento a escala real, con materiales de construcción de bajo costo y alta comercialidad, los esfuerzos a los que se someterá el amortiguador y espiral, y el modelado total para la obtención del informe de análisis y estudio de sucesos de fatiga de las vibraciones producidas.

1.2.2. Formulación del Problema

¿Cuáles serían componentes necesarios que interceden en una suspensión posterior estándar que sean adaptables y funcionales en un prototipo tubular biplaza de competencia?

La formulación del problema que antecede pretende el plantearse el objetivo al que se desea llegar con el actual trabajo, mediante las normas y restricciones de diseño en técnica mecánica por la que se basa en el método con que se diseña una suspensión vehicular.

El presente problema se fundamenta de la siguiente manera:

La descripción del componente por medio del diseño geométrico del componente del sistema de suspensión posterior, para así poder determinar el material con que se diseña y los esfuerzos a los que se someterá. Considerando a las caracterizaciones que se muestran tales como tipo de material, la resistividad del material, esfuerzos, aleaciones, vibraciones, entre otros. Cálculo de ecuaciones base que influyen en la resistencia de los materiales para determinar de qué material debe ser cada componente; así como también el análisis de las vibraciones producto de una suspensión estándar en varios tipos de calzada.

1.3. Sistematización del Problema

- ¿Cómo se representan las fases de la selección de componentes de un sistema de suspensión estándar?
- ¿Cuál es la metodología para analizar el material con que está fabricado cada componente de la suspensión?
- ¿Cuál(es) es la fórmula(s) base que se toman en consideración para el análisis y la identificación de la suspensión?
- ¿Cuál(es) es los fundamentos para analizar la eficacia del diseño propuesto de la suspensión posterior estándar donde los puntos críticos a evaluar son las vibraciones y esfuerzos producidos?

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

- Implementar un sistema de suspensión posterior estándar sobre prototipo tubular biplaza.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Investigar sobre los tipos de suspensiones automotrices con aplicación en suspensiones posteriores dirigidas a vehículos tubulares.
- Realizar un modelado del funcionamiento del sistema de suspensión posterior estándar para la obtención del informe de análisis y estudio de sucesos de fatiga de las vibraciones producidas mediante el software AutoDesk Nastran.
- Aplicar un proceso de adaptación y montaje del sistema de suspensión posterior estándar sobre una estructura de vehículo tubular.

1.5. Justificación e Importancia de la Investigación

1.5.1. Justificación Teórica

Determinado, fundado y definido los fines del actual proyecto de diseño, se procede a definir por espacio geográfico donde se llevará a cabo la simulación, así como las justificaciones respectivas del proyecto respondiendo a las preguntas enunciadas para el análisis.

El presente diseño de técnica mecánica se justifica debido a la necesidad de conocer un sistema de suspensión posterior estándar adaptable en prototipos tubular biplaza de competencia, en base al material de construcción y la forma geométrica. Para lo cual se dispone en el mercado local de variedad y tipos de amortiguadores, espirales, brazos, entre otros, por lo cual se buscará tomar el modelo más sugerente y de bajo costo, del cual se diseñará de forma computacional para analizar los esfuerzos y vibraciones, y determinar que brinde la ergonomía en conducción, velocidad óptima, pérdidas de tracción mínimo, cambios de velocidad menos violentos y eficacia del frenado óptimo.

La aplicación del sistema de suspensión para un prototipo tubular biplaza de competencia tiene que garantizar un eficiente rendimiento del vehículo comprometiéndose en la seguridad de éste y así también como en la de sus ocupantes. Se aplicará un sistema de

suspensión independiente el cual es adaptable al vehículo definido, tomando en consideración los lineamientos de la estructura tubular, las distintas condiciones del camino, los esfuerzos y vibraciones a las que se someten cada componente del sistema.

Lo que se pretende diseñar es el sistema de suspensión posterior estándar previo a su implementación en el prototipo tubular.

1.5.2. Justificación Metodológica

En cuanto a metodología planteada en el actual trabajo es de forma experimental, cualitativa y cuantitativa, ya que se genera un diseño del sistema de suspensión estándar concretamente en las propias vibraciones de este como las que se producen por la calzada en que se moviliza el automóvil.

El trabajo está fundamentado en conocer comportamiento, características y fundamentos de trabajo con que se han de diseñar componentes de una suspensión estándar; para lo cual se aplica la metodología experimental donde la simulación y el análisis a través de un diseño 3D generado en software permitirá generar una amplia gama de configuraciones para analizar y llegar a conclusiones de diseño con los materiales del que debe estar fabricado cada elemento y que maximizan su eficiencia de aplicación, buscando que no se comprometa la estructura, configuración del M.C.I, seguridad, empleo de combustible y rendimiento. Para la simulación lo que se quiere alcanzar son los esfuerzos y vibraciones máximos y mínimas a las que se someterá cada componente. Por tanto, al concebir la fase de diseño, simulaciones, análisis y evaluación de las directrices de estudio, toda resultante obtenida será basada en las diferentes propiedades del material de construcción del componente del sistema en estudio.

Por lo mencionado se argumenta que la metodología a utilizar indaga constituir procedimientos de desarrollo en generación de diseño, simulación y análisis técnico, que consienten de manera exacta tener una visión basada en números y conclusiones reales.

Al momento de considerar la geometría del diseño, la resistencia del material, vibraciones, esfuerzos, entre otros, lo que se desea es afirmar que cada componente del sistema de suspensión estándar es aplicable a la necesidad requerida.

1.5.3. Justificación Práctica

La justificación práctica del actual proyecto se basa en el bosquejo real, geometría, análisis de esfuerzos, análisis del material y estudio de vibraciones de una suspensión posterior estándar. Parte de los resultados a obtener con el análisis del componente y simulación numérica se detallan a continuación:

- Mejora del rendimiento del prototipo tubular por medio del diseño de un sistema de suspensión posterior estándar; considerando a los elementos constitutivos de la suspensión estándar como son el amortiguador, base, goma, mesa y otros, con el fin de no perturbar la estabilidad inherente del prototipo.
- La simulación favorecerá el enlace entre el diseño y análisis para interpretar y simular el comportamiento, esfuerzos y vibraciones a las que se someterán los componentes del sistema de suspensión. Como también el mínimo uso de costes en ensayos físicos de prueba y error, en otras palabras, pruebas físicas sin previo análisis en software, por consiguiente, se emula el poder reducir los análisis físicos debido a que, al diseñarse en software del sistema, se podrá determinar las variables y materiales que favorezcan a obtener mayor eficacia y seguridad al conducir.
- Seguridad en el prototipo mejorado por la razón que se produce una repartición de cargas, vibraciones y esfuerzos, directamente en las diferentes condiciones de desplazamiento y conducción por diversas formas de calzada, llegando a obtener una total mejora en la seguridad total.

- En cuanto a innovación del proyecto está el empleo de procedimientos modernos tales como el análisis de esfuerzos, la simulación gráfica, análisis de vibración y estudio del sistema de suspensión posterior.

Por lo antes descrito se concluye que la justificativa práctica reside en ser una generación exponencial, debido a que se pasará del conocer teórico y proceso físico a fases de error y prueba sin costes exponenciales, las mismas que contribuyen a modernizar el área de ingeniería vehicular, al observar y optimizar con procesos de bosquejo de los sistemas del automóvil, conteniendo la seguridad activa y pasiva, eficacia, eficiencia y competitividad en los elementos vehiculares.

1.5.4. Delimitación Temporal

De acuerdo con la planificación establecida para el trabajo presente investigativo tiene una proyección de tiempo que inicia el 20 de mayo de 2024 y finalizaría el 8 de septiembre de 2024, tiempo en el cual se lleva a cabo cada una de las fases en las que de manera cronológica se cumplirán con los objetivos planteados hasta llegar a su culminación.

1.5.5. Delimitación Geográfica

El actual estudio se lleva a cabo en las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil, tanto en la parte teórica, así como práctica con la utilización de los laboratorios con que cuenta la institución.

1.5.6. Delimitación del Contenido

El actual trabajo se halla parametrizado mediante el marco de teorías y referencias para el análisis técnico, como también del diseño, caracterización y simulación de los esfuerzos y vibraciones del sistema de suspensión posterior estándar, por medio del desarrollo investigativo fundamentado en base bibliográfica teóricas y técnicas, artículo científico, proyectos de titulación, página electrónica digital, entre otras, que se parametrizan apropiadamente para poder dar cumplimiento a los fines propuestos.

La estructuración del fundamento teórico se muestra en 4 capítulos como párrafos de texto con las recomendaciones y conclusiones. En cuanto a la investigación que se delimita de la siguiente forma:

En lo referente a la condicionante se determina que:

- Posee una visión en el estudio del material y la simulación de los esfuerzos y de la vibración de la suspensión posterior estándar.
- Aplicación de análisis a través del software Nastran para obtener la gráfica de la onda y amplitud de la vibración en distintas fases, como son los cambios de marcha, las revoluciones y tipo de calzada en que se moviliza el automóvil.
- Enfoque en la determinación de restricciones y objetivos, tales como la maximización de la eficacia que va a obtener del sistema en simulación y una mejora en el desplazamiento del prototipo.
- Evaluación de las resultantes obtenidas en los que se contienen mayoritariamente las vibraciones y esfuerzos producidos por la suspensión en modo dinámico.
- La visión en la mejora de la prestación, seguridad del vehículo y confort.

En lo referente a la delimitativa se demarca:

- Descarte total de procedimientos de análisis de ingeniería no correlacionadas con la resistencia de materiales, con las vibraciones producidas y cargas en estado real.
- No se procederá a abarcar ningún otro elemento ni sistema del automóvil que no sea parte de la suspensión posterior.
- No se abarcará otro tipo de simulación y diseño tales como lo es pruebas en físico de puntos de ruptura, desgastes, modelación de diseño geométrico ideal, cambios de componentes para comparación y caracterización con otros componentes ni consideraciones de rendimiento del M.C.I.

1.6. Alcance

El alcance del actual proyecto se enfoca en implementar un sistema de suspensión posterior estándar sobre un prototipo tubular biplaza con su respectivo análisis y simulación de las vibraciones y esfuerzos a los que se somete. Se considera la integración de simulación de onda, frecuencia y amplitud para modelación del comportamiento de la suspensión mediante diferentes cuantificaciones de cambio de marcha, velocidad y tipo de calzada, incluyendo las fórmulas base del procedimiento R.M.S.

Por consiguiente, no se abordarán aspectos correlacionados con la fabricación ni costes de fabricación. El análisis se enfoca propiamente en elaborar el proceso de adaptación y montaje del sistema de suspensión posterior en un vehículo tubular con componentes ya existentes en el mercado de autopartes en la localidad.

Capítulo II

Marco de Referencia

2.1. Automóvil Biplaza

(Hernández & Mendoza, 2022) mencionan que el automóvil biplaza está compuesto por una estructura tubular que tiene más seguridad y rigidez, la misma que es capaz de circular por toda clase de superficies dado a la dimensión y al modelo robusto. Como su nombre lo indica se lo diseña con dos ocupantes, por lo que va a tener más peso y requiere de un motor con más cilindraje que el monoplaza. Ver Figura 1.

Figura 1

Automóvil Biplaza

Fuente: (Martínez, 2016)

2.2. Tipos de Suspensión Automotriz

En el campo automotriz existen diferentes tipos de suspensiones, las principales son las siguientes:

- Mecánicas rígidas: en las que la suspensión de un neumático va unida al otro mediante un eje rígido, transmitiendo vibraciones del uno al otro
- Semirrígidas: igual a la suspensión rígida con la diferencia de disponer menos peso no suspendido.

- De eje torsional: utilizada en suspensiones posteriores de automóviles que disponen tracción delantera
- Mecánicas independientes: los neumáticos disponen una suspensión independiente para cada uno, por cuanto no existe las vibraciones. A su vez se subdividen en:

  De eje oscilante: este sistema lo compone un elemento de rodadura y el semieje a la par es solidario (salvo el giro del neumático), de forma que el conjunto oscila alrededor de una articulación próxima al plano medio longitudinal del automóvil.

  De brazos tirados: se caracteriza por disponer 2 brazos en disposición longitudinal que se unen por un extremo al bastidor y por el otro a la mangueta del neumático, si el eje es de tracción, el grupo diferencial va anclado al bastidor, en cualquier caso, los neumáticos son arrastrados por los brazos longitudinales que pivotan en el anclaje de la estructura.

  Tipo McPherson: es uno de los más utilizados en trenes delanteros y posteriores. La mangueta del neumático va anclado al cubo, permitiendo el giro de éste mediante el rodamiento, a su vez la mangueta va junto al bastidor a través del brazo inferior y el muelle helicoidal-amortiguador.

  De paralelogramo deformable: también se llama suspensión por trapecio articulado o suspensión de triángulos superpuestos. Está constituido por el brazo superior e inferior que se unen al bastidor por medio de pivotes. La mangueta está articulada con brazos mediante rótulas esféricas que permiten la dirección del neumático, los componentes elásticos y amortiguadores coaxiales son del tipo resorte helicoidal e hidráulico telescópico respectivamente, y se unen por su parte baja al brazo inferior y por su parte superior al bastidor.

Multibrazo: similar a la de paralelogramo, pero con la diferencia que pueden tener anclajes elásticos mediante manguitos de goma. Éstas a su vez pueden ser de guía transversales u oblicuos.

Cada uno de los tipos de suspensión puede cambiar su configuración según el tipo de fabricante y aplicación en el montaje de vehículo, donde se puede encontrar suspensiones a gas, neumáticas, electrónicas, entre otras.

