



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO

AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN PARA
UN VEHÍCULO MONOPLAZA FORMULA SAE**

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

AUTOR: JÁCOME CALDERÓN JAIRO VINICIO

DIRECTOR: ING. EDWIN SALOMON ARROYO TERAN, MSc.

IBARRA, 2022

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

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

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo tema es **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN PARA UN VEHÍCULO MONOPLAZA FORMULA SAE”**. Presentado por el egresado **JÁCOME CALDERÓN JAIRO VINICIO** con número de cédula 1002980298.

Considero que el presente trabajo reúne requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra a los 14 días del mes de enero del 2022.

Atentamente.



Firmado electrónicamente por:
**EDWIN SALOMON
ARROYO TERAN**

ING. EDWIN ARROYO, MSc.

DIRECTOR DE PROYECTO



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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	1002980298	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	JÁCOME CALDERÓN JAIRO VINICIO	
DIRECCIÓN:		Av. San Vicente y 02 de marzo.	
EMAIL:		jvjacome@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		2907-194	TELÉFONO MÓVIL: 0990378147

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN PARA UN VEHÍCULO MONOPLAZA FORMULA SAE
AUTOR (ES):	JÁCOME CALDERÓN JAIRO VINICIO
FECHA:	14/01/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Mantenimiento Automotriz
ASESOR /DIRECTOR:	ING. EDWIN ARROYO, MSc.

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 14 días del mes de Enero de 2022

EL AUTOR:

JAIRO VINICIO JÁCOME CALDERÓN .

DEDICATORIA

Este trabajo de grado lo dedico con mucho amor a Dios, a mis padres y familiares, quienes son el motor de mi vida, en segundo lugar, quiero dedicársela a mis hijos Poleth e Iván y esposa Taty, quienes son la razón principal de superarme ya que con sus abrazos, amor y ternura me han dado la fortaleza necesaria para afrontar cada dificultad a lo largo de mi vida universitaria. Por otra parte, le dedico a Rosita y Benito Calderón, personas que aprecio con todo mi corazón.

En definitiva, está dedicado a toda mi familia que a pesar de todo siempre están conmigo, apoyándome en todo momento y nunca me ha desamparado, ayudándome así a alcanzar este logro profesional en mi vida.

Jácome Calderón Jairo Vinicio

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mis sentimientos de gratitud a Dios por darme la vida y la sabiduría necesaria para poder llegar a cumplir un sueño como es el culminar mi carrera universitaria.

A mis padres y familiares quienes, con sus consejos, apoyo moral, económico aportaron a mi crecimiento personal, orientándome a cumplir mis deberes y obligaciones en el marco de principios y valores éticos.

A los docentes y catedráticos de la prestigiosa Universidad Técnica del Norte, en especial a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, que me acogieron en sus aulas y día a día impartieron todos sus conocimientos y experiencias, haciendo de mi un profesional íntegro y capacitado para la sociedad.

A mis amigos y compañeros que formaron parte de mi vida universitaria, que me han visto crecer y desarrollarme como profesional, gracias por tan gratos momentos compartidos. Mis más sinceros sentimientos de agradecimiento eterno a todos por brindarme día su apoyo incondicional.

Jácome Calderón Jairo Vinicio

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR	i
CERTIFICO:	i
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	ii
1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	iii
3. CONSTANCIAS	iii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN.....	xvii
CAPITULO I.....	1
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.4 OBJETIVOS	3
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.5 JUSTIFICACIÓN	3

CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 FORMULA STUDENT	5
2.2 SISTEMA DE SUSPENSIÓN	5
2.3 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN	6
2.3.1 RESORTES.....	6
2.3.2 TIPOS DE RESORTES	6
2.3.2.1 Hoja de Ballesta	6
2.3.2.2 Resorte o muelle helicoidal.....	7
2.3.3 BARRAS DE TORSIÓN	8
2.3.4 AMORTIGUADORES	8
2.3.4.1 Componentes de un amortiguador.	9
2.3.5 RÓTULAS	9
2.3.6 NEUMÁTICOS	10
2.3.7 MANGUETAS	11
2.3.8 SISTEMA DE SUSPENSIÓN PUSH ROD & PULL ROD.....	12
2.3.8.1 SISTEMA DE SUSPENSIÓN PUSH ROD.....	12
2.3.8.2 SISTEMA DE SUSPENSION PULL ROD.....	13
2.3.9 SUSPENSIÓN TIPO PARALELOGRAMO DEFORMABLE.....	14
2.3.10 BARRAS ESTABILIZADORAS.....	15
2.3.10.1 UBICACIÓN DE LA BARRA ESTABILIZADORA.....	16
2.4 PARÁMETROS DE DISEÑO.....	17
2.4.1 REQUERIMIENTOS GENERALES DE DISEÑO	17
2.5 GEOMETRÍA DE LA SUSPENSIÓN Y PARÁMETROS CINEMÁTICOS	18
2.5.1 VARIACIÓN DE LA CONVERGENCIA Y DIVERGENCIA.....	18
2.5.1.1 CONVERGENCIA POSITIVA “TOE IN”	18
2.5.1.2 CONVERGENCIA NEGATIVA “TOE OUT”	19
2.5.3 VARIACIÓN DEL CAMBER.....	19
2.5.3.1 CAMBER POSITIVO (+).....	20
2.5.3.2 CAMBER NEGATIVO (-)	20
2.6 REGLAMENTACIÓN	21
CAPÍTULO III	22
3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	22

3.1	DIAGNÓSTICO	22
3.1.1	SISTEMA DE SUSPENSIÓN TIPO PARALELOGRAMO DEFORMABLE	23
3.1.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN.....	23
3.2	SELECCIÓN.....	23
3.2.1	SELECCIÓN DE TIPO DE SUSPENSIÓN.....	24
3.2.2	SELECCIÓN DEL TIPO DE POSICIONAMIENTO DEL ESPIRAL.....	25
3.2.3	SELECCIÓN DEL TIPO DE LLANTA Y RIN	26
3.3	SELECCIÓN DE AMORTIGUADORES.....	27
3.4	SELECCIÓN DE MATERIAL.....	28
3.5	PROCESO DE SOLDADURA.....	29
3.6	POSICIONAMIENTO DE LA SUSPENSIÓN	30
3.6.1	PERNOS DE ENSAMBLE.	31
3.6.2	REGULACIÓN CAMBER – CASTER – CONVERGENCIA – DIVERGENCIA.....	32
3.6.3	PROGRAMAS UTILIZADOS.....	32
	CAPÍTULO IV	33
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1	PROCESO DE DISEÑO.....	33
4.1.1	GEOMETRÍA DE LA SUSPENSIÓN	33
4.1.1.1	ANCHO DE VIA	33
4.1.1.2	DISTANCIA ENTRE EJES.....	35
4.1.2	MALLADO.....	36
4.1.3	ANÁLISIS DE CARGAS.....	37
4.1.4	ANÁLISIS EN LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN	38
4.1.5	ANÁLISIS DE ESFUERZOS DEL VEHÍCULO EN REPOSO.....	38
4.1.5.1	Análisis de deformación.....	38
4.1.5.2	Equivalente de esfuerzo.	39
4.1.5.3	Factor de seguridad	40
4.1.6	ANALISIS EN ACELERACIÓN.....	41
4.1.6.1	Análisis de deformación por aceleración	41
4.1.6.2	Equivalente de esfuerzos en aceleración.....	42
4.1.6.3	Factor de seguridad por aceleración.....	42
4.1.7	ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN UNA CURVA.....	43
4.1.7.1	Análisis de deformación en una curva	43

4.1.7.2 Análisis de esfuerzos en curva	44
4.1.7.3 Factor de seguridad en curva.....	44
4.1.8 ENSAMBLE EN 3D.....	45
4.1.9 CONSTRUCCIÓN	47
4.2 MECANIZADO.....	47
4.2.1 FABRICACIÓN DE LOS BUJES DE SUJECIÓN.....	48
4.2.2 FABRICACIÓN BRAZOS DE SUSPENSIÓN	49
4.2.3 FABRICACIÓN DE BASES Y UNIÓN AL BASTIDOR.....	50
4.2.4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MANGUETAS	52
4.2.5 IMPLEMENTACIÓN DE LOS AMORTIGUADORES	55
4.3 COSTO DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN.....	57
4.3.1 COSTOS DE ELEMENTOS NORMALIZADOS	57
4.3.2 COSTOS DE MATERIALES FABRICADOS	58
4.3.3 COSTOS DE ELEMENTOS UTILIZADOS	58
4.3.4 COSTOS TOTALES.....	58
4.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
CAPÍTULO V	60
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
5.1 CONCLUSIONES	60
5.2 RECOMENDACIONES	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de Viabilidad.....	24
Tabla 2. Especificaciones del amortiguador.....	28
Tabla 3. Características SAE 1020	29
Tabla 4. Comparación ancho de vía y tiempo en el eje delantero.	33
Tabla 5. Ancho de vía y tiempo en el eje posterior	34
Tabla 6. Mallado.....	37
Tabla 7. Análisis de cargas	38
Tabla 8. Costos de elementos normalizados.....	57
Tabla 9. Costos de elementos fabricados.....	58
Tabla 10. Costos de elementos utilizados.....	58
Tabla 11. Costo total.....	58
Tabla 12. Análisis de Cargas	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Hoja de Ballesta	6
Figura 2. Resorte Amortiguador	7
Figura 3. Barra de Torsión.....	8
Figura 4. Amortiguador y sus partes	9
Figura 5. Tipos de Rótulas.....	10
Figura 6. Neumáticos.....	11
Figura 7. Manguetas	11
Figura 8. Suspensión PUSH ROD.....	13
Figura 9. Suspensión PULL ROD	13
Figura 10. Sistema Pull Rod y Push Rod.....	14
Figura 11. Suspensión de tipo paralelogramo deformable	15
Figura 12. Barra Estabilizadora	16
Figura 13. Barra estabilizadora en suspensión de barra de torsión.....	17
Figura 14. Convergencia positiva.....	18
Figura 15. Convergencia negativa	19
Figura 16. Camber positivo	20
Figura 17. Camber negativo	21
Figura 18. Paralelogramo deformable	25
Figura 19. Suspensión tipo Paralelogramo Deformable	25
Figura 20. Llantas y Aros	26
Figura 21. Monoshock.....	27
Figura 22. Acero SAE1020	29
Figura 23. Suelda MIG	30
Figura 24. Ubicación de la suspensión	31

Figura 25. Pernos de ensamble	31
Figura 26. Ancho de vía eje frontal	34
Figura 27. Ancho de vía eje posterior.....	35
Figura 28. Distancia entre ejes	35
Figura 29. Mallado Triangular.....	36
Figura 30. Análisis de deformacion.....	39
Figura 31. Análisis de Esfuerzos.	40
Figura 32. Factor de seguridad.	41
Figura 33. Deformación en la aceleración.....	41
Figura 34. Análisis de Esfuerzos en la aceleración	42
Figura 35. Factor de Seguridad en la aceleración.....	43
Figura 36. Deformación en la curva	44
Figura 37. Esfuerzos en una curva.....	44
Figura 38. Coeficiente de seguridad en curva	45
Figura 39. Ensamblaje vista exterior	46
Figura 40. Ensamblaje 3D vista interior	46
Figura 41. Ensamblaje vista superior	47
Figura 42. Fabricación de bujes.....	48
Figura 43. Torneado de bujes	49
Figura 44. Construcción de brazos de suspensión.....	49
Figura 45. Soldadura de brazos	50
Figura 46. Soldadura bases de suspensión.....	51
Figura 47. Unión brazos-chasis	52
Figura 48. Plancha modelada.....	52
Figura 49. Corte de Mangueta	53
Figura 50. Modelo Final de Mangueta	53

Figura 51. Corte de planchas metálicas	54
Figura 52. Modelado de Manguetas	55
Figura 53. Ensamblaje vista lateral.....	56
Figura 54. Ensamble Completo	56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Trabajo terminado	67
Anexo 2 Diseño Final	67
Anexo 3 Planos de suspension fórmula SAE	68
Anexo 4 Planos de mesa delantera inferior	69
Anexo 5 Planos de mesa delantera superior	70
Anexo 6 Planos de mesa posterior inferior.....	71
Anexo 7 Planos de mesa posterior superior.....	72

RESUMEN

El presente proyecto de investigación titulado DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN PARA UN VEHÍCULO MONOPLAZA FORMULA SAE, nace de la necesidad de aplicar los conocimientos adquiridos en las aulas y con la ayuda los diferentes instrumentos tecnológicos permitirán desarrollar y fortalecer el proceso enseñanza aprendizaje mediante su ejecución. El primer capítulo abarca la problemática con las cuales se enfrentará el proyecto, tomando en cuenta que las directrices de las competencias para este tipo de vehículos son muy rigurosas, dentro de lo cual las recopilaciones bibliográficas sustentan el avance del proyecto. Para el diseño de los elementos del sistema se suspensión se utilizó software especializado CAD/CAE. Con los resultados favorables del proceso de diseño y simulación se llevó a cabo el proceso de construcción en el cual se utilizaron equipos y herramientas como como soldadora, torno, cortadora CNC, entre otras. Al concluir el proyecto se obtuvo la construcción del sistema de suspensión, el cual fue ensamblado al bastidor, sistemas de dirección y frenos de acuerdo a los estándares internacionales y la reglamentación vigente.

PALABRAS CLAVE: Formula SAE, sistema de suspensión, diseño, simulación, CAD/CAE.

ABSTRACT

This research project entitled DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SUSPENSION SYSTEM FOR A SINGLE-PLACE VEHICLE FORMULA SAE, arises from the need to apply the knowledge acquired in the classroom and with the help of the different technological instruments will allow to develop and strengthen the teaching-learning process through its execution. The first chapter covers the problems that the project will face, taking into account that the competence guidelines for this type of vehicle are very rigorous, within which the bibliographic compilations support the progress of the project. For the design of the elements of the suspension system, specialized was used CAD / CAE software. With the favorable results of the design and simulation process, the construction process was carried out in which equipment and tools were used such as welding, lathe, CNC cutter, among others. At the end of the project, the construction of the suspension system was obtained, which was assembled to the frame, steering systems and brakes in accordance with international standards and current regulations.

KEY WORDS: Formula SAE, suspension system, design, simulation, CAD / CAE.

INTRODUCCIÓN

La Fórmula Student o SAE es una competición universitaria que consiste en el diseño, construcción y pilotaje de un monoplaza. Es por esta razón que nace la idea de realizar un trabajo conjunto entre estudiantes para realizar las actividades antes mencionadas y obtener como resultado un monoplaza Formula Student que se rija a los estándares de la normativa. Es así que en la presente investigación se realiza el diseño y construcción del sistema de suspensión el cual debió regirse a ciertas condiciones, siendo una de las principales que el diseño a construir debe aplicarse a un chasis fabricado con anterioridad. Como es de conocimiento la Formula SAE promueve la excelencia en ingeniería automotriz, razón por la cual para realizar la construcción del sistema de suspensión fue necesario un previo diseño y posterior simulación para que de esta manera el resultado sea el de mayor satisfacción.

Una de las características importantes al momento de diseñar un sistema de suspensión es el peso total que tendrá el vehículo, valor que en esta investigación fue usado en base a estudios previos debido a la falta de datos acerca del peso final que tendrá. Además, para que el diseño brinde una seguridad y confianza en la construcción e implementación fue necesario realizar un análisis en situaciones en las cuales el sistema de suspensión podría fallar, de acuerdo al posible peso a soportar, a la Fuerza que estará sometido el sistema al acelerar y la fuerza al momento de curvar, esta investigación presenta Factores de seguridad mayores a 1, brindando así una seguridad para la construcción, implementación y uso del sistema diseñado.

El sistema de suspensión usado en este proyecto es el de tipo paralelogramo deformable, que es el cual se acopla de mejor manera al modelo del chasis ya existente.

CAPITULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Con la intención de adquirir una idea clara del tema que engloba el proyecto, señalo algunos enunciados donde se afirma lo siguiente:

La Fórmula Student o SAE es una competición universitaria organizada por la Institution of Mechanical Engineers que consiste en el diseño, construcción y pilotaje de un monoplaza. La Sociedad de Ingenieros Automotrices o SAE por sus siglas en inglés, en 1981 inicio el primer programa de Fórmula Student en los Estados Unidos, pero no fue hasta 1998 cuando la IMechE organizó la primera competición en Reino Unido (Estruch, 2016).

Uno de los objetivos principales de esta competencia es promover en los estudiantes la adquisición de experiencia desde la realización del proyecto, construcción y ensamblaje del monoplaza. La Fórmula SAE promueve la excelencia en ingeniería y a la vez se involucra todos los aspectos de la industria automotriz como es el diseño, manufactura, pruebas, simulaciones, marketing y finanzas, llevando así a los estudiantes a poner en práctica los aprendido en las aulas en la vida real (Caraguay & Caraguay, 2015).

Al momento de conducir el monoplaza la estabilidad y confort lo proporciona un buen sistema de suspensión el cual absorbe y soporta las irregularidades de la pista, conjuntamente que soporta todo el peso de auto, de acuerdo al siguiente enunciado “la necesidad de superar los tramos curvos de la vía a alta velocidad requiere que los ingenieros resuelvan tareas adicionales asociado con el manejo del rendimiento, la estabilidad y la seguridad” (Chepkasov, Markin, & Akulova, 2016).

El objetivo del sistema de suspensión es resistir los efectos provocados por las curvas de la pista reduciendo las oscilaciones de cabeceo, balanceo producido por el eje. La importancia del diseño de la suspensión para estos vehículos es que además de disponer de propiedades de rapidez de tracción, poseen los niveles más elevados de control, el cual se necesita para asegurar la máxima rapidez en las curvas y la estabilidad del piloto una vez que se conduce a velocidades extremas. Una vez que el automóvil gira, hay fuerzas que ocasionan el derribo y el vuelco, para reducir dichos inconvenientes se debe considerar parámetros tales como: “las

propiedades del neumático, la cinemática de la suspensión y la dirección y amortiguación. Como resultado, el resultado en la competencia de un carro es dependiente de la cinemática de su suspensión” (Chepkasov, Markin, & Akulova, 2016).

El diseño y construcción de este tipo de suspensión constituye un gran paso para el avance académico de los estudiantes universitarios, donde pueden medir sus capacidades y poner en práctica lo aprendido en las aulas, mediante la utilización de tecnologías.

En la mayoría de universidades que tienen la carrera de ingeniería mecánica y se está optando por crear grupos de estudiantes que presenten estos modelos FS ya que con pocos recursos económicos y de fácil adquisición se los puede diseñar y construir.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la importancia de implementar proyectos de investigación y promover la participación de la Universidad Técnica del Norte en eventos que desafíen a equipos estudiantiles; este proyecto pretende aportar positivamente complementando al chasis del formula SAE con buen sistema de suspensión, mediante el uso de materiales alternativos y a los cuales se tiene acceso.

Los estudiantes de las diferentes universidades del Ecuador están empezando a construir otros tipos de sistemas de los vehículos con la finalidad de mejorar la conducción del mismo, así como el confort del conductor.

Cabe mencionar que el mal estado de las vías, la mala calidad de materiales que son utilizados para la construcción de las mismas, hace que las suspensiones de los vehículos se dañen con facilidad.

Al realizar este proyecto se ayudará a continuar con la construcción de un buen prototipo que cumpla con los requerimientos de estipulados para participar en la competencia de Fórmula SAE, que con su estructura y propiedades se logrará un eficiente rendimiento, así como las cargas a las que se hallan sometidos los ejes del auto para lograr mejorar la igualdad.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La formulación del problema responde a la siguiente interrogante; ¿Cómo diseñar y construir de un sistema de suspensión de un vehículo de clase Formula Student?

Para poder diseñar y construir un sistema de suspensión para los vehículos de clase Formula SAE, primero se debe estar claro en algunos parámetros en los cuales se debe regir para dicho diseño y construcción, así como pueden ser: normas, reglamentos, especificaciones, entre otros.

También para la fabricación y el diseño de este tipo de suspensiones, el objetivo primordial a cumplir, es el de solucionar el problema principal que se está planteando con anterioridad, y si este objetivo no se cumple, pues se indicará que nuestro proyecto de grado no fue factible al realizarlo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema de suspensión de un vehículo tipo Fórmula SAE (FORMULA STUDENT) de acuerdo al reglamento vigente.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Investigar las características y componentes que serán necesarios para el diseño y construcción del sistema de suspensión

Realizar el diseño, las simulaciones y los análisis del sistema de suspensión mediante el uso de software informáticos idóneos para el desarrollo del proyecto.

Construir el sistema de suspensión fundamentado en las normas y estándares establecidos en el reglamento de la competencia Formula SAE.

1.5 JUSTIFICACIÓN

La Universidad Técnica del Norte, al ser un centro educativo de gran prestigio, y con el afán de calificar el rendimiento de sus estudiantes de la carrera de ingeniería en mantenimiento automotriz, ha decidido realizar el proyecto del diseño y fabricación de un vehículo de tipo Formula Student, y dependiendo del resultado final del proyecto, tratar de llevar el prototipo hasta las competencias a nivel interuniversitario y poder representarla demostrando las habilidades y aptitudes de estudiantes y catedráticos, justificando de esta manera la pertinencia de realización del estudio investigativo.

Esta competencia se realiza a nivel mundial, en la cual las diferentes universidades de todas partes, son representadas por los estudiantes y por ende por el trabajo de los mismos en sus respectivos monoplazas, los cuales son los encargados de mantener al vehículo en estado óptimo para que el mismo, pase por las diferentes pruebas exitosamente.

Mediante el apoyo de las autoridades de las universidades, las escuelas de ingeniería realizan el proyecto año tras año con sus estudiantes en las instalaciones de las mismas en sus tiempos de libres.

Para algunas universidades, tratar se sobresalir como los mejores en la competencia es esencial, mientras que, para otras, el mismo hecho de poder participar en el concurso es muy importante.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 FORMULA STUDENT

En esta sección se realizará una fundamentación teórica sobre todos los componentes de la suspensión, partes que la conforman, características y por su puesto los tipos de sistemas de suspensión utilizados en la competencia de Fórmula SAE. Por lo tanto, es importante conocer que el programa SAE International Formula SAE es una competencia de diseño de ingeniería para alumnos de pregrado y posgrado. La competencia ofrece a los competidores la posibilidad de mejorar sus capacidades de diseño de ingeniería y administración de proyectos por medio de la aplicación de las teorías aprendidas en el aula en una competencia desafiante.

El monoplaza una vez revisado en una secuencia de pruebas, se determina que cumple con las normas de la competencia. Posterior a varias pruebas de rendimiento en pista son evaluados tanto el vehículo como el conductor. Cabe destacar que “cada equipo de alumnos diseña, construye y prueba un primer ejemplar con base en una secuencia de normas, cuyo objetivo es asegurar la calidad de ejecución del evento competitivo, impulsando además la resolución de inconvenientes” (SAE INTERNATIONAL, 2021).

2.2 SISTEMA DE SUSPENSIÓN

El sistema de suspensión, está compuesto por varios elementos tales como: muelle o resorte, barra de torsión, muelle de goma, gas o aire y el amortiguador que actúan entre el bastidor o chasis y las ruedas; es decir: “La suspensión en un automóvil, camión o motocicleta, es el conjunto de elementos que absorben las irregularidades del terreno por el que se circula para aumentar la comodidad y el control del vehículo” (Lema, 2017). Estos elementos mecánicos se encargan de equilibrar las oscilaciones causadas por los tipos de terreno por los cuales va a circular el vehículo.

Es importante tomar en cuenta el factor comodidad del usuario o pasajero que se encuentra en la cabina vehicular, por lo tanto, es relevante considerar el siguiente enunciado: Para aportar un mayor nivel de comodidad, un sistema de suspensión debe hacer que el movimiento asociado con la cabina del automóvil sea independiente de cualquier

irregularidad en el terreno. El sistema de suspensión tiene un rol muy importante el bienestar de los pasajeros (Ovalle, Ríos, & Ahmed, 2021).

2.3 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

2.3.1 RESORTES

Los resortes son un elemento elástico que permiten un movimiento relativo vertical entre el chasis y las ruedas. El resorte es el elemento de la suspensión que tiene suspendida sobre él toda la masa del coche “masa suspendida”. El trabajo de los resortes es absorber la energía que se produce cuando la rueda se desplaza verticalmente y devuelve la rueda a su posición original (Pulido, 2014).

2.3.2 TIPOS DE RESORTES

2.3.2.1 Hoja de Ballesta

La ballesta es un conjunto elástico realizado con láminas de acero o más bien conocidas como hojas, las cuales están constituidas una aleación de silicio y manganeso. Esta composición más su especial forjado y temple permiten a estas láminas doblarse bajo la acción de una fuerza y retornando a su posición inicial tras el cese de la misma (Pulido, 2014).

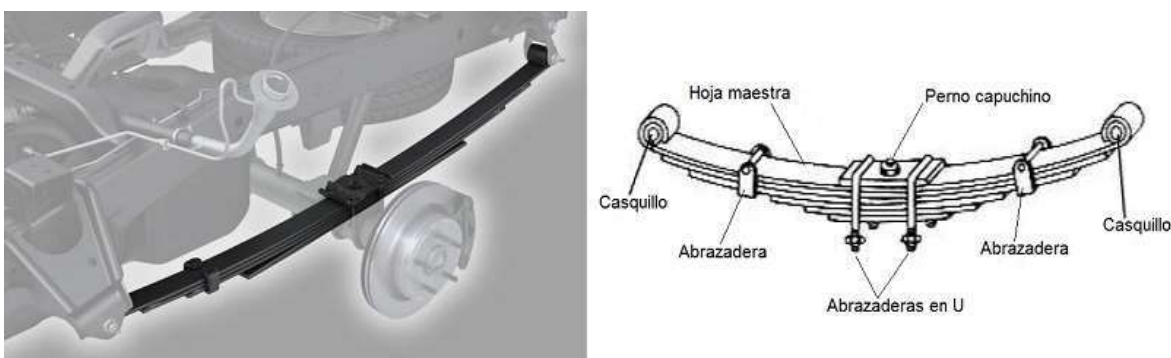


Figura 1. Hoja de Ballesta

Fuente: (Ingemecanica, 2021)

Este sistema de suspensión consta de varias hojas montadas una sobre otra escalonadamente tal como se observa en la Figura 1.

Se puede señalar que este tipo de sistema, es utilizado en vehículos que necesitan unas prestaciones un poco más exigentes, como en camionetas, camiones y transporte pesado.

Las ballestas no son muy eficientes, puesto que, por sí mismas no ocupan mucho volumen, sí requieren mucho espacio para los movimientos que provoca el recorrido de la rueda. Sin embargo, quizá sea el elemento elástico mejor capacitado para servir como miembro de control en la geometría de la suspensión. Otro punto que no favorece a las ballestas es su alto peso.

2.3.2.2 Resorte o muelle helicoidal. –

Un muelle helicoidal es sencillamente una varilla en forma espiral de acero muy resistente.

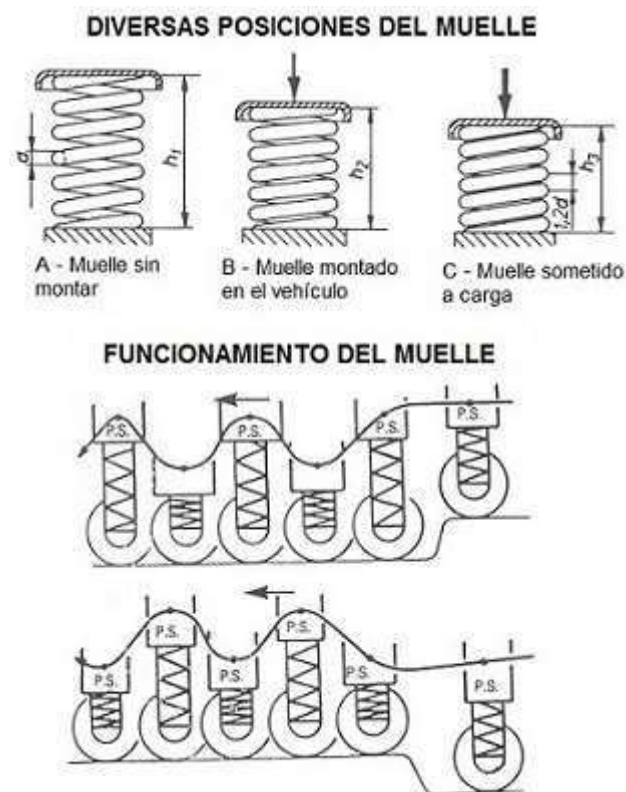


Figura 2. Resorte Amortiguador

Fuente: (Ingemecanica, 2021)

En la figura 2, se observa al muelle o espiral de suspensión, en sus diferentes estados de trabajo o funcionamiento. El cual se estira o comprime por el movimiento vertical de las ruedas. Según se contextualiza: “es un dispositivo mecánico hecho de acero, que tienen por finalidad absorber las irregularidades que se presenta en la marcha” (Pulido, 2014).