2.3. Sistema de Suspensión Estándar

El sistema de amortiguación del vehículo es la agrupación de componentes y mecanismos, los cuales tienen de misión que se deba asegurar el roce del neumático con el suelo, brindando estabilidad a la conducción y seguridad de los ocupantes y al automóvil en las irregularidades del camino. Ver Figura 2. Los automóviles que son de competencia generalmente pretenden incrementar el rendimiento en cada uno de los sistemas que lo integran, en lo que respecta a la técnica de suspensión tiene que sobre todo estar enfocada a optimizar los desbalances y las anomalías que se pueden crear en el vehículo.

Figura 2

Sistema de Suspensión Estándar

Fuente: (Martínez, 2016)

(Portilla, 2020) mencionan que los automóviles poseen una suspensión apropiada para el desempeño y trabajo al que va a estar sometido y de igual forma cumple con algunas funciones que son complementarias, las mismas que se detallan a continuación:

- Contribuir a que los neumáticos se encuentren siempre en roce con la calzada posibilitando la amortiguación y que la misma absorba dichas irregularidades para reducir la reacción de vibración en la estructura.
- Preservar el trabajo apropiado de la dirección, conservando la forma al efectuar un viraje o pasar por distintas situaciones de terreno.
- Resistir la masa del automóvil en todo instante.
- Reducir la(s) carga que se crean al acelerar, frenar y efectuar un viraje, afianzando al automóvil apropiadamente.

(Hernández & Mendoza, 2022) mencionan que la suspensión posterior es un sistema de guía que conecta los dos neumáticos y constituye en esquema rígido sobre el cual se monta el puente estabilizador.

2.4. Masas Suspendidas y No Suspendidas

(Portilla, 2020) mencionan que cuando se han resumido y evaluado las funciones del sistema de suspensión se tiene que tomar en consideración las masas suspendidas y no suspendidas del vehículo para entender el trabajo, esfuerzos y vibraciones que soporta el sistema de suspensión.

(Adanaque & Flores, 2019) indican que los elementos suspendidos son aquellos que no tienen un contacto con la superficie (Ver Figura 3), entre ellos está:

- Motor
- Tanque de combustible
- Chasis
- Elementos auxiliares del confort, entre otros.

Figura 3

Masas Suspendidas

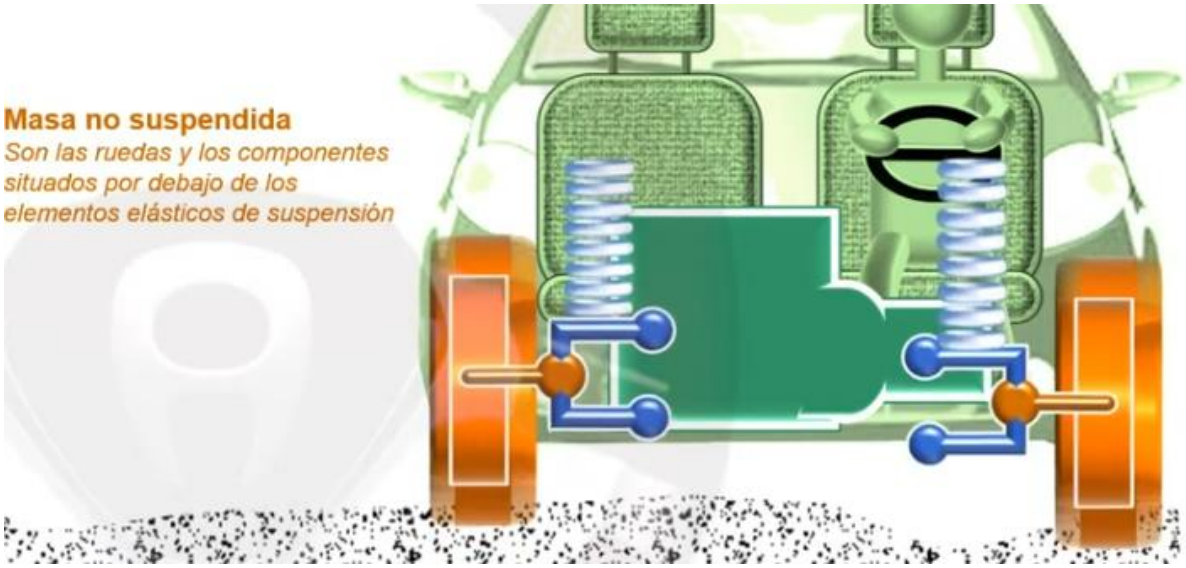
Fuente: (Tecnología del Automóvil, 2020)

(Adanaque & Flores, 2019) indican que los elementos no suspendidos son aquellos que tienen un contacto con la superficie (Ver Figura 4), entre ellos está:

- Ejes de transmisión
- Amortiguadores
- Sistema de frenos, entre otros.

Figura 4

Masas No Suspendidas



Fuente: (Tecnología del Automóvil, 2020)

2.5. Elementos del Sistema de Suspensión

(Portilla, 2020) mencionan que los componentes que conforman la suspensión son aquellos que se interponen entre las masas que no están suspendidas y en las masas suspendidas, dicho conjunto de elementos son los que absorben las irregularidades del terreno generando confort y seguridad en la conducción. En la Figura 5 se observa el sistema de suspensión de un vehículo tubular biplaza de competencia.

Figura 5

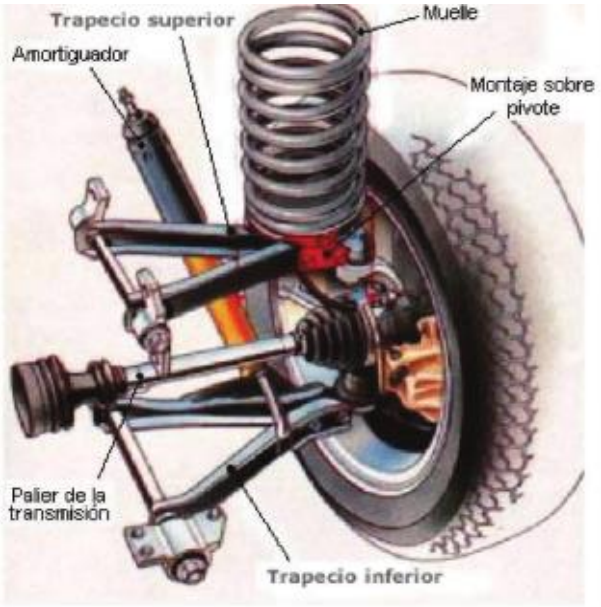
Sistema de Suspensión en Vehículo Tubular

Fuente: (Martínez, 2016)

(Portilla, 2020) dicen que los componentes elásticos son aquellos que disminuyen las vibraciones producidas por la calzada irregular que llegan de manera de golpes a la carrocería, manteniendo los neumáticos en contacto siempre con el suelo, optimizando estabilidad y dirección del vehículo. En la Figura 6 se muestra los elementos elásticos de la suspensión.

Figura 6

Elementos Elásticos de la Suspensión



Fuente: (Martínez, 2016)

Otros elementos elásticos que componen el sistema de la suspensión son:

- Neumáticos: son los componentes que tienen que tolerar el peso de todo el vehículo, las fuerzas de la inercia generadas en las diferentes desaceleraciones y aceleraciones, crea grandes esfuerzos que son tangenciales en la banda de la rodadura y son los que se encargan de mantener una trayectoria del vehículo. En la Figura 7 se muestra al neumático con sus diferentes componentes los cuales son:

  Banda de rodamiento

  Gomas

  Lonas de la carcasa

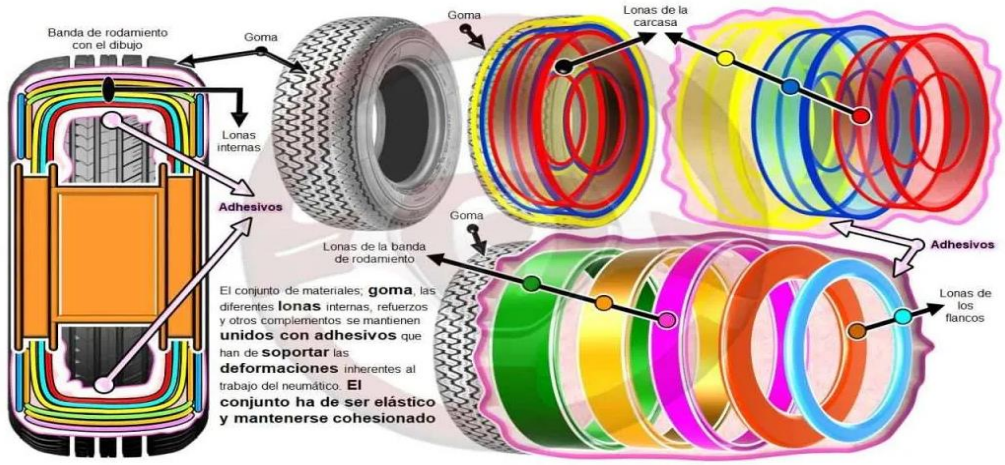
  Lonas de la banda de rodamiento

  Lonas de los flancos

  Adhesivos

Figura 7

Neumático y sus Componentes

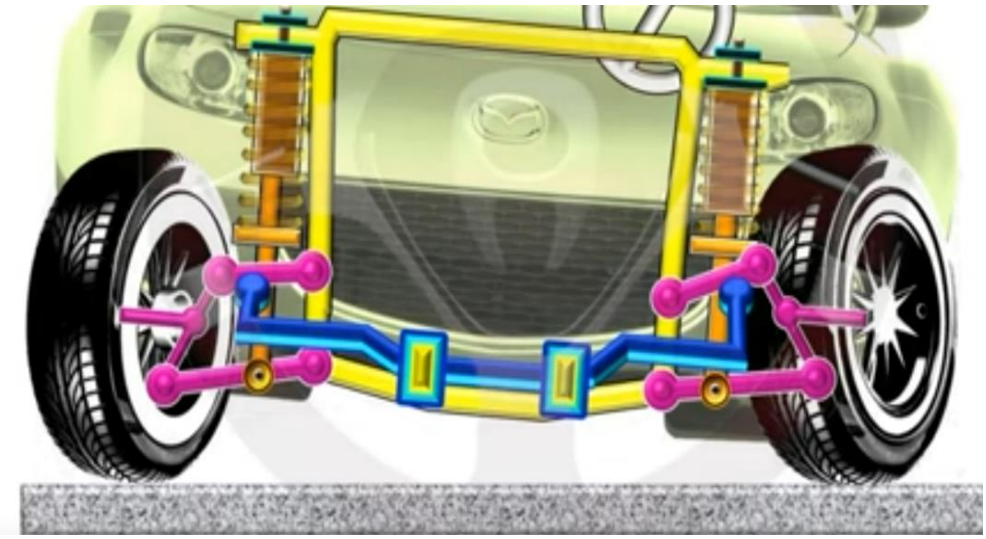


Fuente: (Tecnología del Automóvil, 2022)

- Barra de torsión: se usa frecuentemente en suspensión del tipo independiente y se rige al principio del cual si a una barra de acero elástico sostiene por uno de sus lados se le implementa por el otro lado un esfuerzo de torsión, ésta barra va a tener que retorcerse regresando a una manera inicial debido a su elasticidad cuando los esfuerzos de detorsión cesan. En la Figura 8 se muestra la barra de torsión.

Figura 8

Barra de Torsión



Fuente: (Tecnología del Automóvil, 2016)

El sistema de suspensión dispone de componentes de amortiguación con el fin de poder frenar las oscilaciones que proceden de los componentes elásticos cuando los mismos atraviesan caminos irregulares.

Los componentes elásticos tienen baja capacidad de absorber la energía mecánica por lo que se demanda aplicar de componentes que sea de amortiguación.

En la Figura 9 se muestra la gráfica de la(s) oscilación que se crean en los resortes en un tiempo establecido de prolongación, las cuales podría ser incómodos en los ocupantes del automóvil, así como también de la seguridad activa y pasiva, por ende, se dispone de amortiguadores para absorber dichas oscilaciones que se crean en el resorte.

Figura 9

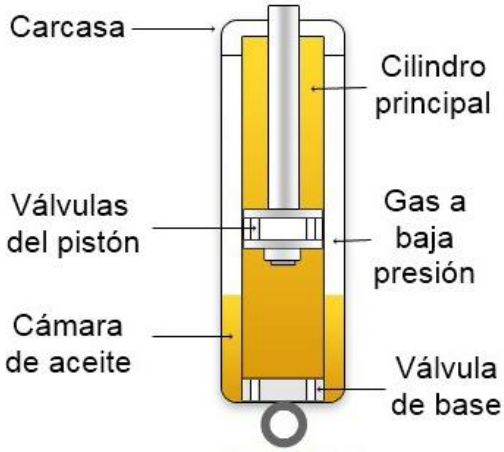
Curva de Amortiguamiento

Fuente: (Tecnología del Automóvil, 2016)

(Hernández & Mendoza, 2022) mencionan que el amortiguador cuando es del tipo de dos tubos dispone de funcionamiento de doble acción y en su interior el líquido hidráulico tiene la capacidad de tolerar las bajas temperaturas internas (-40°C) a elevadas temperaturas externas (120° C). Además, se componen internamente de válvulas que se encargan de manejar la presión y consecuentemente a ello la amortiguación que varía de acuerdo con la velocidad que el pistón efectúe su trabajo. Ver Figura 10.

Figura 10

Amortiguador de 2 Tubos



Fuente: (Tecnología del Automóvil, 2016)

Las funciones que cumple el amortiguador son las siguientes:

- Controlar las oscilaciones, desbalances en el frenado y sostener la estructura de la carrocería del vehículo en las desaceleraciones y aceleraciones bruscas.
- Proporcionar una conducción y frenado uniforme (estabilidad).
- Hacer que los neumáticos se mantengan en contacto con el suelo y su desgaste sea uniforme.
- Reducir la fatiga y aumentar la seguridad del conductor.