En la actualidad son el tipo de suspensión más utilizado ya que puede almacenar gran cantidad de energía por unidad de volumen de material y posee un mínimo de rozamiento interno.

2.3.3 BARRAS DE TORSIÓN

Las barras de torsión básicamente utilizan la propiedad elástica de ciertos materiales los cuales retornan a su estado natural luego de soportar o de haberse aplicado una fuerza. Conforme se asevera a continuación: “La principal ventaja de este tipo de suspensiones son su durabilidad y su fácil ajuste a la carrocería, mientras que la desventaja es que por lo general no proporcionan una tasa de resorte progresivo” (Pulido, 2014).



Figura 3. Barra de Torsión

Fuente: (Infotaller, 2018)

En la Figura 3 se analiza una barra de torsión montada sobre un sistema de suspensión de tipo paralelogramo deformable, en el cual se observa que consta de menos elementos.

2.3.4 AMORTIGUADORES

Los amortiguadores se ubican entre el chasis y las ruedas de vehículo, es decir forman parte del sistema de suspensión que en conjunto protege de impactos y vibraciones tanto al pasajero y al resto del automóvil. A continuación, se expone que: “El objetivo de los

amortiguadores es reducir las oscilaciones del sistema de suspensión, es decir absorbe el golpe permitiendo que el resorte se recupere y se prepare para el siguiente golpe. El amortiguador actúa conjuntamente con el movimiento del resorte” (Garcés 2012).



Figura 4. Amortiguador y sus partes

Fuente: (ParaAutos.website, 2021).

El amortiguador consta de algunos elementos internos, los cuales se detallan en la Figura 4.

2.3.4.1 Componentes de un amortiguador.

Dependiendo del tipo de suspensión que se esté utilizando en cada vehículo, será el tipo de amortiguador que se utilice.

Pero en general los elementos internos serán los mismos.

- Carrocería telescópica o carcasa.
- Cámara de aceite.
- Válvula de paso.
- Pistón de compresión.

2.3.5 RÓTULAS

Las rótulas son componentes importantes de la suspensión, ya que permiten el movimiento en toda dirección, hacia arriba, abajo y el giro de las ruedas del vehículo. Pulido (2014) menciona que “las rótulas son articulaciones las cuales se usan en las uniones móviles de los sistemas de suspensión para proveer a estos de un juego controlado entre los componentes que se encuentran interactuando cuando la suspensión está en movimiento”.



Figura 5. Tipos de Rótulas

Fuente: (Nippon Thompson Co., 2019)

En la industria automotriz, existen diferentes tipos de rotulas, dependiendo cada una de las necesidades y las prestaciones requeridas.

En la Figura 5, se observa un ejemplo de rotulas de competición, las cuales son diseñadas específicamente para este tipo de proyectos.

2.3.6 NEUMÁTICOS

Los neumáticos son el primer elemento de la suspensión debido que se encargan de absorber las vibraciones producidas por las irregularidades propias del terreno. Es importante mencionar que es la única parte del vehículo que se encuentra en contacto con el suelo y proporcionan en cierta medida una capacidad de frenar, acelerar y tomar las curvas.

La elección de los mismos debe ser de la forma más adecuada para el correcto funcionamiento del sistema y del prototipo, también se debería tomar en cuenta las condiciones de trabajo al cual va a estar sometido, así como también el tipo de diseño que sea elegido.



Figura 6. Neumáticos

Fuente: (URT, 2010)

La selección de llantas será de acuerdo a las especificaciones que se requieran para el tipo de competencia FORMULA STUDENT, en la Figura 6 se muestra un ejemplo de llantas diseñadas previamente.

2.3.7 MANGUETAS

El elemento manguetas, más conocidas en el mundo laboral como araña de la rueda, es una pieza la cual deberá ser diseñada por los propios estudiantes, este diseño dependerá de los parámetros que se vayan presentando a lo largo de la construcción de todo el sistema de suspensión, así como también de dirección y de frenos.

Este elemento, debe ser fabricado de la mejor manera, teniendo en cuenta que su trabajo será ser muy exigido, de la misma manera que debe ser diseñado y construido con materiales maleables, también deberá mantener una dureza y rigidez que permita realizar alvehículo Forma Student las pruebas y exigencias que se presenten.



Figura 7. Manguetas

Fuente: (Masrefacciones, 2021)

Como se muestra en la Figura 7, la mangueta, es el elemento en el cual se juntan los brazos de suspensión, la punta de eje, así como también los terminales de dirección.

2.3.8 SISTEMA DE SUSPENSIÓN PUSH ROD & PULL ROD

Ya sea dentro de una autopista de carreras, caminos con desniveles o conocidos baches; la suspensión es un componente importante, es decir, es la base para que el piloto sienta que el vehículo responde a sus necesidades de manejo. Existen dos tipos, barra de empuje (push rod) y barra de tracción (pull rod), las cuales a mejor elección y criterio técnico se instalan en el vehículo.

Para una mejor comprensión del tema, se puntualiza el siguiente contexto: La suspensión de un vehículo con ruedas constituye un sistema indispensable en cuanto a la maniobrabilidad y estabilidad, su propósito principal es mantener los neumáticos en contacto con el piso el máximo tiempo posible, garantizando así el control de la dirección y propulsión, que se traduce en estabilidad y maniobrabilidad (Correa, 2013).

En los siguientes acápite se va desarrollar las características de cada tipo y permitirá identificar en qué se diferencian, cuáles son las ventajas y las desventajas de cada estructura.

2.3.8.1 SISTEMA DE SUSPENSIÓN PUSH ROD

Consiste en una suspensión independiente de doble trapecio, una barra diagonal que trabaja a presión y que empuja a su vez un balancín que acciona el conjunto muelle-amortiguador.

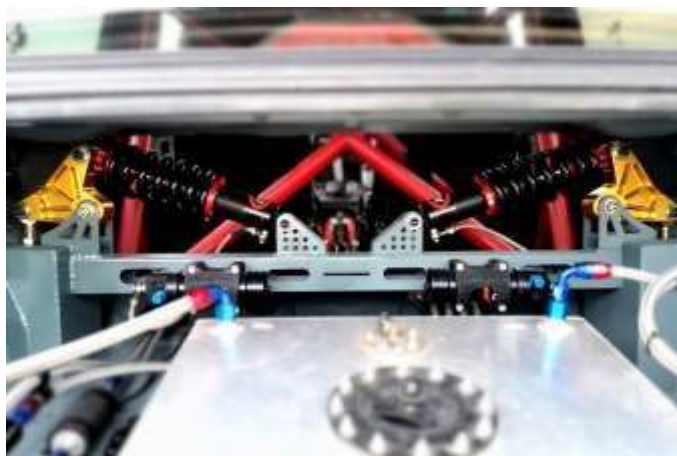


Figura 8. Suspensión PUSH ROD

Fuente: (Stim.tech, 2021)

Como se observa en la Figura 8 el momento que el neumático ejerce presión por una irregularidad de la vía, la barra acciona sobre el balancín y este sobre el amortiguador ejerciendo presión.

Para el sistema de suspensión PUSHROD, se localiza puntos diferentes de sujeción dentro del bastidor, los espirales serán instalados generalmente en la parte superior del chasis.

Este tipo de Sistema de suspensión se utiliza en vehículos de Formula Student (FS), puesto que proporciona una mejor aerodinámica del auto, consta de menos partes móviles y por lo tanto es más liviano.

2.3.8.2 *SISTEMA DE SUSPENSION PULL ROD.*

El principio de funcionamiento de este tipo de suspensión, es muy similar al tipo push-rod, con la diferencia de que en lugar de tener una barra que transfiere empujando la fuerza hacia

arriba,
barra que jala la

tenemos la misma
fuerza.

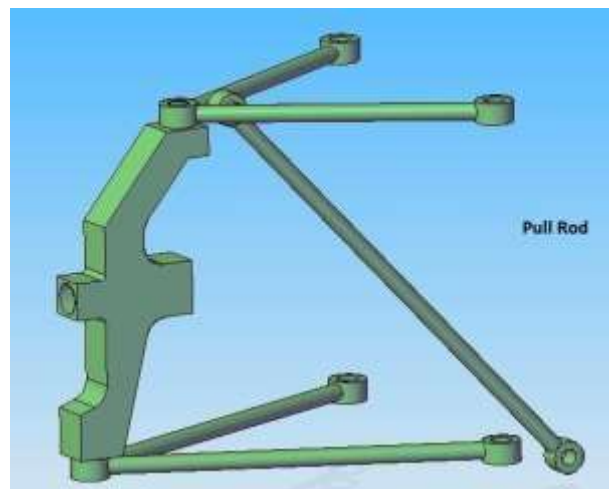


Figura 9. Suspensión PULL ROD

Fuente: (F1aldia, 2011)

En el sistema PULLROD el cual se ilustra en la Figura 9, la barra de que acción está ubicada de manera contraria al sistema push-rod, en donde en lugar de empuje, realiza una acción de impulsión.

Cabe destacar que al trabajar de esta manera el amortiguador se puede colocar más abajo, reduciendo así la altura del centro de gravedad del vehículo. De acuerdo con lo que se menciona en el siguiente texto: Al sufrir menos esfuerzos la barra de acción, se puede trabajar con materiales más livianos. Sus mayores desventajas se deben a su aumento de esfuerzos en el sistema de tracción y su mayor dificultad en el acceso a los elementos de la suspensión (Pulido, 2014).

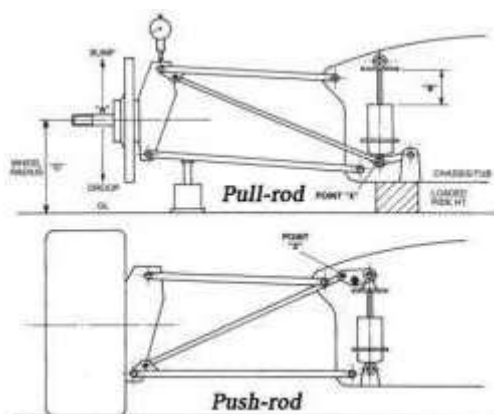


Figura 10. Sistema Pull Rod y Push Rod

Fuente: (F1aldia, 2011)

En la Figura 10, se muestra las diferencias de trabajo entre los dos sistemas.

2.3.9 SUSPENSIÓN TIPO PARALELOGRAMO DEFORMABLE

Con este sistema se evitan las barras de impulsión y de propulsión, para colocar al amortiguador de forma tal, que el movimiento sea transmitido directamente hacia el sistema de suspensión.

Este sistema tiene algunas ventajas y desventajas, entre las cuales podemos encontrar.

Que como es el sistema mucho más simple, entonces existirán menos elementos móviles, entonces existe menos peso total.

Por otro lado, la utilización de un sistema push o pull rod, es ventajosa si no contamos con suficiente espacio para la instalación de los amortiguadores, en este caso, se trasmite el

movimiento por medio de las barras propulsoras o impulsoras hasta la ubicación que se pueda instalar el amortiguador.

Este tipo de suspensión de tipo paralelogramo deformable, es el más utilizado en el mercado, debido a su funcionalidad y buenos resultados, su utilización es más apropiada en el eje delantero, puesto que, en el eje posterior, en la mayoría de casos se tiene la carcasa de transmisión.



Figura 11. Suspensión de tipo paralelogramo deformable

Fuente: (autocosmos, 2013)

Generalmente, este tipo de suspensiones se encuentran en la mayoría de los vehículos pequeños o automóviles. En la Figura 11, se observa un sistema de suspensión de paralelogramos deformable ensamblado.

2.3.10 BARRAS ESTABILIZADORAS

La barra estabilizadora, es un elemento adjunto al sistema de suspensión, la cual cumple como objetivo el solidarizar el movimiento vertical de la rueda opuesta, de esta forma, se disminuye el movimiento lateral que sufre la carrocería, en especial, cuando el vehículo se encuentra en una curva.

Las barras estabilizadoras se suelen colocar sólo en la suspensión delantera, aunque muchos autos también las tienen en la suspensión trasera, esto se encuentra en vehículos de gama intermedia.

2.3.10.1 UBICACIÓN DE LA BARRA ESTABILIZADORA

La barra estabilizadora, está ubicada en la parte inferior del vehículo, por los lados, está sujeta a los brazos de la suspensión, mientras que en el centro se sujeta en el chasis o bastidor.

En la parte central, se sujeta al bastidor en dos puntos, los cuales son los encargados de amortiguar el movimiento restar el balanceo al lado contrario del vehículo.



Figura 12. Barra Estabilizadora

Fuente: (YAMOVIL, 2019)

Los acoplamientos de la barra estabilizadora varían de un auto al otro. Algunas barras forman una conexión a través del eje trasero y se unen al brazo de suspensión en cada lado, como se muestra en la Figura 12.

Cabe indicar, que la ubicación de la barra estabilizadora, deberá ser la adecuada entre el chasis y el eje, para evitar que haya interferencia con los elementos móviles del sistema de suspensión.

En la suspensión de la barra de torsión, la barra estabilizadora se extiende desde un brazo al otro y la parte central de nuevo está sujeta al bastidor.



Figura 13. Barra estabilizadora en suspensión de barra de torsión

Fuente: (COMOFUNCIONAUNAUTO, 2016)

En el sistema de suspensión de barra de torsión, la ubicación de la barra estabilizadora será mucho más sencilla, puesto que tenemos menos elementos móviles. Figura13

2.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

2.4.1 REQUERIMIENTOS GENERALES DE DISEÑO

Para el diseño de la suspensión se debe considerar los siguientes requisitos.

- Masa del auto
- Vibraciones
- Tipo de amortiguador
- Tipo de superficie donde circulará
- Análisis de los diferentes tipos de suspensión existentes

Para el diseño del sistema de suspensión, se deberá determinar el centro de gravedad y las fuerzas que actúan sobre el sistema de suspensión.

Determinar del centro de gravedad, consiste en distribuir el peso del vehículo un 55% en el eje posterior y 45% en el eje delantero, con el propósito de hallar las longitudes del centro de gravedad.

Para poder calcular el centro de gravedad, se emplea la siguiente formula:

Datos:

$a = \text{altura del vehiculo en mm}$

$b = \text{altura de los asientos en mm}$

$$\text{centro de gravedad} = \frac{b \times 100\%}{a}$$

2.5 GEOMETRÍA DE LA SUSPENSIÓN Y PARÁMETROS CINEMÁTICOS

2.5.1 VARIACIÓN DE LA CONVERGENCIA Y DIVERGENCIA

El ángulo convergente/divergente (TOE), señala la dirección exacta hacia la cual las ruedas apuntan comparándolas con una línea vertical en el vehículo, al observar las ruedas desde la parte superior.

Este ángulo puede ser expresado en grados o fracciones de pulgadas. Si las ruedas apuntan hacia dentro existe convergencia y lo contrario se conoce como divergencia.

2.5.1.1 CONVERGENCIA POSITIVA "TOE IN"

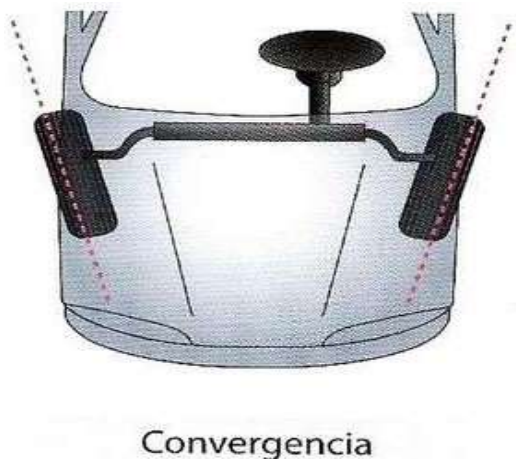


Figura 14. Convergencia positiva

Fuente: (Toyoandina, 2011)

Se puede definir como convergencia positiva a la posición de las ruedas cuando están cerradas en su parte delantera. Figura 14.

2.5.1.2 CONVERGENCIA NEGATIVA “TOE OUT”



Figura 15. Convergencia negativa

Fuente: (Toyoandina, 2011)

Por el contrario, a la convergencia negativa, en este caso se puede apreciar que las ruedas están apuntando en la dirección hacia afuera en sus llantas guías. Figura 15.

La convergencia positiva o negativa excesiva en el vehículo, podría generar diversos problemas y fallas, entre las cuales están: desgaste excesivo en la superficie de contacto de las ruedas, pérdida de maniobrabilidad del vehículo

En resumen, el exceso de convergencia provoca un desgaste excesivo en la parte exterior de los neumáticos y la falta de convergencia provoca un desgaste excesivo en la parte interior de los neumáticos.

2.5.3 VARIACIÓN DEL CAMBER

Es el ángulo de inclinación del neumático, con respecto al plano perpendicular a la superficie de la calzada.

Un cierto ángulo negativo de camber, aumenta el agarre del neumático en curvas, y un ángulo positivo, hace que haya cierta pérdida de adherencia.

2.5.3.1 *CAMBER POSITIVO (+)*

Se forma entre las ruedas, si al ver el vehículo de frente, las ruedas están abiertas en la parte superior.

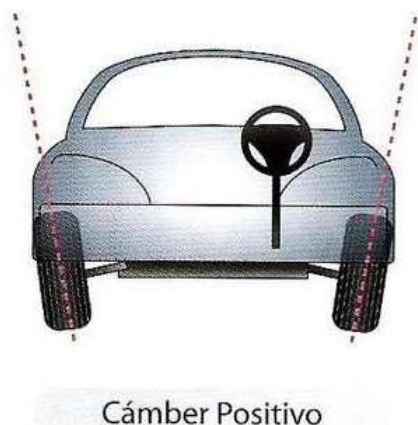


Figura 16. Camber positivo

Fuente: (Toyoandina, 2011)

Las ruedas tienen ese movimiento, puesto que su funcionamiento y los esfuerzos que son requeridos al momento de una curva, van a permitir que las ruedas se abran o se cierren en la parte superior. Figura 16.

2.5.3.2 *CAMBER NEGATIVO (-)*

Se forma entre las ruedas, si al ver el vehículo de frente, las ruedas están abiertas en la parte inferior.

En muchas ocasiones, se puede diferenciar estos dos movimientos debido a su tipo de suspensión, así como también, el estado de los bujes de sujeción.

Cabe recalcar que, para realizar una buena alineación de las llantas, el sistema de suspensión esté funcionando de manera óptima.



Figura 17. Camber negativo

Fuente: (Toyoandina, 2011)

Al contrario del Camber positivo, las ruedas van a tener un desgaste en llaparte interna como se expresa en la Figura 17.

Sin embargo, este comportamiento puede variar en función del tipo de neumático, presión de inflado, temperatura.

2.6 REGLAMENTACIÓN

Para la realización de este proyecto, estrictamente se debe basar en la reglamentación establecida por el organismo que regula esta competencia, específicamente en el sistema de suspensión a ser implementado, para lo cual tenemos:

Art 6: Reglas generales del chasis

Con respecto a la suspensión este artículo indica que:

- El automóvil debe estar equipado con un sistema de suspensión totalmente operacional con amortiguadores, delanteros y posteriores, con recorrido utilizable de la rueda de al menos 50,8 mm (2 pulgadas), 25,4 mm (1 pulgada) de rebote con el conductor sentado. Los jueces se reservan el derecho de descalificar a los automóviles que no representan un intento serio de un sistema de suspensión operacional.
- Todos los puntos de montaje de la suspensión deben ser visibles en la inspección técnica, ya sea por vista directa o por quitar cualquier cubierta (SAE, 2017-2018).

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Es importante mencionar que el diseño de la suspensión se realizó en base a las características de chasis ya fabricado con anterioridad, además, varias de las consideraciones, materiales y características fueron tomadas en cuenta conjuntamente con los trabajos realizados por las personas que diseñaron el sistema de dirección y de frenos. En resumen, los pasos que se tomó en cuenta son: Diagnóstico del proyecto iniciado, Revisión de Bibliografía, Elección de parámetros y por selección de softwares a utilizar para el diseño y simulación, de esta manera finalmente se logró la construcción exitosa.

3.1 DIAGNÓSTICO

Se realizó la petición y la próxima aceptación del tema de tesis que consiste en el de diseño y fabricación de un bastidor para un vehículo de tipo fórmula Student, este tema fue realizado con éxito, y es del mismo que estamos partiendo para la realización de este proyecto.

El bastidor antes mencionado, se encontró en perfectas condiciones debido que fue realizado con un diseño previo, al cual ahora se adapta el sistema de suspensión, de acuerdo a las medidas y configuración del mismo.

Una vez analizado la composición del bastidor, se optó por la colocación del mejor sistema de suspensión, sabiendo que hubiese sido tecnológicamente factible la instalación de un sistema de tipo push o pull rod, se debió optar por el sistema de tipo paralelogramo deformable.

3.1.1 SISTEMA DE SUSPENSIÓN TIPO PARALELOGRAMO DEFORMABLE

En este sistema de suspensión, la disposición de la suspensión es más básica que la de tipo push o pull rod, debido a que el conjunto amortiguador-espinal va montado directamente al elemento móvil que en este caso sería la mesa y por el otro lado va sujeto directamente al bastidor.

Este tipo de suspensión fue elegido debido a que en el bastidor no se encontraban los puntos en el espacio que se necesitarían para la colocación de otro tipo de suspensión, así como también el bastidor carecía de elementos en el lugar de instalación.

3.1.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

La parte del diseño, se define o se trata sobre el previo análisis del sistema, así como también de los diferentes elementos que se va a utilizar para la siguiente construcción. Este sistema de suspensión deberá cumplir con ciertos requerimientos y especificaciones, las cuales solamente se podrían comprobar con el diseño y la simulación

Por otro lado, el diseño es útil al momento de saber si los elementos los cuales se implementará, funcionaran de manera óptima al momento de las pruebas y su propio funcionamiento, de esta forma cuando se construya el sistema, su funcionamiento será óptimo.

3.2 SELECCIÓN

Antes de iniciar con el diseño, se deberán contestar algunas preguntas, como en este caso serán, ¿cómo?, ¿con qué?, ¿en dónde?, se realizará el diseño.

Para la correcta selección del sistema que se diseñada debemos saber cuál es el más factible en algunos sentidos como son, la factibilidad de la ubicación, el factor costos, elementos móviles, entre otros.

Como fue mencionado con anterioridad, se seleccionó el sistema de suspensión de tipo paralelogramo deformable, debido a la constitución del bastidor, así como también el menor número de partes móviles y por ende el menor costo final del proyecto.

3.2.1 SELECCIÓN DE TIPO DE SUSPENSIÓN

Se distinguen entre los diferentes tipos de suspensiones a utilizar, los medios que se obtienen para la utilización e instalación de los elementos, como pueden ser, el espacio con el que se cuenta, así como también la eficiencia estructural, la cual se define como la perfecta instalación del sistema en la ubicación seleccionada. En la Tabla 1 se realiza una elección de la viabilidad para escoger los sistemas de suspensión explicados con anterioridad, calificando en base al conocimiento propio y de acuerdo a las características del chasis ya construido.

Tabla 1. Cuadro de Viabilidad

	Espacio disponible	Eficiencia estructural	Capacidad de ajuste	de Libertad de diseño	Rango
Factor de ponderación	0.4	0.3	0.15	0.15	1
Paralelogramo deformable	0.32	0.21	0.12	0.135	0.785
Push Rod	0.12	0.09	0.06	0.075	0.345
Pull Rod	0.14	0.05	0.08	0.1	0.33

Fuente: Autor

Entonces mediante el análisis de los parámetros antes mencionados, se eligió realizar el diseño de un sistema de suspensión de tipo paralelogramo deformable.



Figura 18. Paralelogramo deformable

Fuente: (Km77, 2021)

La suspensión de paralelogramo deformable, es aquella en la cual se encuentran dos triángulos superpuestos, es decir uno arriba y otro abajo, en algunos casos, se reemplaza un triángulo por otro elemento similar, en el cual se ubica el amortiguador en el brazo inferior, y por su lado contrario, va sujeto al bastidor. Figura 18.

3.2.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE POSICIONAMIENTO DEL ESPIRAL

Al momento de decidir cuál sería el perfecto posicionamiento de la espiral, se deben tener en cuenta la disponibilidad y geometría que está diseñado el bastidor, así como también la cantidad de espacio que está disponible para su ubicación.

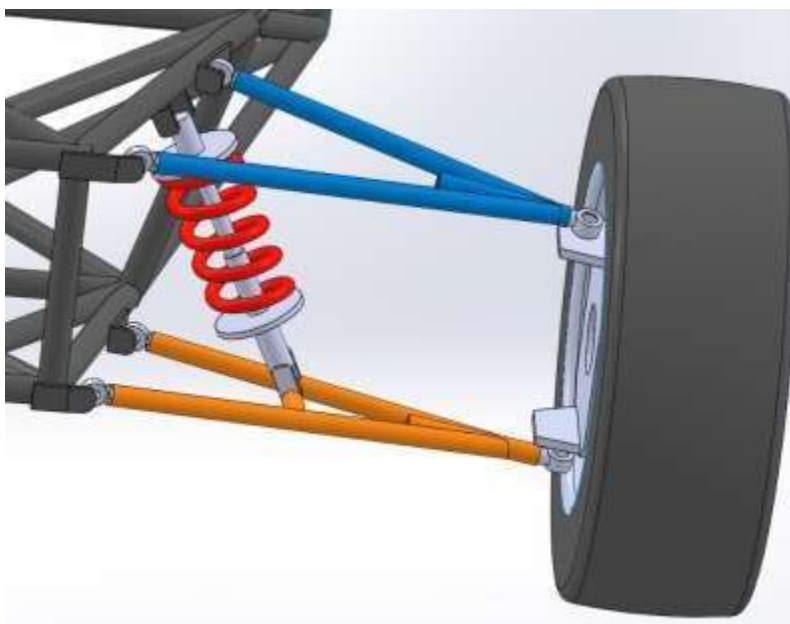


Figura 19. Suspensión tipo Paralelogramo Deformable

Fuente: Autor

Como se había explicado con anterioridad, se parte de los puntos referenciales diseñados y construidos en el bastidor, y se acuerda ubicar el espiral en el centro del brazo inferior, y por el lado contrario al bastidor. Figura 19.

3.2.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE LLANTA Y RIN

Al ver que este tema es un proyecto de tipo estudiantil, mas no un proyecto institucional, se está tratando de buscar los elementos económicamente más factibles, por lo que se decidió utilizar una llanta con labrado mixto, así como también aros tipo formula rin 13 los cuales simularían el funcionamiento de los rines específicos para este monoplaza y al mismo tiempo permiten al vehículo desempeñarse de forma óptima, sin faltar al reglamento de competencia.

Se utilizará una llanta de rin13, con lo que conseguimos una mayor libertad y facilidad de trabajar con el resto de elementos como son, la mangueta, el cubo de rueda y el sistema de frenos.

También cabe recalcar que en el reglamento principal de la formula SAE, tan solo se especifica que la rueda debería tener una altura máxima y mínima, mas no un numero de rin específico con el cual se debería trabajar.

Este elemento, cabe mencionar, que fue elegido en consenso con la investigación realizada paralelamente del sistema de frenos y de dirección.



Figura 20. Llantas y Aros

Fuente: (Mantallanta, 2021)

El neumático o llanta es un elemento de caucho que va montado directamente en el aro, consta de algunos elementos secundarios como es laminas o alambre de metal los cuales permiten que el neumático mantenga su forma y resistencia. Figura 20.

3.3 SELECCIÓN DE AMORTIGUADORES

Antes de elegir que amortiguador se utilizará, se tomó en cuenta las condiciones de trabajo que se presentan, así como también llevar a cabo un análisis de las dimensiones que presente el sistema una vez diseñado.

En el mercado se puede encontrar varios tipos de amortiguadores, entre la cuales se diferencia sus marcas, diseño, resistencia, diámetros, entre otros.

Para la realización de este proyecto, existen parámetros los cuales fueron tomados en cuenta en la competencia internacional, entre las cuales están por un lado el funcionamiento óptimo del vehículo y por otro lado el tema costos, que mientras más bajo sea, mayor será su puntaje.



Figura 21. Monoshock

Fuente: (MOTORALMOR, 2021)

Para el sistema de suspensión de este vehículo, se eligió un amortiguador MOXAL SH200 – XY200III. Figura 21.

Tabla 2. Especificaciones del amortiguador

PESO	21.5 Kg
DIMENSIONES	240 x 125 mm
COLOR	ROJO
ORIGEN	CHINA
MODELO	SH200 – XY200III.
PASO	15 mm
GROSOR DE ESPIRA	12 mm
MATERIAL	FUNDICIÓN - CAUCHO
PRESIÓN MAX	8979 N.

Fuente: (MOTORALMOR, 2021)

El conjunto que se ocupará en la construcción, será de un diámetro menor a la que encontramos en vehículos convencionales, así como también de menor recorrido debido a que las necesidades del formula SAE, así lo requieren.