2.6. Factores de Trabajo del Sistema de Suspensión

(Martínez, 2016) mencionan que de acuerdo con la disponibilidad del M.C.I del automóvil las suspensiones sobre el eje tienen que someterse a algunas variables que señalan el comportamiento de las ruedas directrices interviniendo por ello en la geometría de la dirección. En el caso de los vehículos tipo tubular biplaza de competencia la tracción es posterior por lo que disponen de más peso del automóvil en el eje posterior y por ende deben poseer las siguientes características:

- Maniobrabilidad: para (Martínez, 2016) si la suspensión es muy blanda el conductor tendrá cierto retraso en el control del vehículo provocado por las oscilaciones que se

crean en las condiciones de la calzada, por lo cual se recomienda en el caso de vehículos tubulares poseer una suspensión con un elevado nivel de rigidez con el propósito de disminuir las oscilaciones o las anomalías generadas en el mismo.

- Centro de gravedad o baricentro: (Hernández & Mendoza, 2022) señala que es el punto donde se centran varias fuerzas de inercia que actúan en el vehículo. Cuando el baricentro está lo más cerca del nivel del suelo las fuerzas de inercia son las que pueden quedar equilibradas debido a las fuerzas que se crean en los neumáticos, pero si el baricentro está en lo más alto del suelo se lo puede equilibrar con el desplazar las cargas lo más cerca posible del centro del automóvil.
- Transferencia de masas: (Hernández & Mendoza, 2022) señala que existe dos clases de transferencias de masas, el primero donde el vehículo gira en curva y la masa se transfiere a las ruedas interiores de la curva hacia el exterior y el segundo que pasa por el eje delantero al posterior cuando se acelera y del eje posterior al delantero cuando se frena.
- Ángulos de los neumáticos: (Hernández & Mendoza, 2022) indica que según el tipo de suspensión que se aplique en las ruedas directrices se tiene que valorar los ángulos de los neumáticos dado a que las mismas no tienen que ser totalmente paralelas ni verticales en el eje longitudinal del automóvil. Esto debido a que se debe tener un ángulo apropiado para que los neumáticos no se arrastren en la calzada cuando el vehículo se desplaza en rectas, lo cual puede provocar su desgaste prematuro y una dirección inapropiada.

2.7. Oscilación y Frecuencia

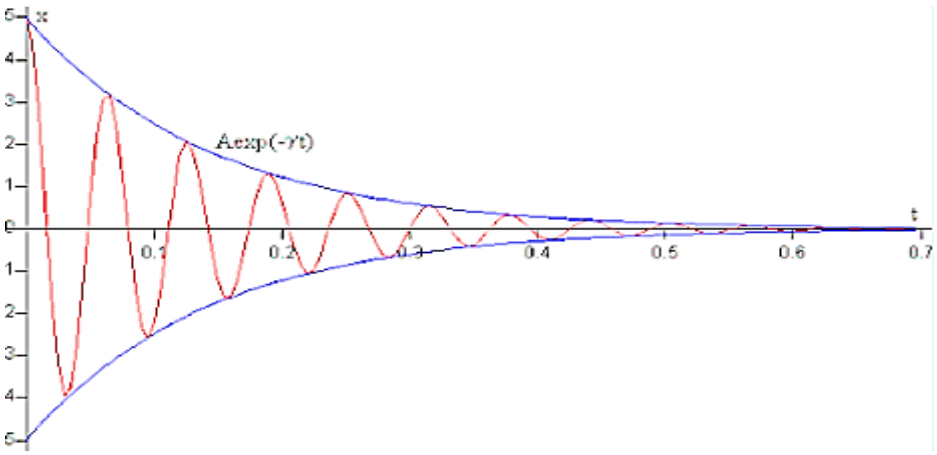
La oscilación se puntualiza como un cambio de energía cinética en potencial gravitatoria y en viceversa. Para (Gesellschaft & Zysammenarbeit, 1980) la oscilación se fundamenta en "…si una masa (cuerpo) cuelga de un resorte helicoidal, en la posición de reposo

la fuerza del resorte será igual a la del peso del cuerpo…". Por cuanto se va a producir la amplitud, en otras palabras, movimiento hacia arriba por sobre la primitiva posición de descanso hasta el punto superior de regreso (la distancia del punto superior) e inercia de las masas en la posición de descanso y que a razón del incremento de la fuerza del resorte es prorrogado (inferior de retorno).

El proceso oscilatorio continuo trae consigo que la repetición constante genere que la energía de movimiento pase a ser rozamiento del aire (calor), y del resorte a lo cual se llama oscilación amortiguada, como se ve en la Figura 11.

Figura 11

Oscilación Amortiguada

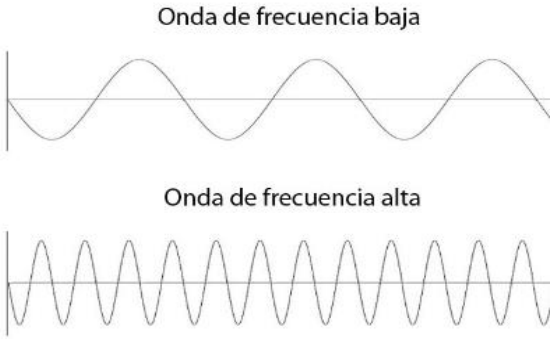


Fuente: (Tecnología del Automóvil, 2016)

Cuando el cuerpo por choque (empuje) o golpe se produce la denominada resonancia, en otras palabras, aumento de la amplitud oscilatoria en virtud de la oleada de energía nueva. Por citar, el moverse sobre una calzada de 3er orden. Al mismo tiempo se produce la frecuencia denominado número de oscilación(es) por segundo, esta dependerá de la masa del elemento que oscila y de la característica(s) mecánicas y físicas de la espiral. De darse un resorte flojo y una masa grande, se alcanzará una frecuencia pequeña con un gran amortiguamiento, pero de ser un resorte fuerte y de masa pequeña se obtendrá la frecuencia grande con el amortiguamiento pequeño. Ver Figura 12.

Figura 12

Representación de la Frecuencia



Fuente: (Tecnología del Automóvil, 2016)

Para que se dé la oscilatoria total debe haber una expansión y compresión de la espiral, en la que no interceden los amortiguadores dado a que éste hace el trabajo de enfrentar resistencia al trabajo de la espiral para disminución de la amplitud. Por ende, entre más carga de peso existe, menor es la propia frecuencia de la oscilación. En la Tabla 1 se muestra la frecuencia de oscilación por minuto que se produce comúnmente acorde al tipo de suspensión que se tiene y que puede influir en la ergonomía del ocupante.

Tabla 1

Frecuencias por el Tipo de Suspensión

Tipo de suspensión	Frecuencia (oscilaciones por minuto)	Injerencia	Corrección
Suspensión semi-dura	90	Podría generar sacudidas a nivel de la columna vertebral del ocupante.	Recomendable para vehículos de fuerte carga.
Suspensión blanda	60	Podría generar mareo y malestar a los ocupantes del vehículo.	El espiral debe generar la oscilación completa
Suspensión dura	100	Automóvil pequeño y de mínima carga, nula o baja.	Velocidad moderada

En la Tabla 2 se muestra la frecuencia de oscilación por minuto acorde al cilindraje del M.C.I.

Tabla 2

Frecuencias por el Cilindraje del M.C.I

Cilindraje	Frecuencia (oscilaciones por minuto)
> 1.6 cc	70
< 1.6 cc	85 – 95

2.7.1. Vibración

Con el aparecimiento de los iniciales instrumentos musicales (tambor, arpa, silbato, entre otras) nace el saber por qué se genera la vibración. Los filósofos del año 4000 A.C se concernieron en el contenido para optimizar la calidad de los sonidos. Como fundamento científico se inicia en el 583 A.C en donde el matemático griego Pitágoras investiga al sonido musical por medio de experimentos con instrumento monocordio (una sola cuerda), siguiente le aumentaría una segunda cuerda, concluyendo que la cuerda larga genera una nota baja mientras que la cuerda más corta la nota alta, y si la cuerda corta es mitad de longitud de la larga genera una nota 8va en la otra cuerda, por cuanto dio el primer inicio a lo que más tarde se denominaría frecuencia y tono (en el siglo XVI por medio del filósofo Galileo). Cuando China en el siglo II era un país de sismos continuos, el astrónomo e historiador Zhang Heng, genera el 1er instrumento para sismógrafo (medidor de sismos), el diseño era en forma de jarrón de vino hecho de fino bronce fundido (ver Figura 13), en el cual se tenía un péndulo rodeado por un conjunto de 8 palancas cada una apuntando en una diferente dirección. Dicho sismógrafo contenía 8 siluetas de dragón en torno a su estructura, en cada uno en las fauces tenía una bala de bronce, por debajo de cada dragón en la base se tenía 8 ranas con la boca abierta hacia arriba. Mediante ese artefacto se suponía que, al producirse un sismo en cualquier dirección, el

péndulo se inclinaba en aquella dirección y precipitaba la palanca en la cabeza del dragón, generando que éste arroje la bala de bronce y se arroje en la boca de la rana produciendo un sonido metálico para determinación del tiempo como resultante de la dirección de ocurrencia del sismo.

Figura 13

Sismógrafo de Zhang Heng

Fuente: (Martínez, 2016)

En el año 1686 Sir Isaac Newton publica los Principios matemáticos de filosofía natural, donde su segunda ley contempla las vibraciones con derivación a las ecuaciones de movimiento para un cuerpo que genera vibración.

Con la generación de los ordenadores de alta velocidad, se pudo dar paso a que los técnicos utilicen el método finito para análisis de vibraciones numéricas implicado en sistemas estructurales, vehiculares y mecánicos, en desarrollos de mallados con grado de libertad.

Por cuanto la vibración es y ha sido materia de estudio en diversos campos, y en el automotriz se podría ilustrar que si su aplicación y control no es adecuado podría ser un inconveniente, por citar, vibración excesiva en el tablero de instrumentos provoca lecturas erróneas y un mal trabajo. La vibración se puede clasificar en:

- Libre: sí un sistema vibra por sí mismo tras una perturbación inicial, por cuanto no interviene ninguna fuerza externa.
- Forzada: sí hubiese una fuerza externa y coincide con la frecuencia natural del sistema generará la condición denominada resonancia, la cual obedeciendo la ocurrencia y su entorno en que esté podría provocar fallas muy fuertes en el sistema.
- Vibración no amortiguada: sí no se disipa o pierde energía por fricción u otra resistencia en el tiempo de la oscilación. Ver Ecuación 1.

Ecuación 1

Frecuencia Natural de Vibración del Sistema

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Donde:

m = masa del sistema

k = rigidez del sistema

w_n = frecuencia natural de vibración del sistema

- Vibración amortiguada: sí se da el efecto adverso a la vibración no amortiguada. Ver Ecuación 2.

Ecuación 2

Coeficiente Crítico de Amortiguamiento

$$c_{cr} = 2mw_n$$

Donde:

m = masa del sistema

w_n = frecuencia natural de vibración del sistema

c_{cr} = frecuencia natural de vibración del sistema

- Vibración lineal: cuando todos los elementos del sistema (masa, resorte y amortiguador) se comportan linealmente.
- Vibración no lineal: se da el efecto contrario a la lineal.

Las vibraciones se describen por:

- Frecuencia: es la cantidad de repeticiones por segundo que se genera un periodo. Se calcula en hertzios (Hz).
- Dirección: la vibración(es) va en 3 direcciones lineales (lateral – y, longitudinal - x, vertical - z) y tres rotacionales (cabeceo – r_y, balanceo - r_x y deriva r_z)
- Periodo: es el intermedio del tiempo requerido para que el sistema produzca un ciclo completo de desplazamiento.
- Amplitud: muestra la intensidad de la vibración(es) del sistema. Se calcula en velocidad (m/s), aceleración (m/s^2) y en desplazamiento (m).

2.8. Modelado y Simulación del Sistema de Suspensión

El Software Inventor tiene en su constitución al simulador Nastran (ver Figura 14), un programa computacional de herramientas profesionales para diseño y simulación del tipo arquitectónico, mecánico, de ingeniería, estructural, entre otros, a la par permite la comparación, documentación y visualización de modelos 3D.

Por lo cual permite agrupar los valores en 2D y 3D en el mismo medio y único, consintiendo el tener una vista virtual del elemento acabado que permitirá simular y estudiar el diseño geométrico, funcionamiento, forma y ajuste del componente formado, antes de su construcción, por cuanto se genera componentes con mínimos costes de construcción y acabados mejores.

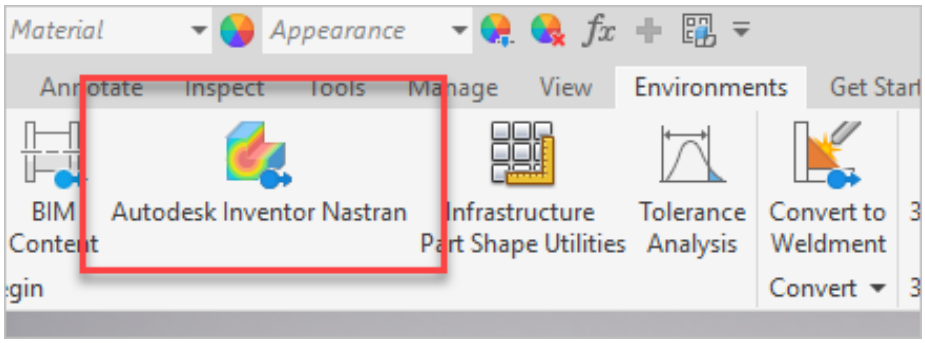
Por medio de la biblioteca virtual se podrá escoger componentes estándar de diseño personalizable como engranajes, conexión(es) por pernos, tornillería, acero, tubos, leva, entre otras.