En este tipo de suspensiones, es un solo conjunto tanto el amortiguador como el espiral, de esta forma lo que se gana es un espacio más reducido para la instalación del mismo y cumple las mismas funciones que las otras disposiciones como son, los de barra de torsión, de tipo McPherson, o simplemente el sistema espiral amortiguador de forma separada.

3.4 SELECCIÓN DE MATERIAL

Luego obtener los elementos con los cuales se armará el proyecto, se procedió a elegir el tipo de material con el que se trabajará.

El acero SAE 1020 es un Acero de bajo carbono, blando, responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. Tiene un alto índice de soldabilidad, y por su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para elementos de maquinaria y usos convencionales de baja exigencia (BRAVO, 2012).



Figura 22. Acero SAE1020

Fuente: (Dincorsa, 2017)

Por la economía, la facilidad de adquisición, y la tratabilidad del mismo, se eligió trabajar con un acero aleado SAE 1020, mediante el cual se logrará realizar de forma correcta la construcción. Figura 22. En la Tabla 3 se aprecian las características del material mencionado.

Tabla 3. Características SAE 1020

TRATAMIENTO TÉRMICO – VALORES EN °C	
FORJADO	820 - 1100
NORMALIZADO	870 - 890
REVENIDO	150 - 180
RECOCIDO	650 - 700
TEMPLADO	820 - 850
CEMENTACIÓN	900 - 950
PROPIEDADES MECÁNICAS LAMINADO EN CALIENTE	
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	420 Mpa
LIMITE DE FLUENCIA	350Mpa
ELONGACIÓN	20%
REDUCCIÓN DE ÁREA	50%
MAQUINABILIDAD	72%
DUREZA (HB)	110 - 140

Fuente: (AcerosBravo, 2021)

3.5 PROCESO DE SOLDADURA

Para la unión de las piezas y mecanismos, se recomienda el proceso de soldadura MIG.

La ventaja de utilizar este tipo de suelda, es que se gana productividad por el mismo hecho de su hilo continuo, a diferencia de la suelda SMAW (por electrodo), en la cual se pierde eficiencia en soldaduras de larga duración, debido al cambio de electrodo.



Figura 23. Suelda MIG

Fuente: (Ferrepát, 2017)

Este proceso consta, de una de soldadura de arco, la cual trabaja con gas inerte, un hilo continuo, y las piezas a unir. Figura 23.

3.6 POSICIONAMIENTO DE LA SUSPENSIÓN

Finalizado la etapa de construcción y unión entre los elementos, se analiza que la posición del amortiguador, sea el correcto de acuerdo a los diseños antes realizados en el software. La posición del amortiguador es muy importante, puesto que el mismo no deberá interferir en la funcionalidad de los sistemas adjuntos, como podrían ser: frenos, dirección, entre otros.

En el sistema tipo paralelogramo deformable, se deberá tener en cuenta la inclinación del amortiguador, para que el trabajo del mismo sea realizado correctamente.



Figura 24. Ubicación de la suspensión

Fuente: (AutomotrizMaver, 2019)

Aunque el sistema de suspensión está compuesto por algunos elementos más, en la Figura 24 se observa los principales.

- 1.- Disco.
- 2.- Mangueta.
- 3.- Brazo inferior.
- 4.- Brazo superior.

3.6.1 PERNOS DE ENSAMBLE.

La adaptabilidad o posicionamiento y las dimensiones de los pernos, deberá ser la adecuada para que no interfiera al momento de que la suspensión este realizando su trabajo.



Figura 25. Pernos de ensamble.

Fuente: (Bzstainless, 2014)

Para el ensamblaje de elementos de cualquier tipo que sean, se aconseja la utilización de pernos de un buen material, así como también las rodajas de presión y sus respectivas tuercas de seguridad. Figura 25.

Como se especifica en el reglamento interno de la formula SAE, los pernos deben ser de un largo tal, que cuando se coloque la tuerca de seguridad, queden a vista 3 hilos de rosca del perno.

3.6.2 REGULACIÓN CAMBER – CASTER – CONVERGENCIA - DIVERGENCIA

Una de las facilidades al instalar rotulas esféricas en el sistema de suspensión, es que los da la facilidad de poder regular con facilidad si necesitamos modificar alguna referencia, como podrían ser: camber, caster, convergencia y divergencia.

Estas rotulas esféricas, nos permiten mantener un trabajo específico de movimiento, entre las que están: cargas de compresión, y cargas de tensión, si se los fuerza en diferentes direcciones, podrían presentar fallas o mucho peor, su ruptura.

3.6.3 PROGRAMAS UTILIZADOS

Una vez estipulado los parámetros descritos es importante mencionar los programas usados para el diseño y simulación del sistema de suspensión fabricado y de esta manera el proyecto resulte satisfactorio. Los programas usados fueron los siguiente, cabe mencionar que fueron en versión educativa.

- **SOLIDWORK.** - Este programa fue utilizado por su versatilidad y facilidad al momento de diseñar y ensamblar partes mecánicas.
- **ANSYS EDUCATIVO.** - Utilizado para el análisis de esfuerzos, visualización de mallados de las partes diseñadas para entender de una manera detallada el comportamiento que tendrá el sistema diseñado al momento de realizar su trabajo.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PROCESO DE DISEÑO

Una vez seleccionado los elementos y materiales que se utilizaran, se procede a realizar el diseño utilizando los diferentes medios tecnológicos y programas.

Se inicia con el diseño previo del bastidor, dependiendo de este, se analizará los puntos de sujeción, así como también diámetros y medidas.

4.1.1 GEOMETRÍA DE LA SUSPENSIÓN

4.1.1.1 ANCHO DE VIA

Se denomina ancho de vía, a la distancia que se encuentra entre las dos llantas, vista de manera frontal, no necesariamente el ancho de vía debe ser igual en el eje delantero que en el posterior.

Para la realización del diseño de la geometría de la suspensión, de debe tener en cuenta los requerimientos de la reglamentación de la formula SAE, la cual claramente indica que se deberá diseñar y construir el sistema de suspensión de manera óptima y funcional. Antes de iniciar con el diseño, se seleccionará datos acerca de la distancia entre ejes, con estos datos lo que se logrará, es obtener la mayor eficiencia en el monoplaza y analizando datos de prototipos diseñados y construidos con anterioridad, como muestra la tabla 4 (Brevik, 2013).

Tabla

4.

ANCHO DE VIA EN MM.	TIEMPO DE VUELTA EN SEG.
1300	11.44
1400	11.41
1500	11.38
1600	11.35
1700	11.32
1800	11.29

Comparación ancho de vía y tiempo en el eje delantero.

Fuente: (Brevik, 2013)

Con lo cual se puede constatar que, a mayor ancho de vía, mayor será su eficiencia en curvas, pero también se incrementará su peso final lo cual es muy desfavorable.

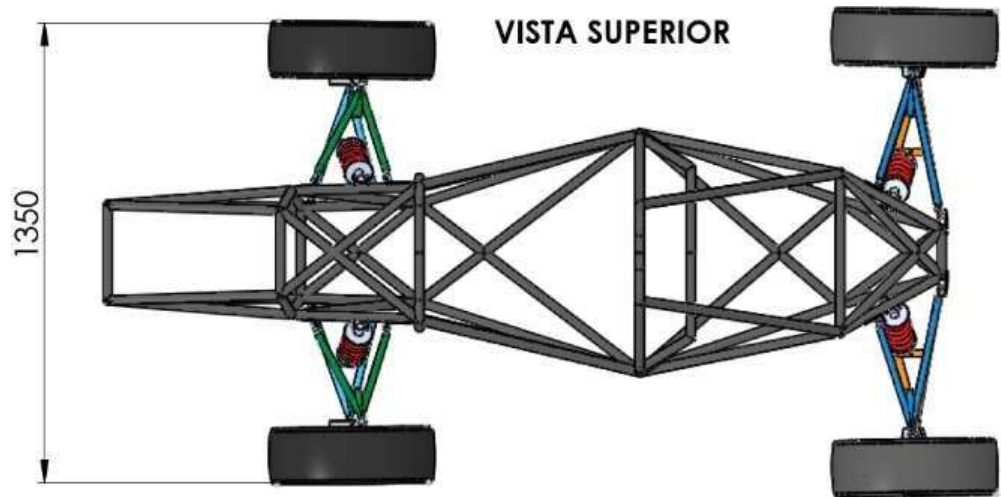


Figura 26. Ancho de vía eje frontal

ho de vía eje frontal

Fuente: Autor

Con los datos obtenidos, tanto en el eje frontal como en el posterior, se puede apreciar que el ancho de vía, deberá ser diferente, favoreciendo así a la maniobrabilidad y la estabilidad del vehículo en curvas cerradas y a la salida de las mismas. Tabla5.

Tabla 5. Ancho de vía y tiempo en el eje posterior.

ANCHO DE VÍA EN MM	TIEMPO DE VUELTA EN SEG
1200	11.37
1235	11.36
1245	11.35
1300	11.31
1400	11.28
1500	11.25

Fuente: (Brevik, 2013)

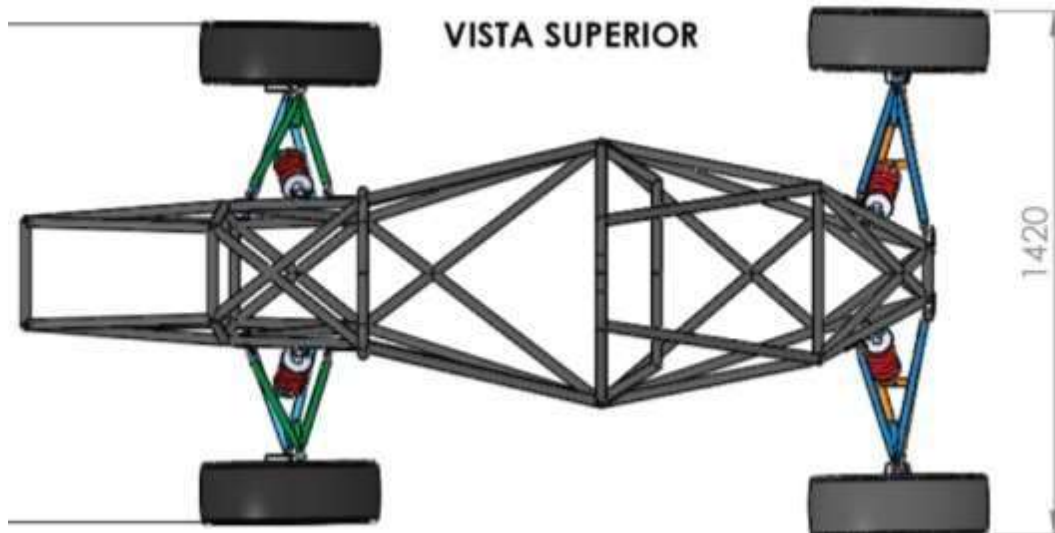


Figura 27. Ancho de vía eje posterior

Fuente: Autor

Analizando el peso del bastidor, así como también su estructura, se decidió diseñar un monoplaza con ancho de vía de 1350 mm en su eje frontal (Figura 26), diferente al eje posterior el cual mide 1420 mm (Figura 27).

4.1.1.2 DISTANCIA ENTRE EJES

Hace referencia a la distancia que existe entre el eje delantero y el eje posterior. Esta medida influye en los aspectos de conducción y estabilidad (Figura 28).

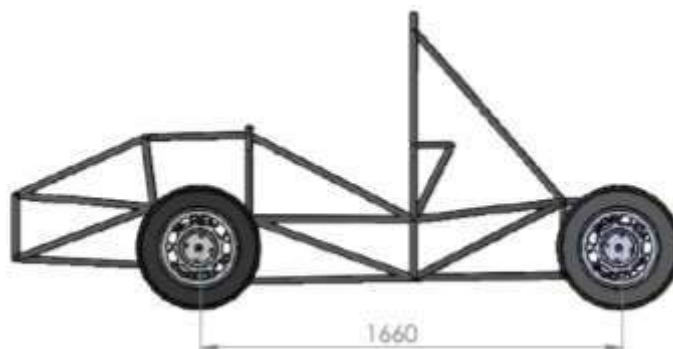


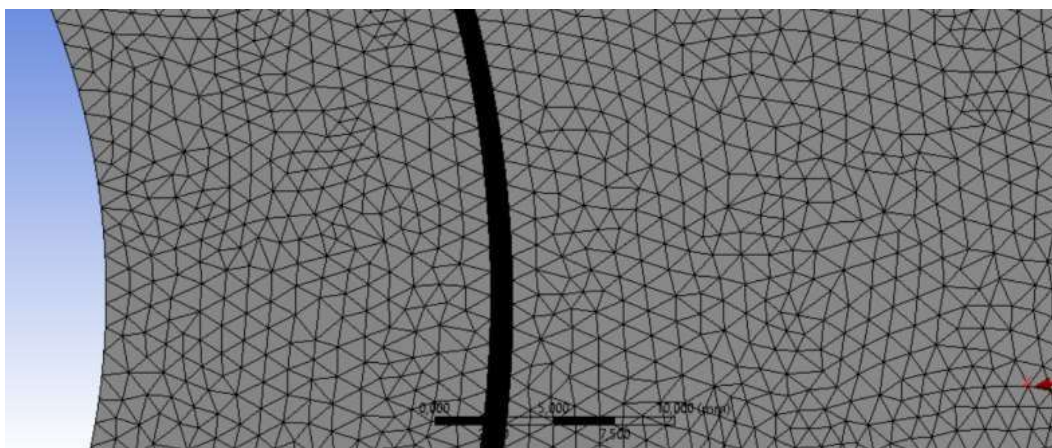
Figura 28. Distancia entre ejes

Fuente: Autor

4.1.2 MALLADO

El mallado, es un proceso que está dentro del análisis de elementos finitos. Este proceso está formado por pequeños elementos unidos entre sí en puntos llamados nodos, es decir, que el software divide al elemento en pequeñas subelementos para poder analizar más a detalle al elemento principal.

El mallado de una figura, deberá ser lo más mínima posible, para detallar al elemento



finamente.

Figura 29. Mallado Tetraédrico

Fuente: Autor

En la figura 29, se puede visualizar que el mallado se realizó de forma tetraédrica, y de la manera más fina posible, para lo cual se obtienen los siguientes datos.

Tabla 6. Mallado

TIPO DE MALLA	TETRAEDRICA 3D SOLID
MALLA MÉTRICA	Radio JACOBIANO
MÍNIMO	-100
MÁXIMO	3554,4
PROMEDIO	1,0395
NUMERO DE NODOS	23525
NUMERO DE ELEMENTOS	13436

Fuente: Autor

4.1.3 ANÁLISIS DE CARGAS

Debido a las diferentes y, en ocasiones, excesivas cargas que se presentan en el sistema de suspensión, se debe realizar un análisis de los esfuerzos que se presentan en la misma.