Por lo tanto, se concluye que el software Nastran es adaptable al trabajo propuesto debido a que contribuye a que se genere la simulación numérica y de medio aplicado en suspensión automotriz, previamente al boceto 3D en el programa se generará el boceto en 2D, para proceder con la evaluación(es) bajo método de elemento finito, evaluación(es) de amplitudes, fatiga, esfuerzos y vibración(es).

Y con lo cual se determina el sistema de suspensión posterior estándar aplicable para el prototipo tubular biplaza.

Figura 14

Pantalla Principal del Software Nastran 2021



Fuente: (Vera, 2017)

Capítulo III

Metodología

3.1. Métodos

La metodología de investigación para la implementación de un sistema de suspensión posterior estándar sobre prototipo tubular biplaza involucra el modelado y simulación con la aplicación de variación(es) controlada(s) de la configuración ya establecida para visualizar la onda generada y esfuerzos a los que están sometidos. El estudio basado en algoritmo(s) explora la gráfica(s) de onda producida en movimiento, arranque y reposo, y así también los esfuerzos producidos. Dichos procesos unen el análisis exacto con enfoque de algoritmo para el estudio eficiente y real en el sistema de estudio.

3.2. Tipo de Estudio

La investigación experimental del estudio se interpreta como la investigación experimental y analítica. Utiliza las simulaciones de la vibración(es) y el esfuerzo(s), a la par el parámetro(s) de onda, frecuencia y fases. El trabajo se fundamenta en la aplicación práctica de técnica(s) de técnica mecánica en un ambiente real, con el fin de implementar y estudiar el sistema que aporta la amortiguación del prototipo tubular biplaza y la seguridad en el mismo, al momento de direccionarse en disímiles tipos de calzada. Se usa cálculo numérico y resultado de simulación para avalar las recomendaciones y conclusiones.

3.2.1. Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva se fundamenta en la manipulación controlada y deliberada de variantes en el medio para entender la relación de efecto y causa. En esta perspectiva, se diseña simulaciones con pares de controles y variaciones, y se analizan y registran los resultados cuantitativos. El fin es implementar y validar la hipótesis científica, investigar relación de trabajo y determinar resultados basados en prueba real y empírica.

3.2.2. Método Descriptivo

Al usar la metodología descriptiva se puede analizar, implementar y mostrar por medio del proyecto propuesto, y así alcanzar un exacto análisis de simulación y experimental, así como el análisis de estructura e identificación en la que se conseguirán resultados para estipular cada resultado y alcanzar una conclusión.

3.3. Materiales

El enfoque sistémico y de los procesos a seguir aporta a elaborar el trabajo presente de análisis de vibración(es) e identificación del sistema de suspensión, con el proceso, modelado y simulación del sistema, tomando en cuenta a la física en su fase de estudio y cálculo de la(s) vibración(es). Así mismo se efectúan algoritmos de inspección por medio de sistema de software de ingeniería asistida, y de esa forma encontrar la diferente onda y amplitud producto de la vibración.

Las conclusiones obtenidas se proceden a estudiar y evaluar a través de criterios de identificación, así también el rendimiento a conseguir en seguridad pasiva y activa del prototipo tubular y amortiguación de la estructura de esta. Cada uno de estos criterios metodológicos se

- Descripción de la metodología del estudio de vibraciones y esfuerzos.
- Análisis de vibración y esfuerzo.
- Solución de fórmulas base.
- Definición de amplitud(es) y onda(s).
- Diseño y simulaciones del sistema de suspensión posterior.
- Evaluaciones de conclusiones obtenidas.

3.4. Análisis y Descripción de Vibraciones

(Rivera, 2022) en su libro de Vibraciones Mecánicas, dice que "… un sistema vibratorio es dinámico si variables como las entradas (excitaciones) y salidas (respuestas) dependen del

tiempo.”. Por consiguiente, la contestación de la vibración estribará de las condiciones iniciales como de las entradas externas.

Cuando se genera el análisis de vibración se toma en cuenta la complicación y detalle matemático que acapara, por cuanto se define el punto principal para pronosticar el comportamiento en el sistema con ciertas condiciones específicas. El detalle matemático personifica cada punto de partida y detalles con el fin de derivar las ecuaciones matemáticas que rigen en el sistema de análisis. Puede ser lineal si se necesita medidas sencillas y rápidas de manipular o no lineal cuando se necesita hallar el detalle y mostrar cierta característica propia del sistema.

Se comienza de forma veranea en donde se caracteriza el sistema de suspensión en su generalidad total, continuando con un estudio base del trabajo y comportamiento del sistema. De ahí se procede a fundamentar el asiento del proyecto con el diseño y el estudio del sistema para ver su constitución como es.

Seguidamente se pasa con el principio de la dinámica para conseguir las ecuaciones que describen las vibraciones del sistema, como son las ecuaciones de movimientos que provienen del diagrama de cuerpo libre y en el que se determina la fuerza externa aplicada, de inercia y reactivas. Así también se aplica el principio de la conservación de la energía, el principio D’Alembert, la segunda ley del movimiento de Newton y el análisis de esfuerzos en cuerpos sólidos.

3.5. Ecuaciones Base

Con fundamento en las fórmulas de movimiento se pasa a la resolutiva, ya sea por el procedimiento de trasformada de Laplace, ecuación(es) diferencial(es), numéricas y/o matrices. Dada el ambiente del trabajo se utiliza el procedimiento numérico que se podrá solucionar a través de software de diseño y alcanzar resultados versátiles acorde los juicios que se introduzcan.

La función de las fórmulas es de realizar un análisis y obtener resultados de los esfuerzos y vibración(es) del sistema de suspensión posterior agrupando todo el pormenor requerido para evitar resultados erróneos y error de cálculos, con lo que se podrá determinar si cumple con todas las exigencias de uso y la seguridad, y aplicación en el prototipo tubular.

3.6. Consideraciones de Restricción de Diseño

Al momento de la consideración de restricciones de diseño para componente se podrá observar y estudiar los componentes base en la optimización(es) topológica, los cual desempeña un fundamento en la realización de las medidas reales y variantes. Estas limitantes establecen la condición y límite, en el cual trabajará el componente en diseño, para así garantizar su función y requisitos mínimos como son de seguridad. Las limitaciones de diseño involucran aspectos como frecuencia y variación de oscilaciones que produce el amortiguador en disímiles revoluciones del M.C.I y en la clase de calzada en que se encuentre

Para la discriminación de la restricción dependerá la aplicación de las conclusiones del elemento y la forma concreta a analizar, es decir para la cuestión del entorno de suspensión la restricción(es) que se incluyen son velocidad, revolución, clase de calzada y cambio de velocidad; en los requisitos de las vibraciones serían la onda, curva, amplitud y frecuencia, con ello se avala que los amortiguadores produzcan el menor de las vibraciones en trayectoria del prototipo tubular biplaza.

La restricción(es) en una fase de boceto son producto de estándares del campo automotor y mecánico, donde el principio fundamental a considerar es encontrar el balance de la estructura del elemento con la optimización y consecución de la restricción, por cuanto un elemento ideal desde la vista de la eficiencia podrá llegar a ser no realizable si no sé plasman las limitantes de trabajo y seguridad. Se considera que en algunos casos la limitación podrá oponerse y/o solicitar una unión entre distintos fines del dibujo. Por cuanto la generación de

optimización topológica interviene una visión iterativa y la generación del estudio detallado para así concertar cada medida y obtener un diseño que desempeñe con todas las necesidades.

En definitiva, las consideraciones de limitante en proceso de dibujo con la mediación de optimizaciones topológicas son fundamental para garantizar que la solución(es) obtenida(s) sea real y segura. Dichas limitaciones permiten concertar cada restricción para obtener la mejor estructura del elemento, aportando a un boceto ideal que contraste su aplicabilidad, eficiencia, trabajo y eficacia.

3.7. Proceso de Simulación Dinámica del Sistema de Suspensión Posterior Estándar

3.7.1. Consideraciones Iniciales

El análisis dinámico presente se lo genera para el esfuerzo presente en el estudio de la conducta de la suspensión que influye en la parte posterior del prototipo. Además, involucra el ciclo de frecuencia con porcentaje de daños al cual está sujeto, en consideración del factor de la carga que aguantará. En lo concerniente al material a ocupar para el sistema de suspensión se utiliza el que especifica el fabricante de amortiguadores para uso en vehiculares tubulares que es el acero aleado tipo isotrópico. En la Tabla 3 se detalla la propiedad mecánica del acero aleado tipo isotrópico.

Tabla 3

Propiedades de Acero Aleado Tipo Isotrópico

Propiedad	Valor
Modulo elástico	210 GPa
Densidad de masa	7700 Kg/m^3
Limite elástico	640.42 MPa
Coeficiente de Possion	0.28

El tipo de amortiguador que cumple con esa especificación de material en el mercado local son los utilizados en el Volkswagen Brasilia de marca Monroe. En la Tabla 4 se detalla las especificaciones técnicas del amortiguador.

Tabla 4

Especificaciones Técnicas del Amortiguador

Propiedad	Valor
Longitud Comprimida	317.5 mm
Longitud Extendida	517.525 mm
Tipo de montura superior	127mm x 38.1 mm
Material cubre polvo	Metallic
Tipo de montura inferior	127mm x 38.1 mm
Recorrido	200.025 mm
Peso de carga máxima	450 kg

En la Figura 15 se muestra el amortiguador real con el cual se tomará como base para el diseño computacional y poder estudiarlo.

Figura 15

Amortiguador del Volkswagen Brasilia de Marca Monroe

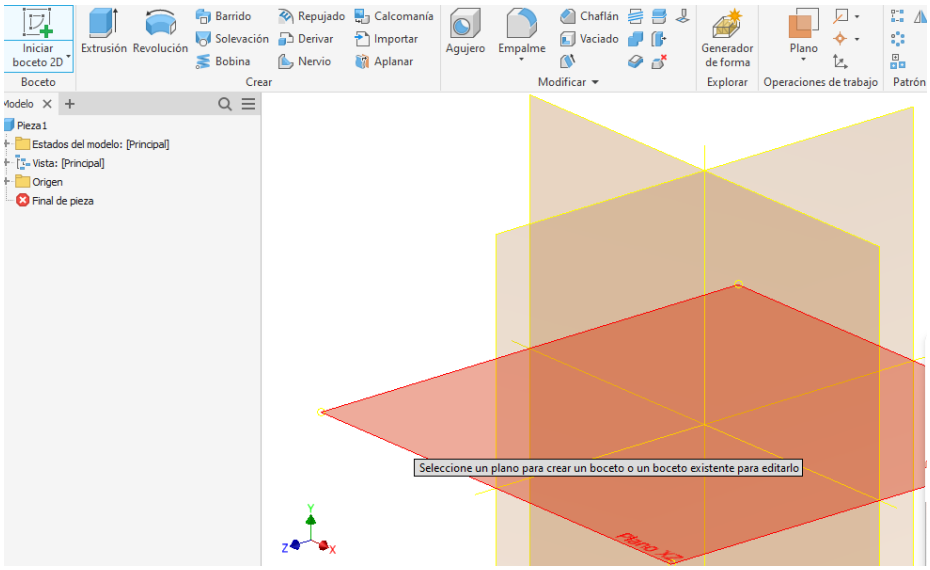
3.8. Modelado del Sistema de Suspensión Posterior Estándar

En base a las fórmulas del movimiento se pasa a la resolutiva, ya sea por procedimiento de ecuación diferencial, trasformada de Laplace, numérico y/o matriz. Dado el medio del trabajo se procede por el procedimiento numérico que se podrá solucionar a través del software y conseguir resultados múltiples acorde a los criterios que se introduzcan.

Se empieza con la modelación en el plano base los componentes como se muestra en la Figura 16.

Figura 16

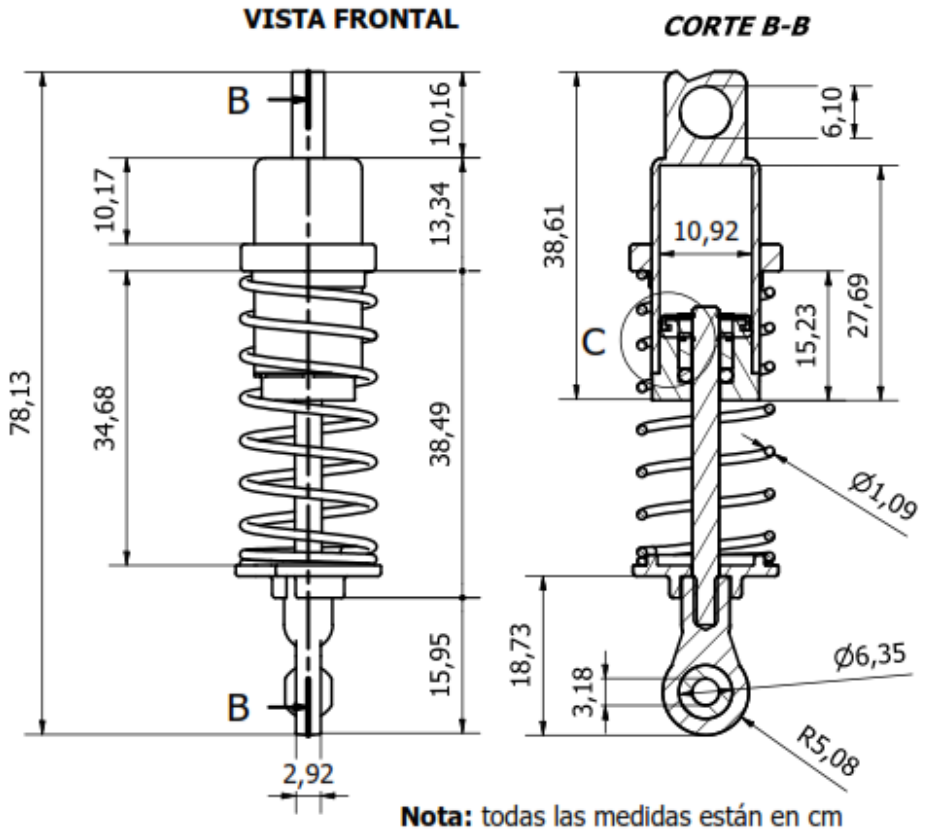
Plano Base para el Diseño en 2D



Se genera el diseño de la geometría en plano (2D) del amortiguador. Ver Figura 17.