Para lo cual, se trabajará con programas de diseño mecánico el cual, mediante el ingreso de datos o parámetros, se podrá realizar análisis digitales de los esfuerzos que se presentarán en el sistema, y, por consiguiente, la resistencia que tendrán cada uno de los elementos de la suspensión.

Es importante mencionar que para el diseño y construcción se ha tomado datos de proyectos realizados anteriormente en el país, en donde los datos de aceleración y frenado fueron tomados en cuenta en base a un promedio de vehículos de una competición en el año 2010, además, en el trabajo mencionado se utiliza un valor aproximado del peso del vehículo, estas aproximaciones se realizan debido a que no se conoce el peso final que tendrá el vehículo (Garcés, 2012).

En la bibliografía de (Garcés, 2012) obtuvo los valores de la Tabla 7 luego de calcular los estados en cada una de las etapas a las que el prototipo estuvo analizado, con estos

resultados, se puede ingresar datos al programa de diseño, y comenzar a calcular los esfuerzos en las mesas de la suspensión.

Tabla 7. Análisis de cargas

	SIN MOVIMIENTO	ACELERACIÓN	FRENADA	CURVA
RUEDA DELANTERA	83.25kg	76.72kg	108.80kg	144.39kg
RUEDA POSTERIOR	101.75kg	108.28kg	76.20kg	177.69kg

Fuente: Garcés M., 2012

Para poder realizar el análisis de esfuerzos computacionales, también se necesitará datos como el material que se utilizará, la fuerza de la llanta y la fuerza en los soportes.

4.1.4 ANÁLISIS EN LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN

Los datos a ser ingresados en el sistema son los siguientes tomando en cuenta que el peso del vehículo a considerar es de 370Kg y que la distribución del peso es de 55% atrás y 45% adelante. Se utilizará los valores más altos de esfuerzos que corresponden a los brazos traseros al ser los que se encuentran bajo una mayor acción de las fuerzas.

Material: Acero SAE 1020

Fuerza de la llanta: 1750 N

Fuerza en el soporte: 2400N.

4.1.5 ANÁLISIS DE ESFUERZOS DEL VEHÍCULO EN REPOSO

4.1.5.1 Análisis de deformación

En el análisis de desplazamiento, se forzará al elemento a diferentes direcciones para saber el punto máximo de resistencia del elemento, así se sabrá con exactitud hasta que rango soportará el elemento en un movimiento no permitido.

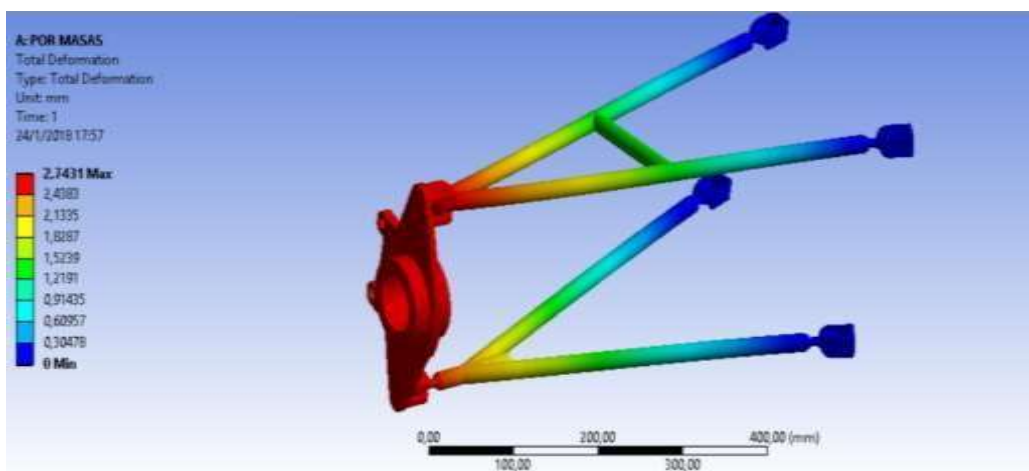


Figura 30. Análisis de deformación.

Fuente: Autor

Con los datos ingresados, se obtiene los resultados que se pueden apreciar en la figura 30, de lo cual se observa que toda el área de la mangueta, sufrirá el mayor esfuerzo con una deformación máxima de 2.7431 mm.

4.1.5.2 *Equivalente de esfuerzo.*

El análisis de tensión o análisis lineal, es el encargado de analizar o calcular las deformaciones y tensiones de cualquier elemento, basándose en el material, las sujeciones y las cargas.

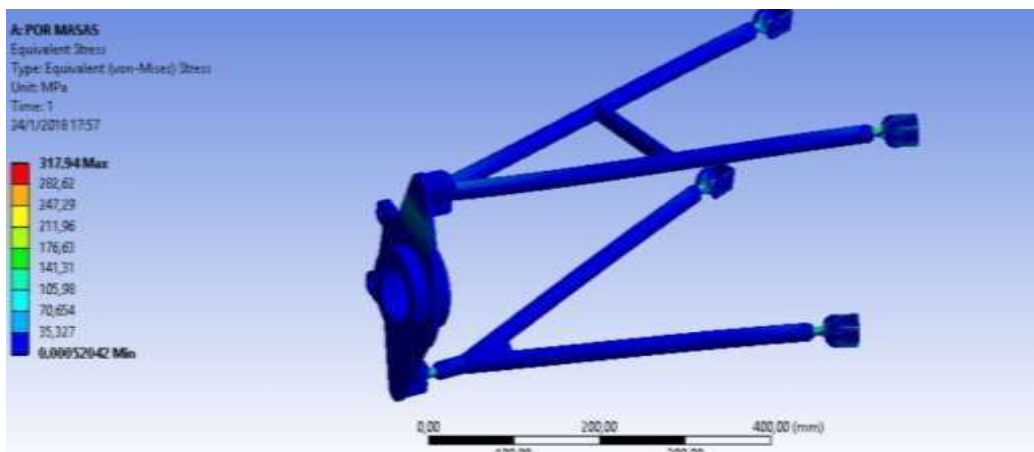


Figura 31. Análisis de Esfuerzos.

Fuente: Autor

Al finalizar la simulación de esfuerzos, se puede concluir que el elemento podrá resistir una carga máxima de 317.94 MPa, como se observa en la figura 31, lo cual indica una percepción de seguridad en el diseño.

4.1.5.3 Factor de seguridad

El coeficiente de seguridad, es el cociente entre la capacidad máxima para la cual fue diseñada el elemento, y los valores reales o requerimiento esperado al cual será sometido el mismo.

El factor de seguridad, será una de las piezas fundamentales para la realización de este proyecto, puesto que con este análisis se sabrá si la construcción y el análisis serán los adecuados.

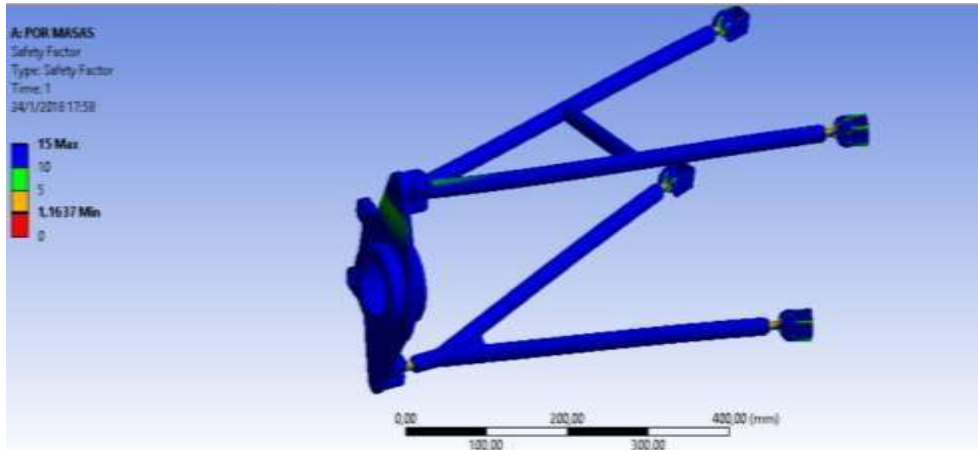


Figura 32. Factor de seguridad.

Fuente: Autor

El resultado obtenido del analisis, indica que según el tipo de material que se utilizara y las cargas a las cuales será sometido el elemento, se obtiene un factor de 1.16 como valor mínimo, lo que indica que si funcionará correctamente luego de su construcción. Figura 32.

4.1.6 ANALISIS EN ACELERACIÓN

4.1.6.1 Análisis de deformación por aceleración

Existen diferentes tipos de esfuerzos a los cuales será sometido el monoplaza, entre una de ellas es cuando el mismo está acelerando, lo cual se analiza a continuación.

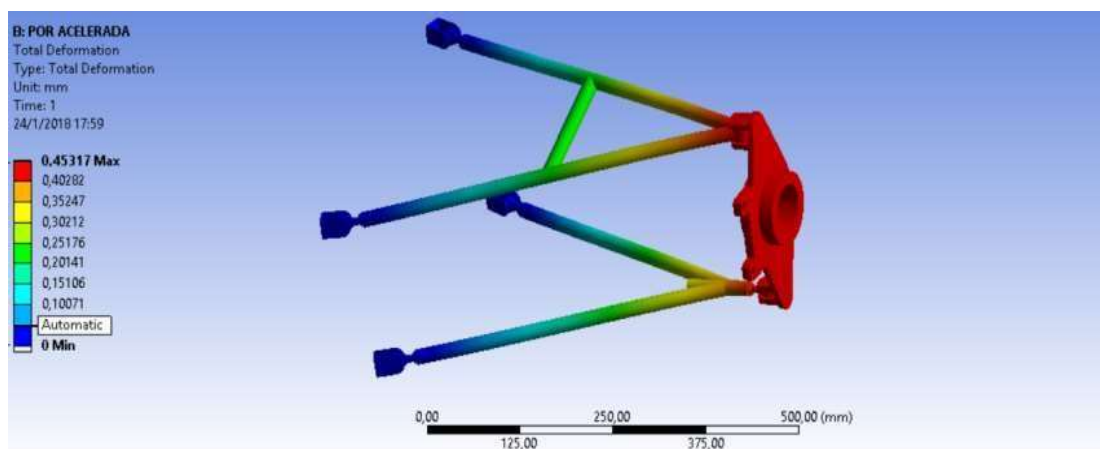


Figura 33. Deformación en la aceleración

Fuente: Autor

En la Figura 33 se puede verificar que la deformación total del elemento al momento de la aceleración, será de 0.4531 mm.

Como se aprecia en la imagen, la deformación máxima que sufrirá el elemento, se verá representada en el área de la mangueta, puesto que la misma va junta a la rueda, y recibirá la fuerza directamente.

4.1.6.2 *Equivalente de esfuerzos en aceleración*

Así mismo como se analiza las cargas al momento de estar el vehículo en posición de reposo, se deberá analizar los esfuerzos que se presentan al momento de que el vehículo avance en una aceleración brusca.

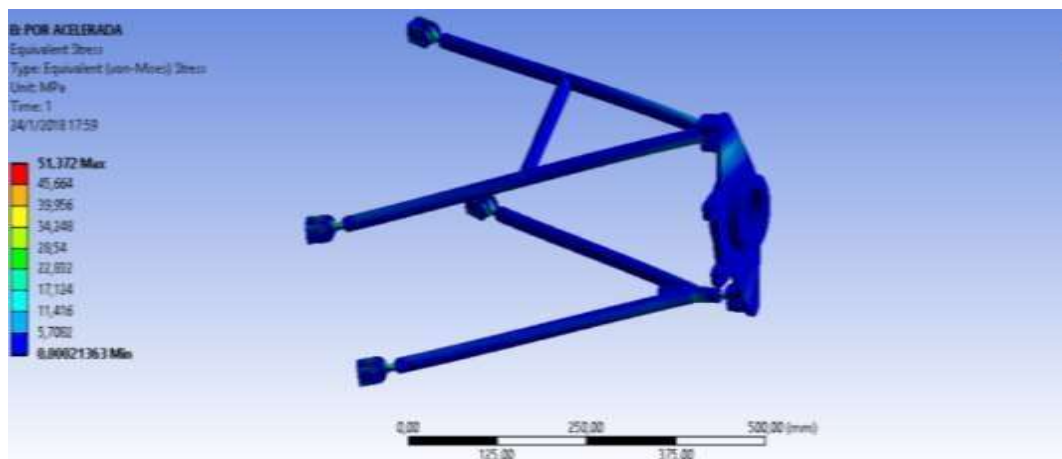


Figura 34. Análisis de Esfuerzos en la aceleración

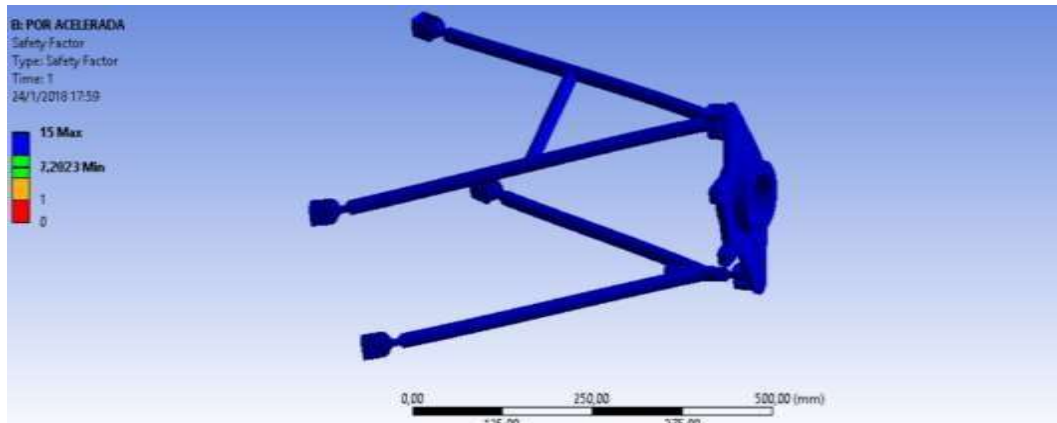
Fuente: Autor

El esfuerzo máximo que podrá soportar el elemento en una aceleración, será de 51.372 MPa, lo cual indica que en un principio no se sufrirán daños o desgastes excesivos. Figura 34.

4.1.6.3 *Factor de seguridad por aceleración*

El factor de seguridad, nos indicará la resistencia máxima que se obtendrá en el elemento durante la aceleración.