Figura 17

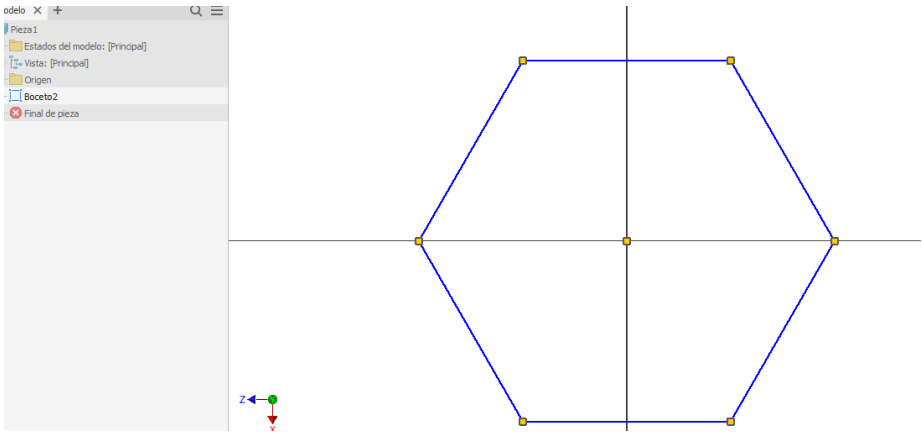
Plano del Amortiguador de Suspensión Posterior a Diseñar en 2D



Tomando como base la directriz del plano de la Figura 17 se procede a dibujar un hexágono de 6 lados que representa la fijación de las partes del amortiguador como se observa en la Figura 18, para luego se procede a dar un espesor y diámetro donde estará el pistón y así establecer un volumen al componente.

Figura 18

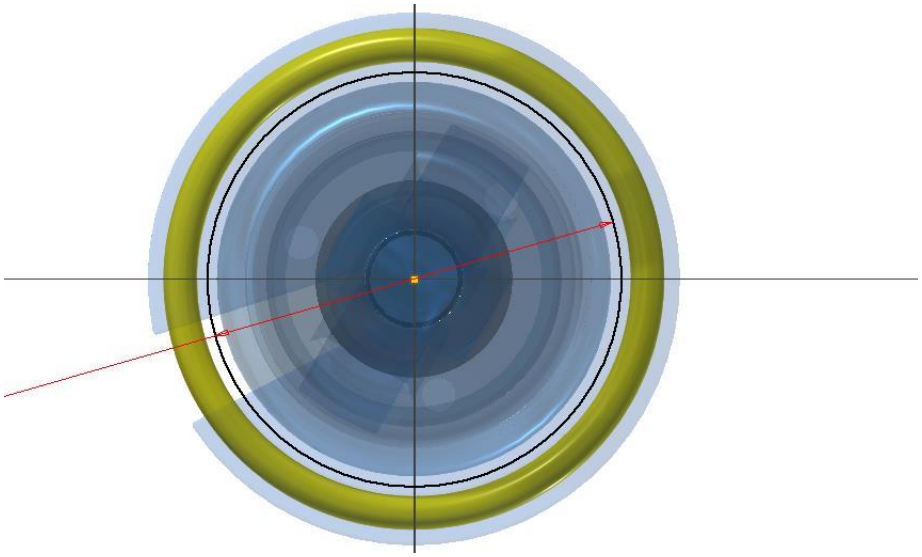
Dibujo del Hexágono de 6 Lados



Para el diseño 3D se toma en consideración la selección de la vista frontal con el objetivo de generar la porción del dibujo que después se estirará como se ve en la Figura 19.

Figura 19

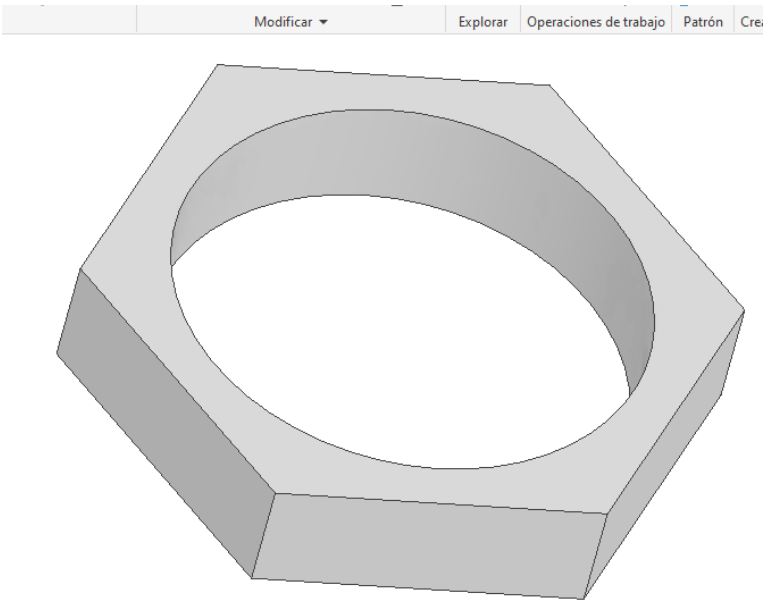
Selección del Plano del Dibujo a Diseñar en 3D



Se genera el modelo 3D a partir del diseño del hexágono y de esta manera poder generar los redondeos finales del componente. Ver Figura 20.

Figura 20

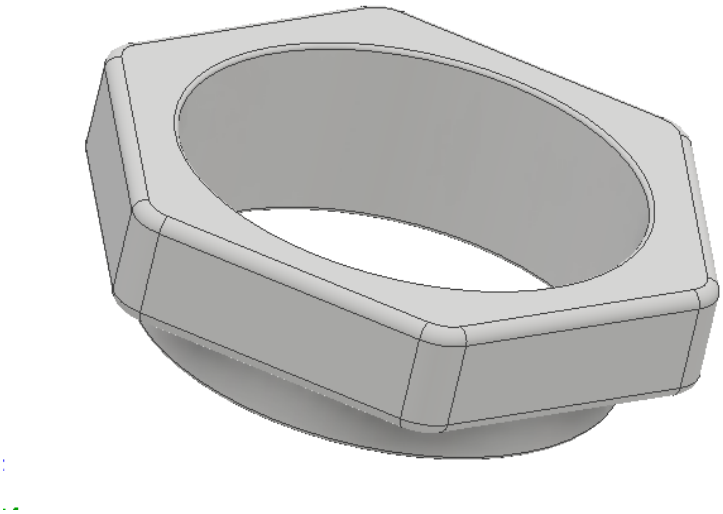
Generación del Modelo 3D del Hexágono



En la Figura 21 se muestra el hexágono en 3D con los redondeos finales.

Figura 21

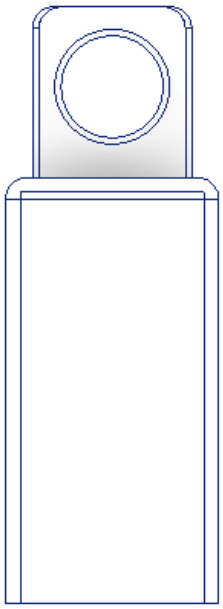
Hexágono en 3D con Redondeos Finales



Para la siguiente parte del amortiguador se genera la geometría en 2D de la boquilla, la cual se la realiza con revolución debido a que es una pieza simétrica. Ver Figura 22.

Figura 22

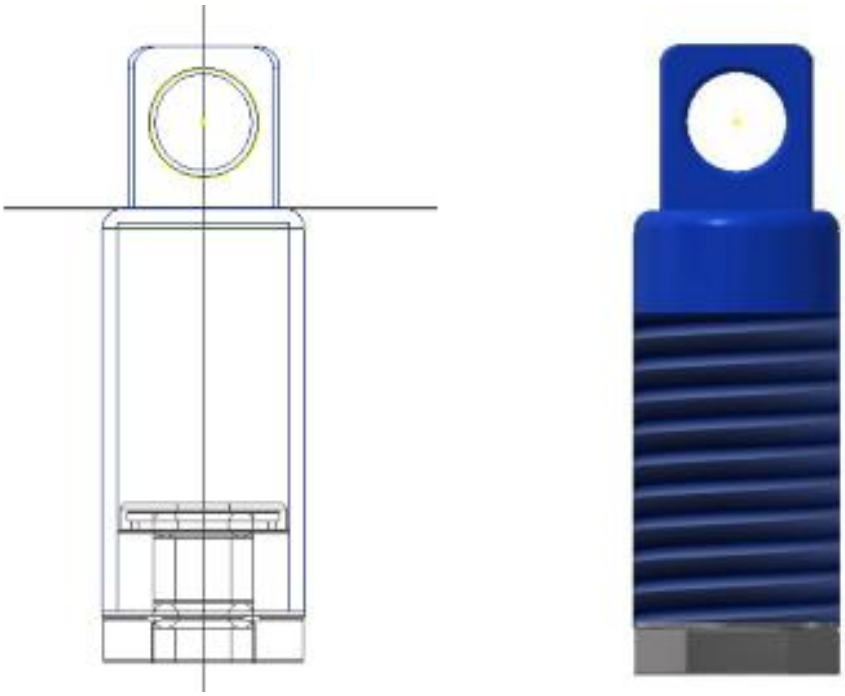
Generación del Modelo 3D de la Boquilla



Se modela en 3D la boquilla del amortiguador que se ensambla en la parte superior del amortiguador para que se pueda conectar con la carrocería del prototipo tubular. Ver Figura 23.

Figura 23

Modelado 3D de la Boquilla del Amortiguador



En la Figura 24 se observa la boquilla con el espesor acorde a la geometría que se tiene y la parte de la rosca que también se añade.

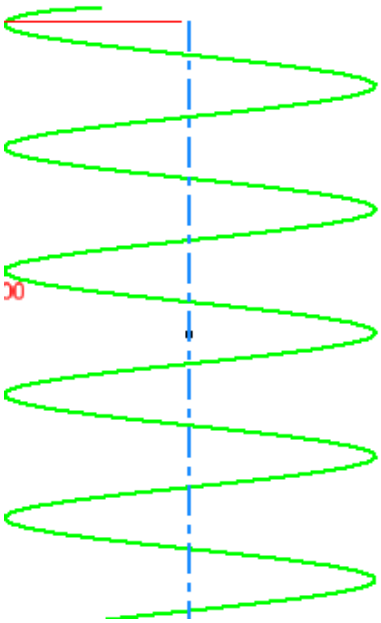
Figura 24

Modelo 3D Final de la Boquilla del Amortiguador

La parte del amortiguador como tal se genera a partir de la altura y el paso del resorte que se dispone. Ver Figura 25.

Figura 25

Generación Inicial del Amortiguador



Una vez determinada la altura y el paso del resorte se crea la geometría del volumen y el diámetro que tendrá el resorte. Ver Figura 26.

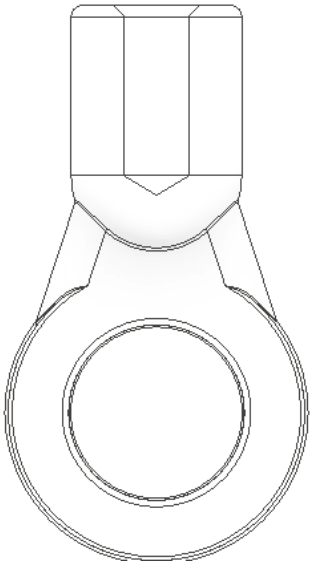
Figura 26

Geometría del Volumen y el Diámetro del Resorte

El siguiente elemento para generar es la rótula de fijación en 2D como se ve en la Figura 27.

Figura 27

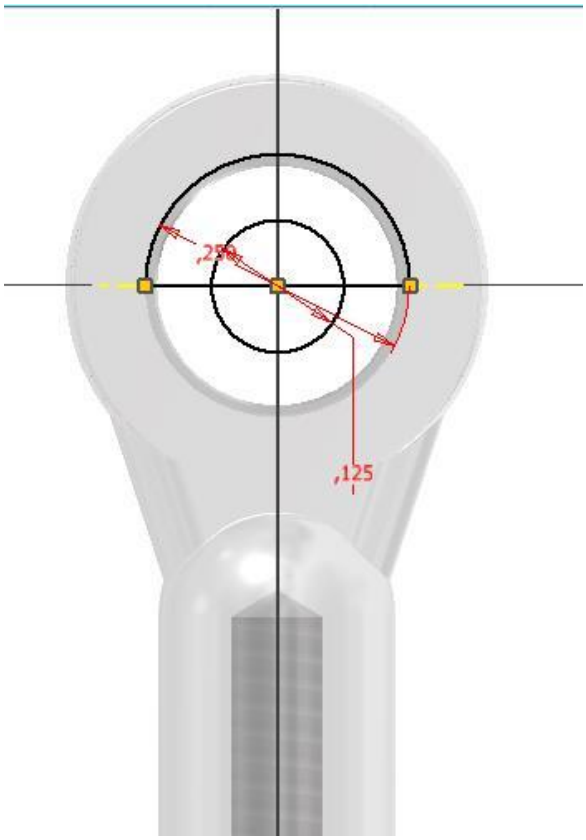
Generación del Modelo 2D de la Rótula de Fijación



Se modela las rotulas que van a ir fijadas al sistema de suspensión posterior para los cuales este tipo de rotulas estarán ancladas en dos sistemas (en la parte de superior y en la parte inferior). Ver Figura 28.