Se deberá realizar el análisis en cada uno de los tiempos o momentos que sufrirá el vehículo, para poder estar seguros de que los resultados son los adecuados para poder



realizar la construcción final

Figura 35. Factor de Seguridad en la aceleración

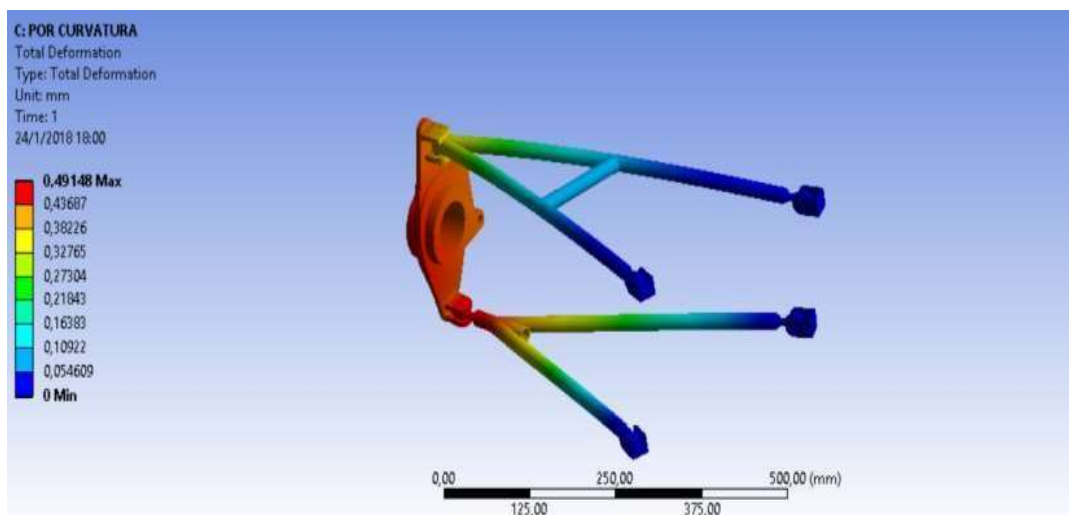
Fuente: Autor

Los datos que se logró obtener luego de este análisis, indica que el coeficiente de seguridad durante la aceleración es de 7.2, lo que resume que los resultados son adecuados, y por ende su funcionamiento será óptimo. Figura 35.

4.1.7 ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN UNA CURVA.

4.1.7.1 *Análisis de deformación en una curva*

El vehículo cuando ingresa a una curva, refleja un esfuerzo lateral, así como también una fuerza centrífuga, por lo cual también es necesario analizar las fuerzas y los resultados que



arrojaran los elementos.

Figura 36. Deformación en la curva

Fuente: Autor

Analizando la Figura 36, se puede visualizar que la deformación del sistema al ingresar a una curva, será tan solo de 0.4918 mm.

4.1.7.2 Análisis de esfuerzos en curva

Al igual que en la aceleración, se deberá analizar los esfuerzos a los cuales serán sometidos los elementos al momento de ingresar a una curva

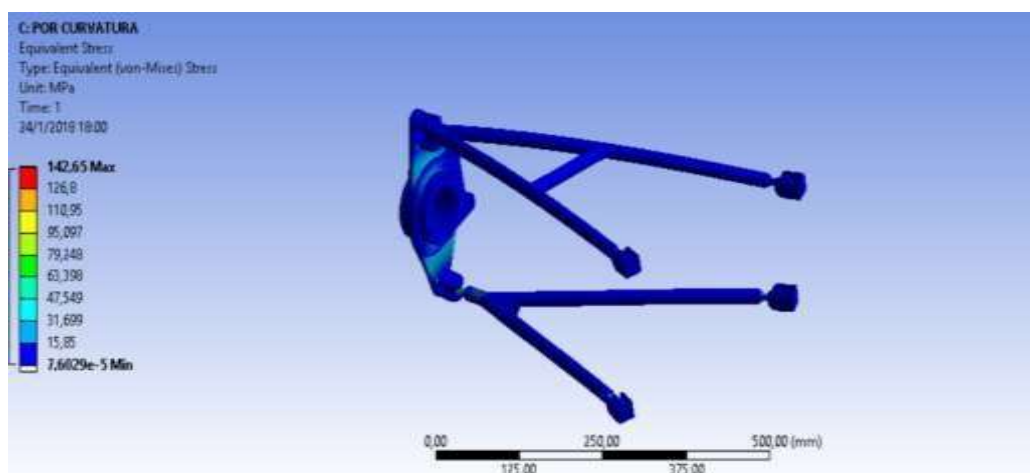


Figura 37. Esfuerzos en una curva

Fuente: Autor

En una curva, el sistema recibe un esfuerzo máximo de 142.65 MPa, dato con el cual se podría decir que no existirá inconvenientes en su funcionamiento. Figura 37.

4.1.7.3 Factor de seguridad en curva

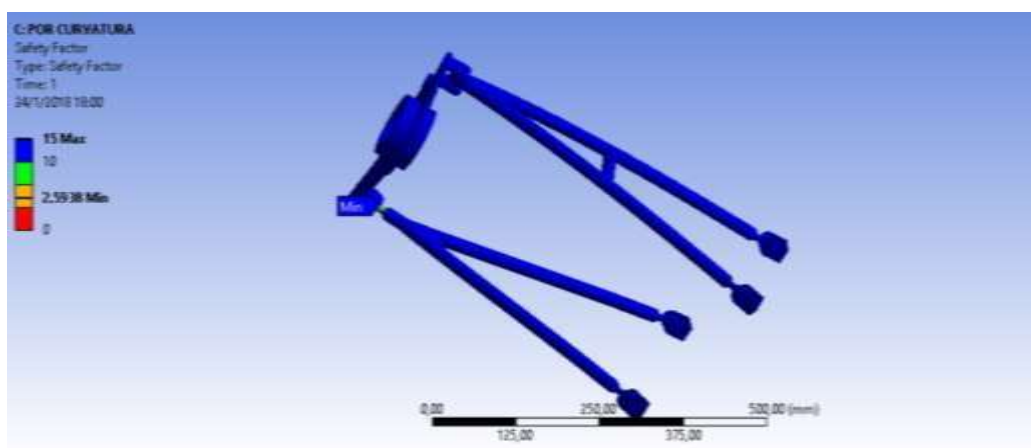


Figura 38. Coeficiente de seguridad en curva

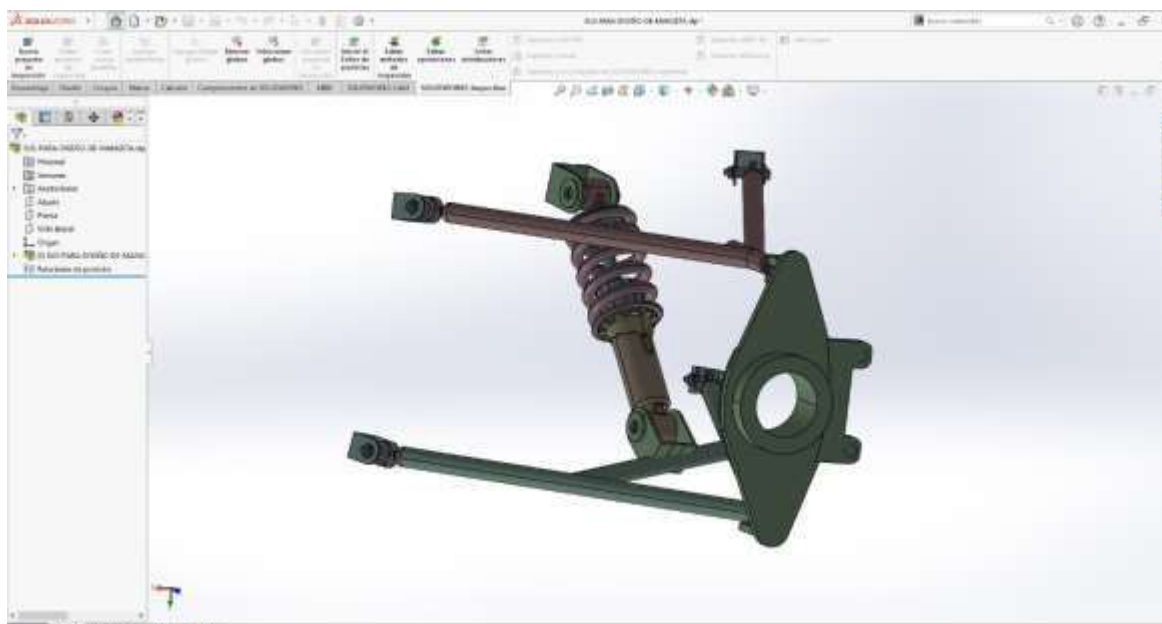
Fuente: Autor

El coeficiente de seguridad en el análisis en la curvatura, registra que será de 2.59 como valor mínimo, también se puede analizar que su punto más crítico será en la junta de la rótula esférica y la mangueta, con este dato que se obtuvo se justifica que el resultado en el funcionamiento será el esperado. Figura 38.

4.1.8 ENSAMBLE EN 3D

Una vez realizados los cálculos para la obtención de estos datos, se precede a la construcción o ensamblaje en 3D, esto será de utilidad para poder localizar de forma correcta los puntos en el espacio para la construcción física.

Analizando las imágenes antes presentadas, se observa que ninguno de los elementos móviles del sistema, obstruye con el movimiento del mismo, entonces se podría proceder



con la construcción y los análisis previos de análisis de esfuerzos y resistencia.

Figura 39. Ensamblaje vista exterior

Fuente: Autor

En la Figura 39, se puede analizar y visualizar, la posición de la mangueta con sus soportes para la mordaza del freno, conjuntamente se visualiza la ubicación de las bases las cuales estarán unidas al bastidor.

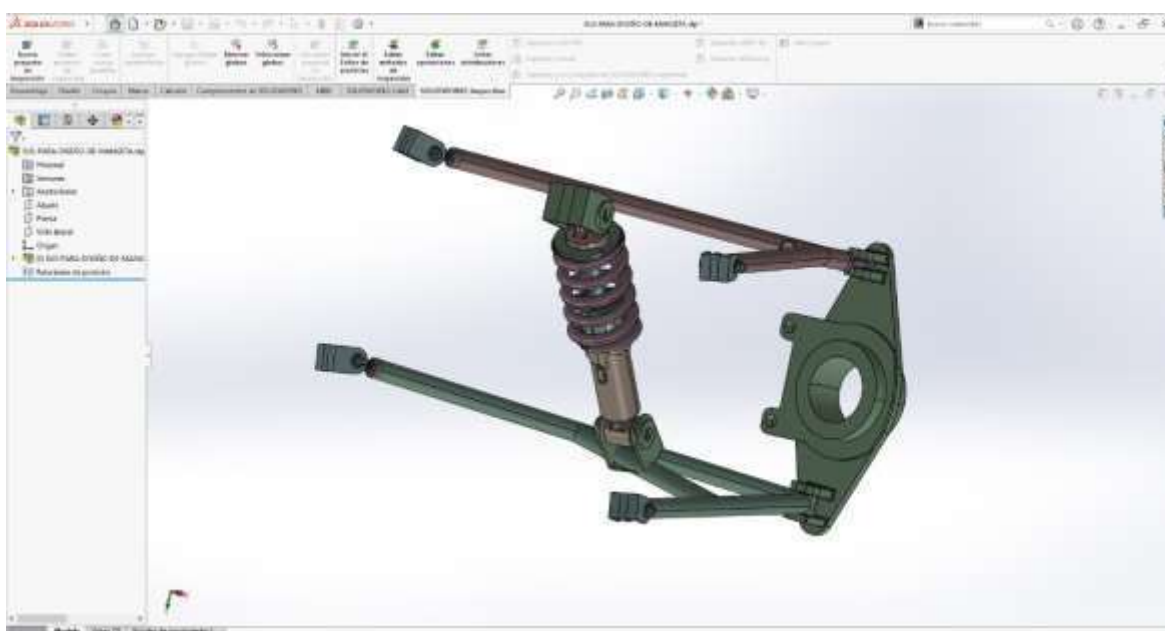


Figura 40. Ensamblaje 3D vista interior.

Fuente: Autor

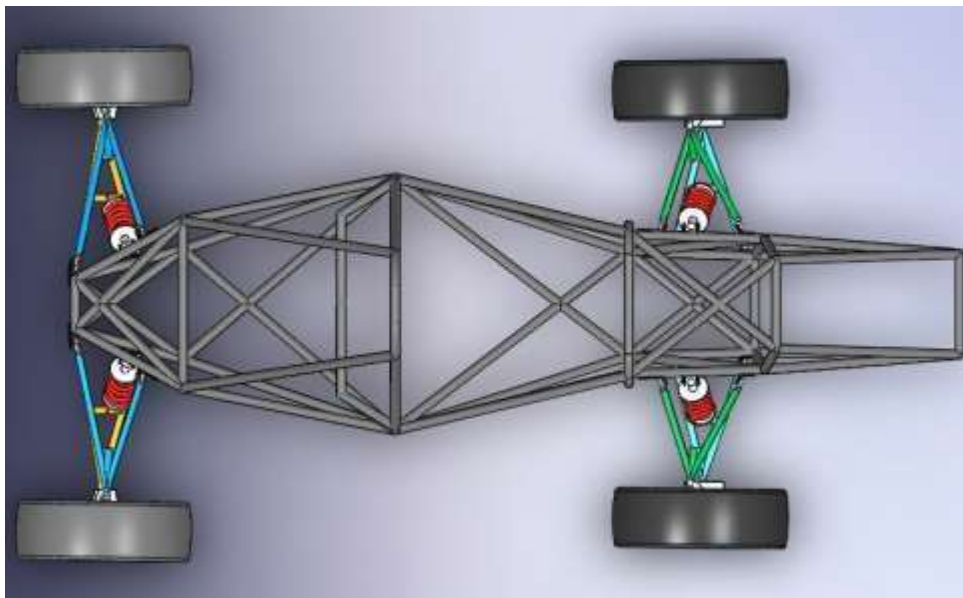
Mientras que en la Figura 40 se puede apreciar a la mangueta en su parte interior, conjuntamente con los puntos de apoyo y la ubicación del amortiguador.

Realizado el ensamblaje del sistema de suspensión, y analizando que sus elementos están correctamente instalados en su lugar de diseño, se procede a realizar un ensamble completo en el bastidor.

4.1.9 CONSTRUCCIÓN

En este subtema se representará y demostrará los métodos de manufactura y procesos tales como son, corte, suelda, torneado, entre otros.

A continuación, se analizará los pasos para la construcción de los elementos y su unión con el bastidor, también se realizará cuadros comparativos de precios, así como también de



calidad.