Figura 28

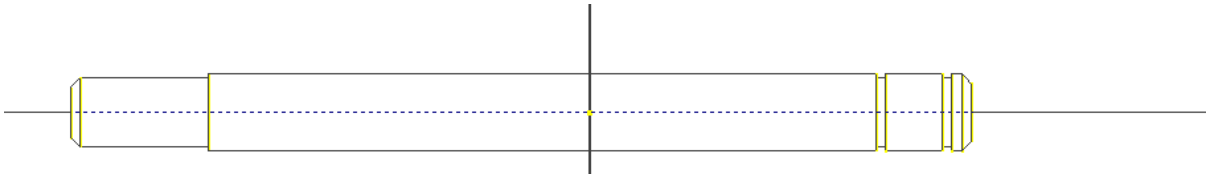
Modelado 3D de las Rotulas de Fijación



Como último elemento a generar para poder proceder con el ensamble final, es el pistón como se ve en la Figura 29.

Figura 29

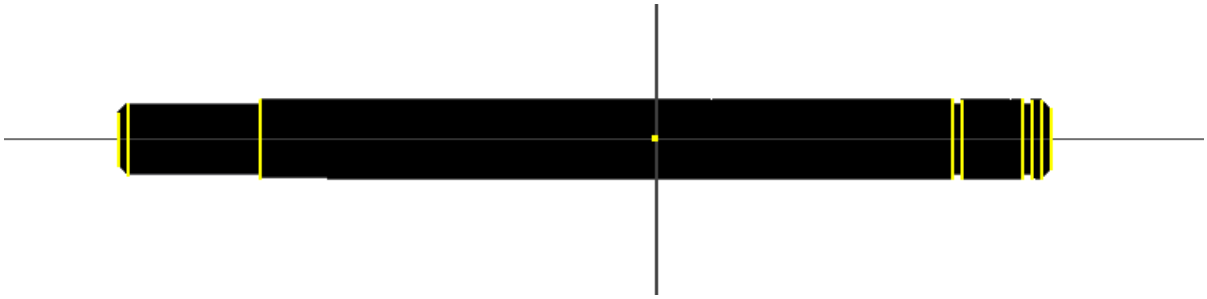
Generación del Modelo 2D del Pistón



Se modela el pistón del amortiguador de acuerdo con la geometría donde la parte actúa como uno de los principales elementos que se somete a la gran parte de los esfuerzos. Ver Figura 30.

Figura 30

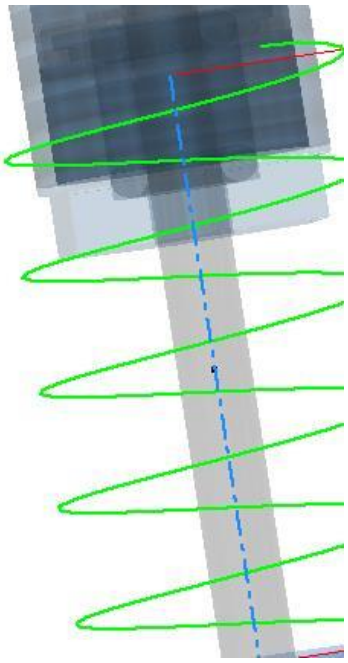
Modelado 3D del Pistón



Se procede a extruir la geometría del amortiguador como se ve en la Figura 31.

Figura 31

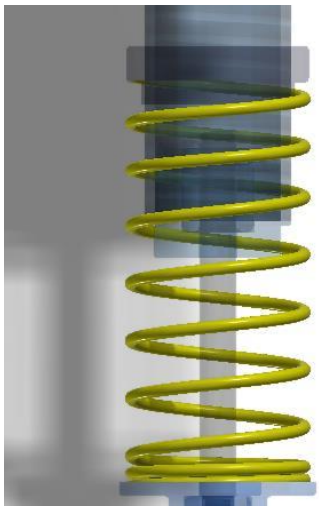
Extrusión del Amortiguador



Una vez realizada la extrusión se procede a generar el volumen del resorte para complementar el volumen que tiene el componente, se debe considerar las restricciones que van desde la parte superior hasta la parte inferior con sus límites de inicio hasta el final, como se ve en la Figura 32.

Figura 32

Generación de Volumen del Resorte



En la Figura 33 se observa el diseño final del amortiguador completo para la suspensión posterior estándar del prototipo tubular biplaza.

Figura 33

Modelado 3D Final del Amortiguador para Suspensión Posterior

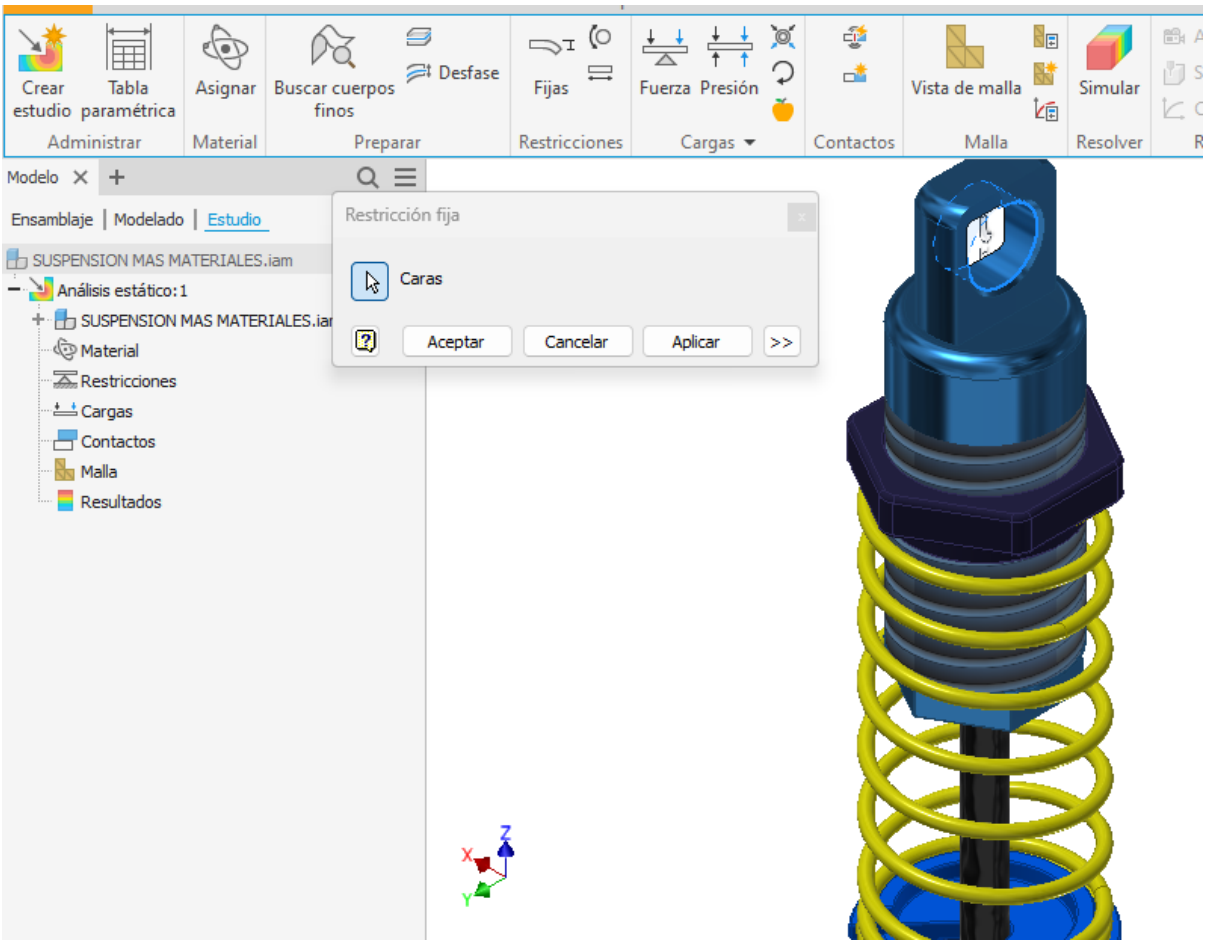
3.9. Simulación del Sistema de Suspensión Posterior Estándar

Se inicia con la ejecución de análisis de tensión donde se obtiene los esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad fatiga, los resultados dependerán del comportamiento y la carga que se aplica a la suspensión.

Se fija a la geometría en donde estará actuando las fijaciones para las composiciones diferentes esto con el fin de restringir los grados de libertad que obtendrá la suspensión. Ver Figura 34.

Figura 34

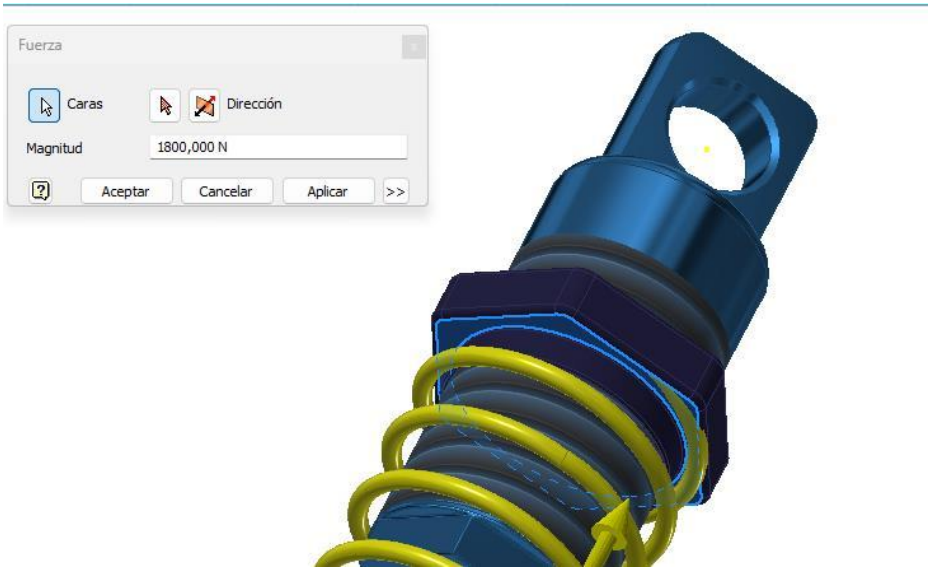
Fijación de la Geometría



Se procede con la aplicación de la carga, la cual actúa como fuerza de compresión y tensión dado que el sistema de amortiguación trabaja en base a este tipo de fuerzas. Ver Figura 35.

Figura 35

Aplicación de la Carga



A continuación, se realiza el mallado para poder ejecutar el estudio para aquellos puntos que presentan un mayor esfuerzo se emplea un refinado mayor para lograr obtener un mejor resultado. Ver Figura 36.

Figura 36

Mallado del Sistema de Suspensión

3.10. Interpretación de Resultados

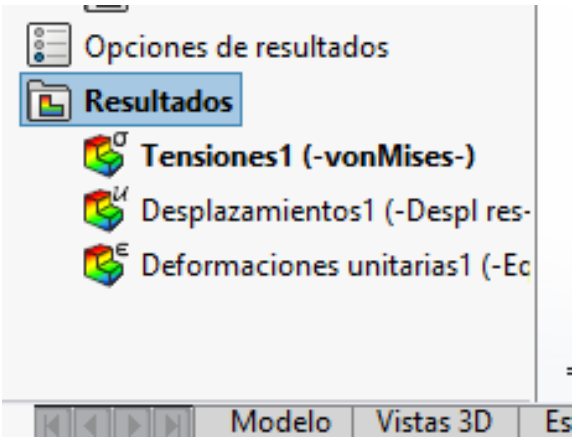
Las fórmulas base generan las resultantes de velocidad, aceleración y desplazamiento de las distintas masas que interviene en el sistema, y con lo cual se puede establecer el estudio de la vibración presente, corrección y efectos. Así también los esfuerzos a los que se someterá.

Por cuanto, el establecer la solución de análisis que se conseguirán es rentables para entender la vibración(es) y esfuerzos generados en el sistema con relación a modelos de cambio en las medidas, además de instituir el refuerzo directo al diseñar los elementos que satisfagan cualquiera característica resultante especifica con la selección de la medida modificada. Se aplicaría método de Runge-Katta de presentarse el caso que la solución analítica dificulte la respuesta debido a que realiza una integración numérica.

Las ecuaciones base darán los resultados de los esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad fatiga que intervienen en el sistema de suspensión, y con ello poder definir la seguridad del sistema en su totalidad, como se ve en la Figura 37.

Figura 37

Cuadro de Opciones para Ver Resultados del Análisis de Simulación



3.11. Ciclos de Vida

Las cargas cíclicas representan cuantos ciclos pueden presentar fallas la pieza a partir de ciertas series de aplicar la misma carga.

3.12. Factor de Seguridad

(Riddell & Hidalgo, 1997) señala que "…se entiende por seguridad el evitar que un elemento alcance o sobrepase un estado límite hasta el cual se considere que el comportamiento del componente es aceptable".

Por cuanto los factores de seguridades se definen como un simple componente base en diseño y simulación a través del que se aprecia la capacidad del sistema para estudiar la conducta vibratoria en distintas cuantificaciones. A la par representa el enlace entre la carga máxima que el sistema puede aguantar previo a que colapse y la propia carga que se espera emplear en ella. En conclusión, los factores de seguridades muestran cuál sería la disyuntiva de resistencias que posee el sistema en concordancia con la condición de labor propia.

El factor de seguridades se computa a través de la división de la carga de ruptura a obtener o carga de falla, por la propia carga que está actuando en el sistema de estudio. Se puede presentar que el factor de seguridad sea:

- > 1: el sistema puede soportar la carga sin que se presente un fallo.
- < 1 el sistema es completamente inseguro y no está en capacitancia de soportar la carga aplicada.
- = 1 el sistema está trabajando al límite de la resistividad y por la presencia de algún otro factor que suba la carga podrá generar una ruptura.

El resultado del factor de seguridad depende de:

- Propiedades del material
- Importancia de la aplicación
- Incertidumbre en la carga
- Naturaleza del elemento

En aplicación grave, es fundamental el factor de seguridades > 1, porque avala un nivel elevado de seguridad y confiabilidad en el sistema.

Es necesario considerar que un factor de seguridades es variable, porque puede mudarse en base al cambio en el medio de operación, la fluctuación y condición de carga en las propiedades del material de construcción. La resolutiva de un factor de seguridades es necesario para avalar que componentes sean lo totalmente resistentes y seguros para su aplicación, aseverando la confianza e integridad del componente.

Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1. Análisis de Datos Obtenidos

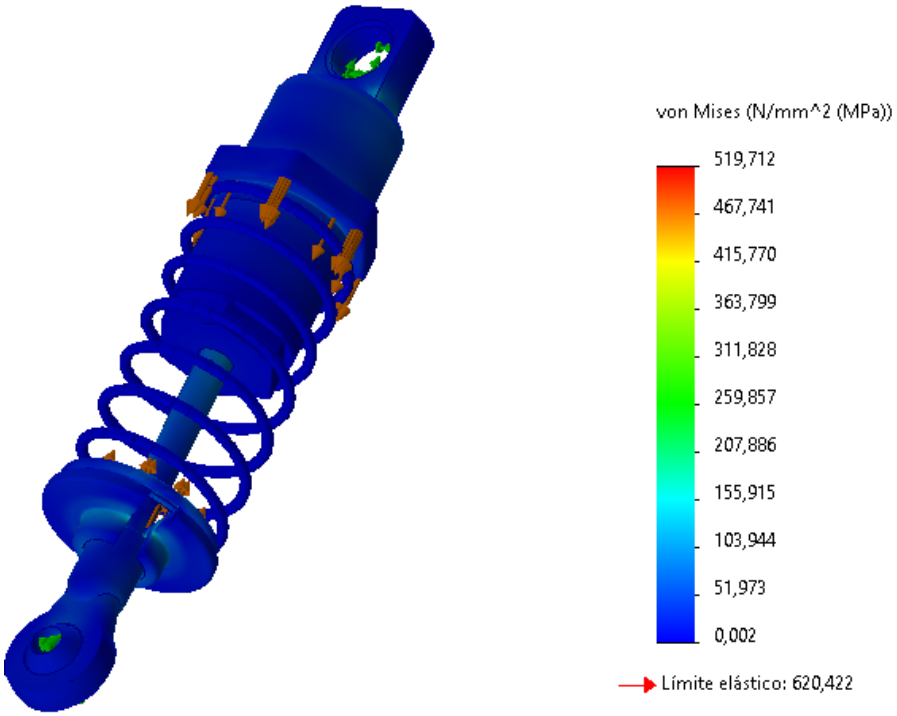
4.1.1. Análisis de Esfuerzos de Von Mises

Esfuerzo de Von Mises se realiza en consideración de que el sistema actúa a través de fuerzas externas propias del peso del vehículo este tipo de casos puede estar sometidos a grandes cargas cíclicas para ello se realiza dos simulaciones de comportamiento estático, los valores de esfuerzos presentados dan como valor máximo 519.71 MPa, que se traduce a que presenta un esfuerzo alto pero este valor no sobrepasa el límite elástico por lo que se encuentra dentro del rango y se comporta de forma óptima.

En la Figura 38 se muestra el sistema de suspensión sometido a esfuerzo de compresión

Figura 38

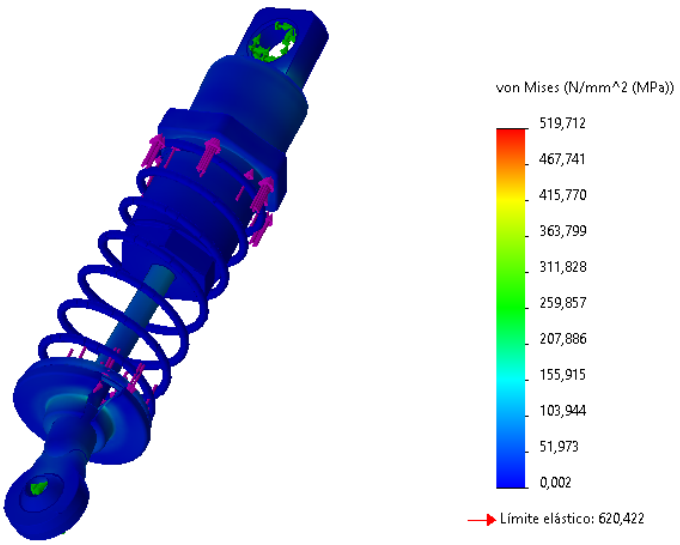
Esfuerzo de Compresión



En la Figura 39 se muestra el sistema de suspensión sometido a esfuerzo de tensión

Figura 39

Esfuerzo de Tensión

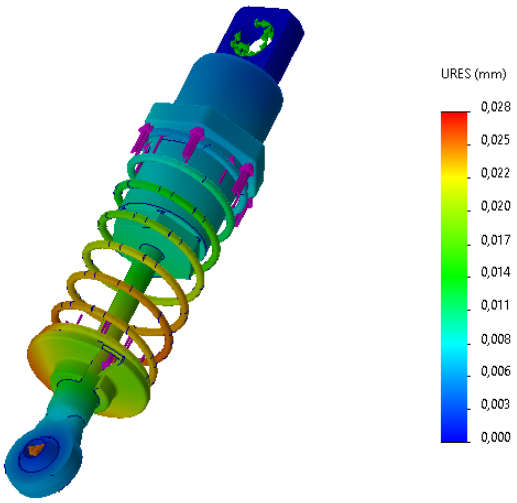


4.1.2. Deformación

La deformación presentada dado que el valor del límite elástico se obtiene una deformación permanente de 0.028 mm dentro del rango óptimo de la pieza, esto se ve reflejado por la escala de colores que presentan valores más cercanos a la parte del amortiguador como se refleja en la parte del centro del resorte, así también en la parte inferior del pistón se establece un esfuerzo considerable representando una deformación permanente. Ver Figura 40.

Figura 40

Deformación

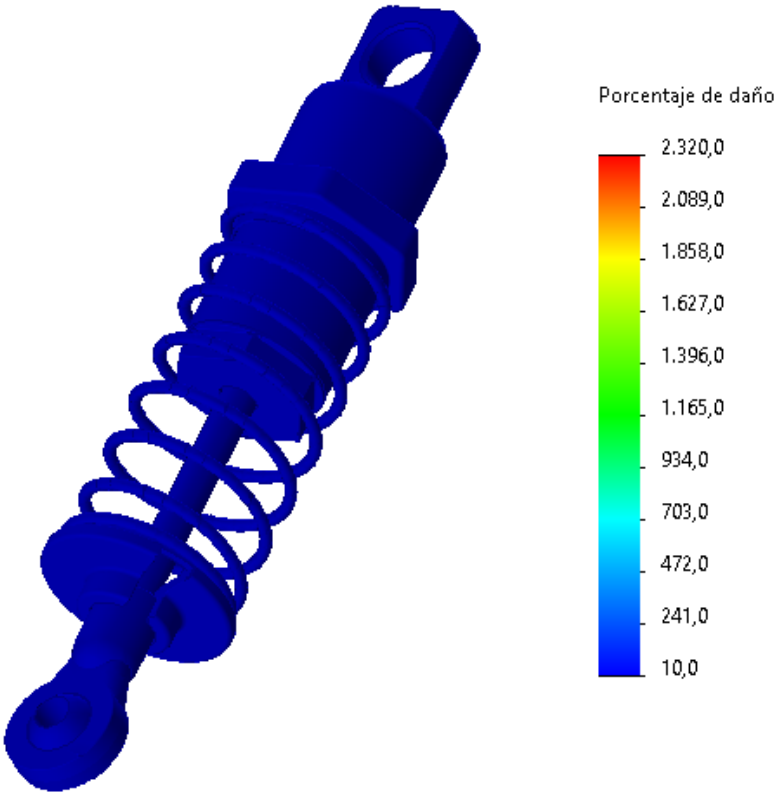


4.1.3. Porcentaje de Daño

El porcentaje indicado hará que el sistema represente un porcentaje de daño de un máximo de 2.32 % del total del volumen de la pieza por tanto no representa mayor inconveniencia al momento de estar en estas cargas aplicadas por fatiga y al mismo tiempo no es tan alto para que se vea afectada la pieza. Ver Figura 41.

Figura 41

Porcentaje de daño

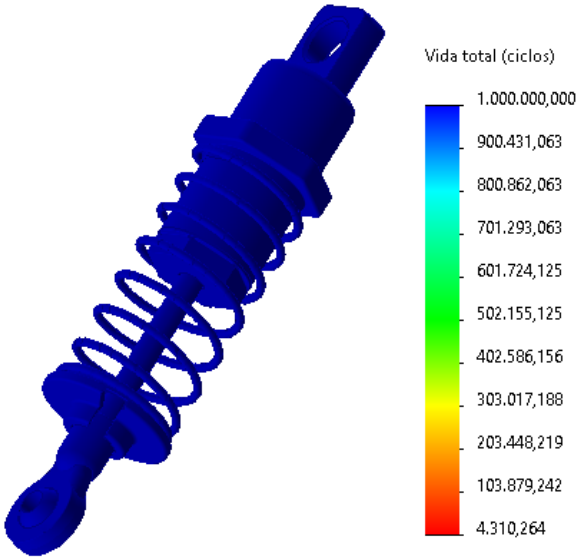


4.1.4. Ciclos de Vida

Para ciclos de vida que posee el sistema cuando la carga va a estar sobre el movimiento presentado por el prototipo y suspensión que va estar aplicando, esto se reflejará cuando supere el valor mayoritario de ciclos que la suspensión comience a presentar errores. De acuerdo con la simulación realizada a 4310.264 ciclos es el límite al que el componente comenzara a presentar fallas lo cual aumentará su nivel de daño y acortara su tiempo de trabajo. Ver Figura 42.

Figura 42

Ciclo de Vida

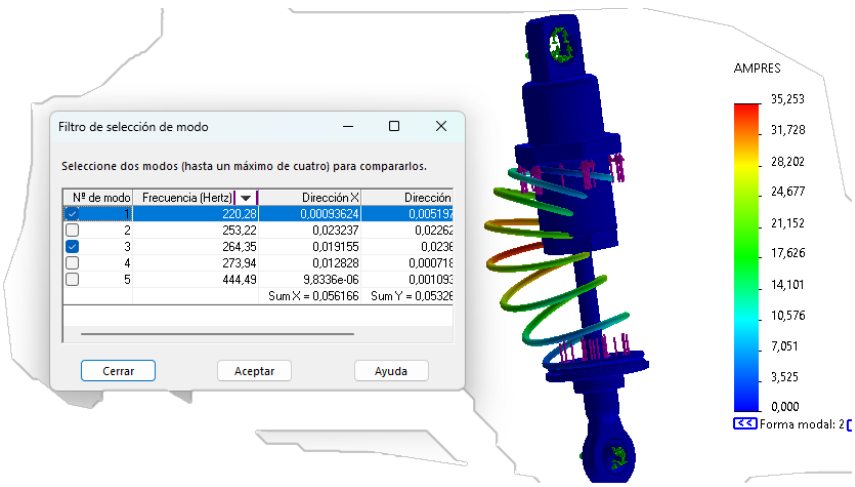


4.1.5. Frecuencia

La frecuencia está dada por Hertzios (Hz) esto se debe al movimiento que va a presentar el amortiguador ya que la mayor parte del tiempo de trabajo va a estar sometido a cargar. Se representan 4 tipos de casos donde se analiza las vibraciones que tendrá este sistema desde un mínimo de 220.28 Hz hasta el máximo de 444.49 Hz. Los cuales pueden cambiar por diferentes aspectos desde una carga creciente hasta el propio movimiento del vehículo. Ver Figura 43.

Figura 43

Frecuencia

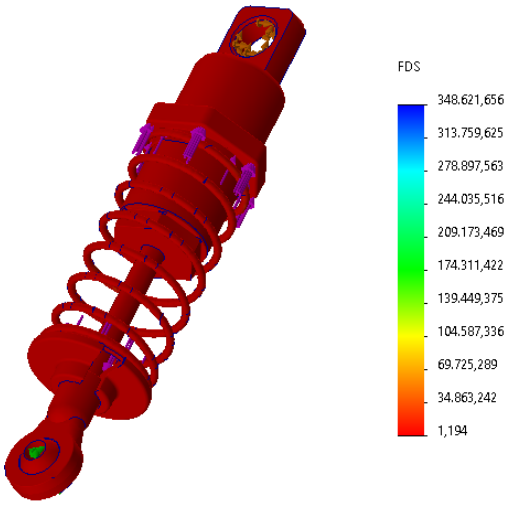


4.1.6. Factor de Seguridad

El factor de seguridad obtenido de 1.2 representa que la pieza está en factor muy seguro por cuanto no afecta su comportamiento en cargas cíclicas cuyos valores están situados en rangos óptimos. Ver Figura 44.

Figura 44

Factor de Seguridad



4.1.7. Montaje del Sistema de Suspensión Estándar Posterior

Tras los resultados obtenidos se procede a llevar cabo la implementación del sistema de suspensión estándar posterior en un prototipo tubular biplaza. Ver Figura 45.

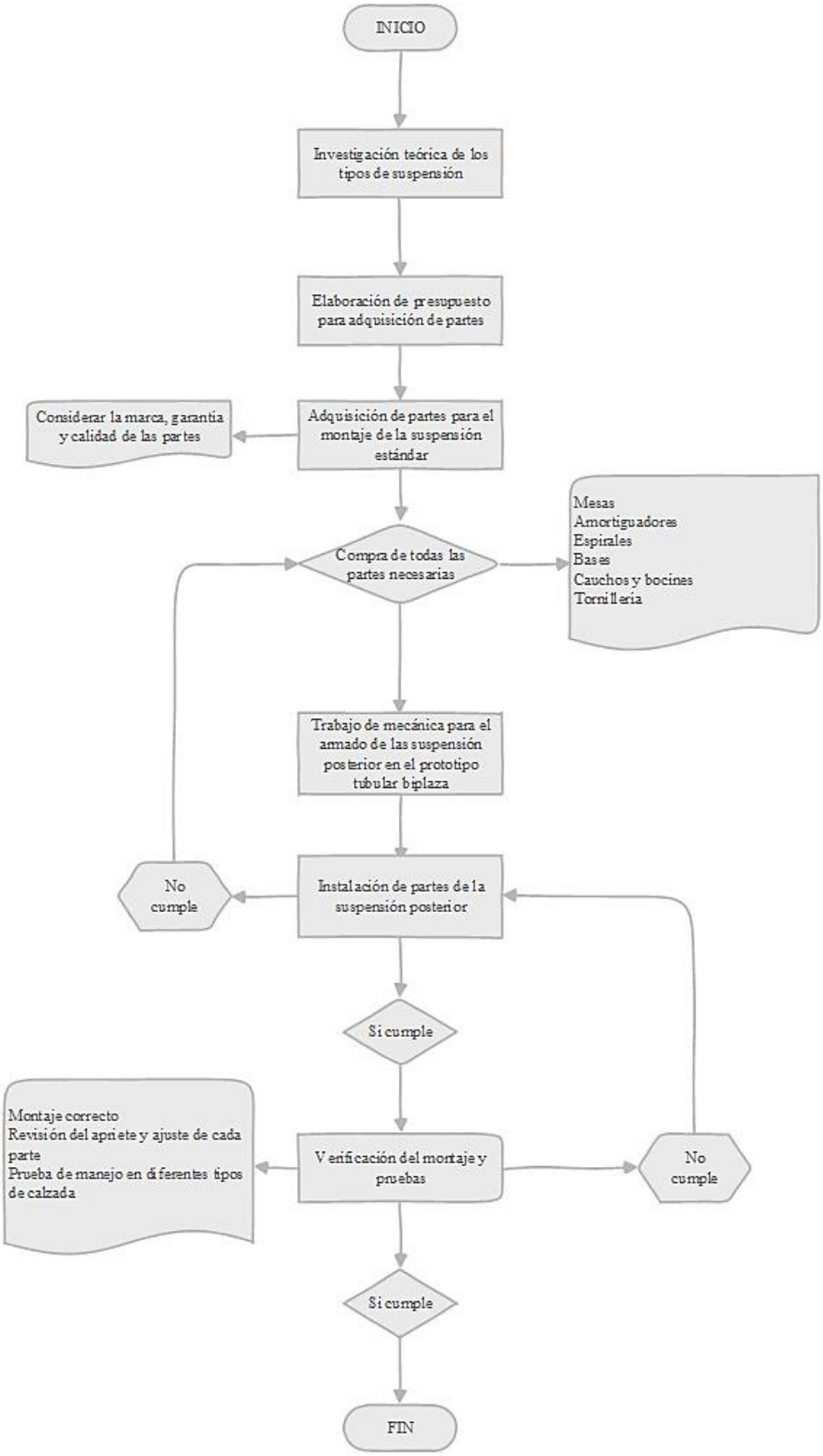
Figura 45

Prototipo Tubular Biplaza

El procedimiento que seguir se muestra en el flujograma de la Figura 46:

Figura 46

Flujograma de Montaje de la Suspensión



Se coloca el prototipo en el elevador de dos postes para proceder con el montaje de las piezas del sistema de suspensión posterior. Ver Figura 47.

Figura 47

Colocación del Prototipo en el Elevador de 2 Postes

En la Figura 48 se ve el proceso de montaje del sistema de suspensión.

Figura 48

Montaje del Sistema de Suspensión

En la Figura 49 se ve el proceso de revisión del sistema de suspensión montado en el prototipo tubular.

Figura 49

Revisión del Montaje del Sistema de Suspensión

Conclusiones

Se investigó sobre los tipos de suspensiones automotrices con aplicación en suspensiones posteriores dirigidas a vehículos tubulares, para posteriormente implementar sobre prototipo tubular biplaza, con su respectiva simulación y análisis de resultados utilizando el software AutoDesk Nastran.

Se realizó el modelado del funcionamiento del sistema de suspensión posterior estándar mediante el software AutoDesk Nastran, donde se obtuvo los análisis de esfuerzo y deformación que revelaron que los componentes del amortiguador sometidos a fuerzas de compresión y tensión presentan valores dentro del rango elástico, con un esfuerzo máximo de 519.71 MPa, lo cual, indica que el amortiguador se comporta de manera óptima bajo las cargas previstas, sin exceder el límite elástico, asegurando su integridad estructural y funcionalidad adecuada en condiciones normales de operación. La vida útil del amortiguador se estima en aproximadamente 4310.264 ciclos antes de que comience a presentar fallas debido a cargas cíclicas la frecuencia de operación que varía entre 220.28 Hz y 444.49 Hz, dependiendo del movimiento del vehículo y de las cargas aplicadas.

Se aplicó el proceso de adaptación y montaje del sistema de suspensión posterior estándar sobre una estructura de vehículo tubular tomando en consideración los resultados obtenidos en la simulación, y que indicaron que el sistema de suspensión del Volkswagen Brasilia de marca Monroe es funcionales y seguros para el prototipo vehicular.

Recomendaciones

Se recomienda el uso de autopartes ya existentes y de alta comercialización en el mercado local, debido a que esto contribuye a que se pueda analizar desde una base técnica componentes que a posterior lo que se desea conocer es su funcionalidad, adaptabilidad y seguridad previo al montaje real.

Se sugiere realizar análisis de los demás componentes y sistemas que conforman al prototipo tubular biplaza para poder llegar a obtener un vehículo funcional, seguro y fiable en su conducción.

En el proceso de adaptación y montaje es recomendable comprobar la geometría de cada uno de los elementos y mecanismos teniendo en cuenta dimensiones, niveles y simetría del sistema de suspensión con la carrocería y puntos de referencia.

Bibliografía

Adanaque, A., & Flores, G. (diciembre de 2019). Análisis estructural del chasis de un vehículo buggy biplaza todo terreno de uso turístico. Lima, Perú.

An, K., & Fung, J. (2018). An improved SST ƙ - ɯ model for pollutant dispersion simulations within an isothermal boundary layer. *ScienceDirect, 179*, 369-384. doi:https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.06.010

Andueza, L. (21 de Septiembre de 2015). Autodesk Fusion 360: Análisis de Esfuerzos. Obtenido de http://dimcad3d.com/2015/09/21/fusion360-fem/

Ashby, M. F. (2000). *Material Selection in Mechanical Desing. Butterworth Heinemann*. Obtenido de http://www.utc.fr/~hagegebe/UV/MQ12/CORRECTIONS_TD/%5BASHBY99%5D%20-

Autodesk Support. (8 de Octubre de 2023). Como refinar la malla en los nodos seleccionados en robot structural analysis. Obtenido de https://www.autodesk.es/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/ESP/How-to-refine-mesh-in-selected-points-in-Robot-Structural-Analysis.html

Brecht, D., Troch, P., & Rauwoens, P. (2018). Performance of a buoyancy-modified k-ω and k-ω SST turbulence model for simulating wave breaking under regular waves using OpenFOAM. *ScienceDirect, 138*, 49-65. doi:https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2018.04.011

Cengel, A. Y., & Boles, A. M. (2011). *Termodinamica.* McGraw-Hill.

Frausto-Robledo, A. (26 de Mayo de 2022). Autodesk AutoCAD 2023 — AI, Upskilling Users and Performance. Obtenido de https://architosh.com/2022/05/autodesk-autocad-2023-ai-upskilling-users-and-performance/

Gesellschaft, D., & Zysammenarbeit, T. (1980). *Tecnología del automóvil Tomo 2.* Reverte.

Hernández, B., & Mendoza. (2022). Amortiguadores regenerativos para sistemas de suspensión automotriz: Una revisión. *Cultura Científica y Tecnológica, 1*, 19. doi:https://doi.org/10.20983/culcyt.2022.1.3.2

Martínez, T. (2016). Control Tolerante a Fallas en una Suspensión Automotriz Semi-Activa. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial, 1*, 13. doi:https://doi.org/10.1016/j.riai.2015.02.009

Portilla. (2020). Propuesta metodológica para la construcción y ensamble de un prototipo de chasis Go Kart bajo la norma CIK/FIA utilizando uniones hibridas. *Revista Colombiana de Materiales*(15), 127–135. doi:https://doi.org/10.17533/udea.rcm.342069

Rivera Berrío, J. G. (2022). *FÍSICA VOLUMEN I.* Córdoba, España: RED Descartes.

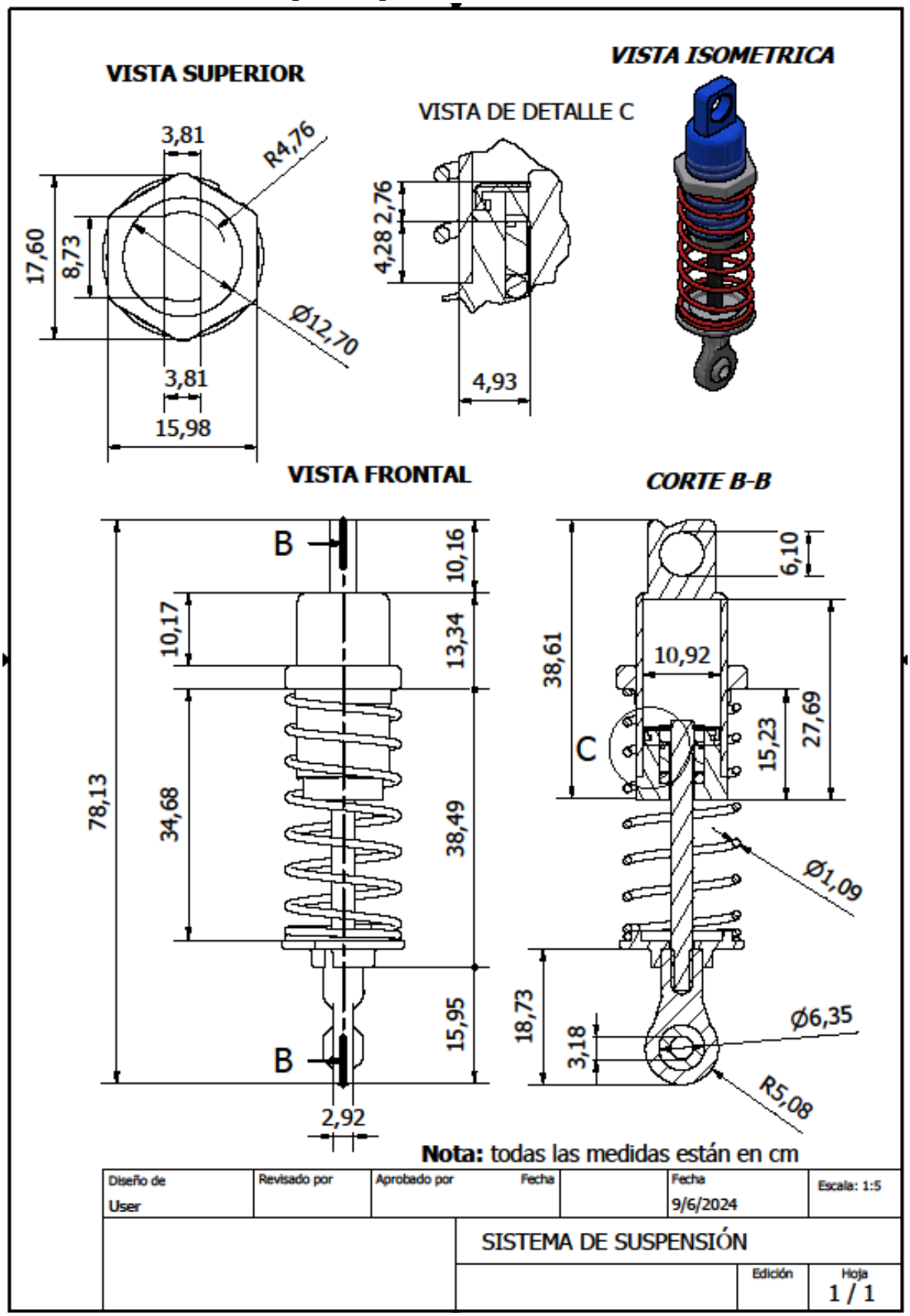
Tavera, B. (7 de Septiembre de 2023). Aplicación de Autodesk Robot Structural Analysis y Revit para Proyectos Estructurales. Obtenido de https://www.inesa-tech.com/blog/aplicacion-de-autodesk-robot-structural-analysis-y-revit-para-proyectos-estructurales/

Tecnología del Automóvil. (16 de Marzo de 2016). *Barra estabilizadora activa*. Obtenido de https://www.tecnologia-automovil.com/barra-estabilizadora-activa/

Tecnología del Automóvil. (12 de Agosto de 2020). *Historia del Automóvil*. Obtenido de https://www.tecnologia-automovil.com/masa-suspendida-y-no-suspendida/

Tecnología del Automóvil. (12 de Enero de 2022). *Datos de nuemáticos y su estructura*. Obtenido de https://www.tecnologia-automovil.com/datos-de-neumaticos-y-su-estructura/

Vera, E. (2017). *Propuesta de diseño ergonómicoen butacas de vehículos monoplaza, para equipos ecuatorianos participantes de la Formula Student.* Quito: UISEK.

Anexos

A. Plano del sistema de suspensión posterior estándar