Figura 41. Ensamblaje vista superior

Fuente: Autor

En la figura 41, se aprecia el diseño final del sistema de suspensión ya anclado en el bastidor, con sus respectivas manguetas y con esto se inicia la fabricación y construcción.

4.2 MECANIZADO

Mecanizado es el proceso mediante el cual se elimina el exceso de material hasta obtener el modelo o forma deseada por el propietario, dependiendo de la máquina herramienta con la que se esté trabajando, se podrían obtener hasta milésimas de milímetro y obteniendo un terminado profesional.

Para el mecanizado, existen 3 tipos de movimientos con los cuales se trabajará: corte, avance, rotación (rpm).

La refrigeración de los elementos, es importante al momento de trabajar el material, para evitar el desgaste excesivo, así como también la pérdida de filo en los materiales de trabajo, tales como pueden ser: brocas, cuchillas, entre otros.

Para el tratado de los elementos, mediante la refrigeración también se beneficia evitando las elevadas temperaturas en el trabajo.

4.2.1 FABRICACIÓN DE LOS BUJES DE SUJECIÓN.

Para la fabricación de los bujes de sujeción, se optó por la creación de forma convencional, mediante por lo cual se opta por soldar un tubo, una tuerca interna y dándole un terminado por torneado.



Figura 42. Fabricación de bujes

Fuente: Autor

Como se había indicado con anterioridad para la fabricación del buje de sujeción para las rotulas, se procedió a soldar una tuerca de las medidas de la rosca en el interior del tubo AISI 1020. Figura 42.

Este trabajo se realizó para cada una de las mesas de la suspensión, tanto superior como inferior, en este caso, se realizó la fabricación 20 bocines, tratando de que su terminado sea adecuado para su funcionamiento.

Al finalizar con la creación de todos los bujes, se procedió a eliminar las imperfecciones dejadas por el proceso de soldadura, y se procedió mediante el proceso de torneado.



Figura 43. Torneado de bujes

Fuente: Autor

El trabajo de torneado se utilizó para eliminar las imperfecciones que se obtienen luego del trabajo de soldadura. Figura 43.

4.2.2 FABRICACIÓN BRAZOS DE SUSPENSIÓN

Una vez fabricados los bujes y juntas, se inició el trabajo de la fabricación de los mesas o brazos de la suspensión.



Figura 44. Construcción de brazos de suspensión

Fuente: Autor

En la Figura 44 se observa el proceso de construcción de los brazos de suspensión.



Figura 45. Soldadura de brazos

Fuente: Autor

Para los cual se trabajará con la misma suelda MIG y el tubo AISI1020, conforme se observa en Figura 45; y siguiendo con los diseños previos realizados, se procede a la medición corte y unión de las partes.

Las mesas de la suspensión son los elementos principales del sistema, pues en estas es en donde se realizará el trabajo y se mantendrá la unión entre bastidor y ruedas, en este caso, los brazos de suspensión inferiores también serán los encargados de la sujeción directa del amortiguador, por su diseño de paralelogramo deformable.

Para el diseño y la fabricación de los brazos, se rige netamente a los planos expuestos en el diseño, siguiendo dimensiones, ángulos, y posiciones.

4.2.3 FABRICACIÓN DE BASES Y UNIÓN AL BASTIDOR

Cuando se finalizó con la fabricación de las mesas de suspensión, se procedió a fabricar las bases de unión al bastidor de acuerdo a las medidas según los bazos. Las bases que irán montadas en el bastidor, deberán ser resistentes, puesto que sobre ellas se sostendrá todo el sistema de suspensión. Se fabricó las bases con una platina de 1 pulgada por 4mm de espesor, la cual sería suficiente de acuerdo al peso y los requerimientos del automóvil.

La posición en la que se instalarán los brazos de la suspensión, debe ser de acuerdo al diseño previamente realizado, puesto que en él están los parámetros de ancho de vía, distancia entre ejes, entre otros.



Figura 46. Soldadura bases de suspensión

Fuente: Autor

Realizadas las bases, se montan en el bastidor en primer lugar solo colocando puntos de suelda para ver cómo se posicionan el resto de bases. Figura 46. Si todo está correctamente posicionado, se coloca los brazos o mesas de suspensión en sus puntos de anclaje y se sueldan los mismos.



Figura 47. Unión brazos-chasis

Fuente: Autor

Una vez concluida la fabricación de los brazos tanto superior como inferior, se realiza la unión con los puntos de apoyo ya prediseñados en el bastidor. Figura 47.

4.2.4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MANGUETAS

Para la construcción de las manguetas o arañas de rueda, se realizó un análisis previo junto con un diseño para determinar el funcionamiento de la misma para lo cual previamente se obtuvo datos sobre distancias entre las mesas o barras de la suspensión.

Se trabajó a partir de un bloque sólido, y luego de se dio la forma de acuerdo a los datos antes mencionados.

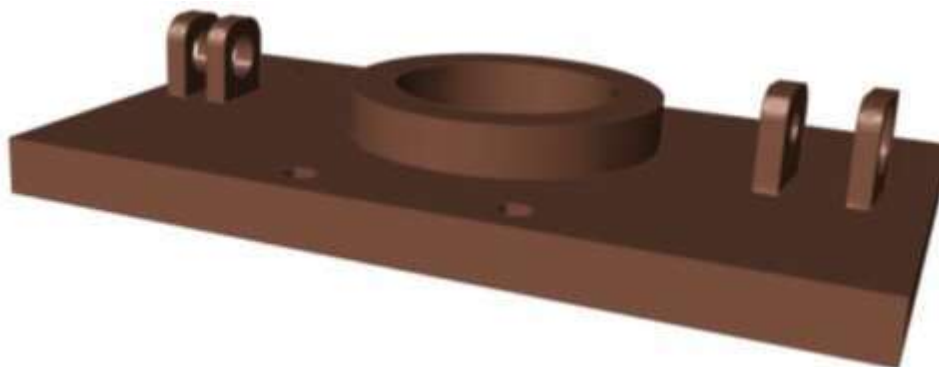


Figura 48. Plancha modelada

Fuente: Autor

Luego de realizar el modelado de la plancha inicial del trabajo, se prosigue a dar la forma deseada a la magüeta, tomando en cuenta de que en la parte delantera no será igual a las de la parte posterior, debido a que en la parte delantera se tiene los puntos de apoyo para los brazos de la dirección (Figuras 48).



Figura 49. Corte de Mangueta

Fuente: Autor

Simulado ya el corte final de la figura que deberá llevar la mangueta, se procede a eliminar el exceso de material para ya conseguir el modelo con el que se trabajará finalmente para continuar con la construcción (Figura 49).

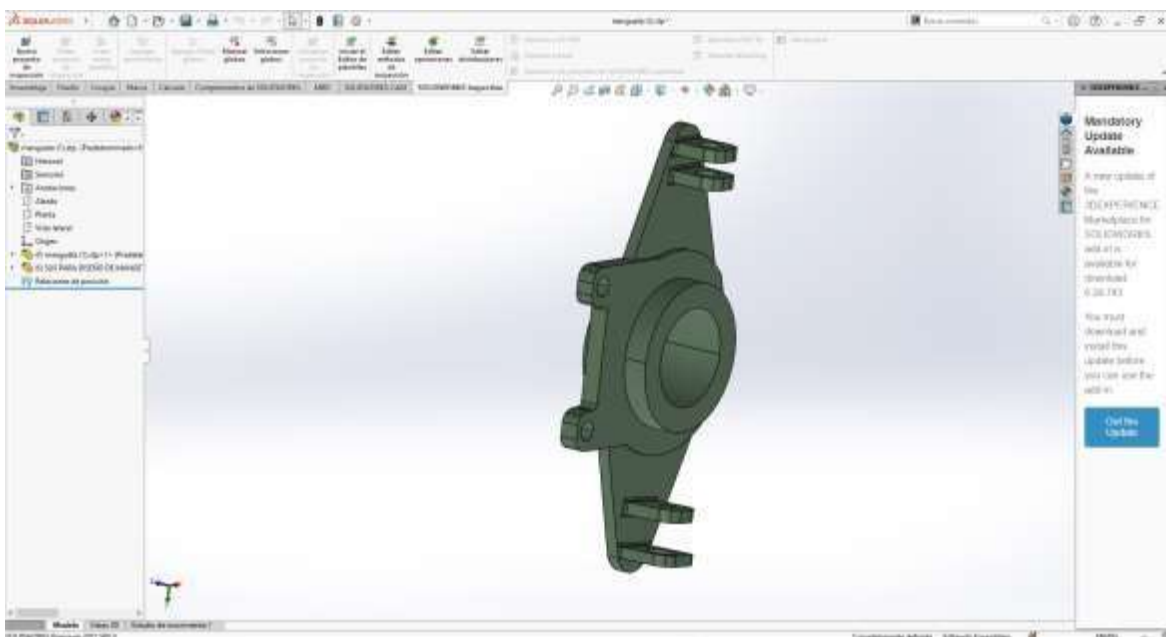


Figura 50. Modelo Final de Mangueta

Fuente: Autor

Para la fabricación de estas manguetas, se trabajó con láminas de acero de 8 mm de espesor. Se trabajó por medio de corte oxiacetilénico con control CNC, que consiste en realizar cortes a diferentes materiales, y en su proceso están relacionados el oxígeno, y el gas. La mezcla de estos dos elementos, genera una fuerza de corte por calor muy elevado, permitiendo dar diferentes medidas y modelos al material.



Figura 51. Corte de planchas metálicas

Fuente: Autor



Figura 52. Modelado de Manguetas

Fuente: Autor

Realizado el corte tanto de las láminas, como del molde de las manguetas, se realiza la forma de las mismas por medio de forjado, por lo que se utilizó el calor para dar la forma deseada al material. Figura 52.

Están manguetas, serán las encargadas de mantener en una sola pieza al sistema de suspensión y a las ruedas, para lo cual la forma y las dimensiones de esta mangueta, deberán ser las adecuadas para que la suspensión se acople correctamente. Otra de las funciones que realiza la mangueta, es la de sostener a los elementos del sistema de frenos como en este caso serán los calipers o mordazas de freno. De igual manera irán acoplados los terminales del sistema de dirección, para que estas sean las encargadas de realizar el giro en los grados deseados a las ruedas.

Una vez realizada ya la fabricación, se juntan con los brazos de la suspensión, cubos de rueda y ruedas.

4.2.5 IMPLEMENTACIÓN DE LOS AMORTIGUADORES

Terminado con lo que se refiere a brazos de suspensión, manguetas y ruedas, lo que se requiere finalmente, es la fabricación de bases para los amortiguadores, y la instalación de los mismos.

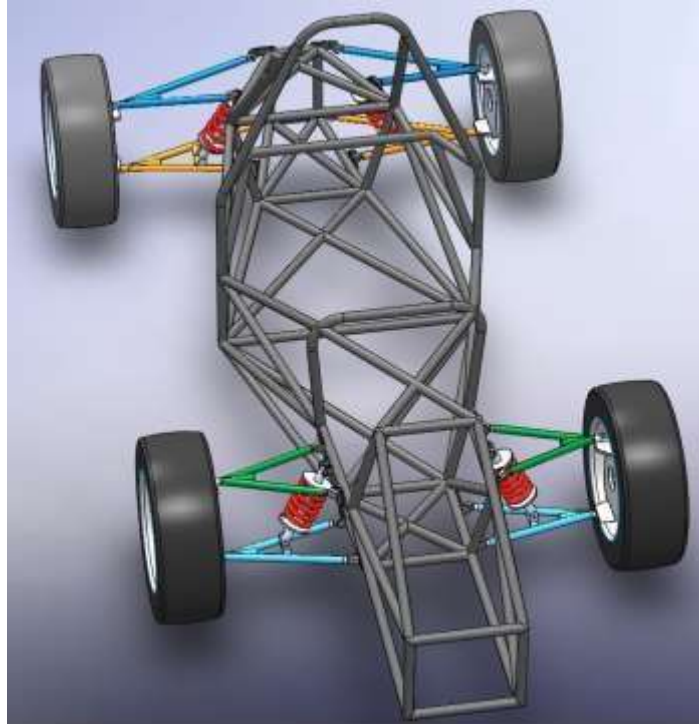


Figura 53. Ensamblaje vista lateral.

Fuente: Autor

De igual manera que la fabricación de los brazos de suspensión, la ubicación de los espirales y amortiguadores, debe ser en los puntos ya localizados según el diseño. Figura 53.



Figura 54. Ensamble Completo

Fuente: Autor

Tomando en cuenta los datos obtenidos por las simulaciones, en las cuales están el peso total del vehículo, contando ya con un peso estimado de su conductor, se optó por instalar 4 amortiguadores moxal de 240mm de distancia de ojo a ojo, con un recorrido de 2 pulgadas lo cual es lo establecido por el reglamento de la formula SAE, y un resorte de 450lb de presión. Figura 54.

4.3 COSTO DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN

En esta parte, se tomó en cuenta los valores o costos que se produjeron a lo largo de la construcción del sistema de suspensión, entre las cuales estarán:

- Costos de elementos normalizados
- Costos de elementos fabricados.
- Costos de elementos utilizados.

4.3.1 COSTOS DE ELEMENTOS NORMALIZADOS

En la Tabla 8 se especifica los costos de los elementos utilizados en el sistema de suspensión.

Tabla 8. Costos de elementos normalizados

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Valor Total \$
Pernos M10 SAE 8	16	0.80	12.80
Pernos M12 SAE 8	8	0.90	7.20
Llantas Laredo R13	4	60.00	240.00
Aros Formula R13	4	50.00	200.00
Suspensión Moxal	4	70.00	280.00
Tuerca de seguridad M10	16	0.45	7.20
Tuerca de seguridad M12	16	0.60	9.60
Rotulas esféricas M10	16	14.50	232.00
Rotulas esféricas M12	16	16.00	256.00
TOTAL			1244.00

Fuente: Autor

4.3.2 COSTOS DE MATERIALES FABRICADOS

En la Tabla 9 se especifica los elementos con los cuales se los realizó dentro del taller de construcción.

Tabla 9. Costos de elementos fabricados

Descripción	Proveedor	Cantidad	Total
Corte de plancha de 8mm	Pro hierros	4	16.00
Corte circular manguetas	Pro hierros	4	16.00
Soldadura de mesas	Hnos. Espín	8	60.00
TOTAL			92.00 \$

Fuente: Autor

4.3.3 COSTOS DE ELEMENTOS UTILIZADOS

En la Tabla 10, se detallan los elementos que se utilizó como material de construcción para el sistema de suspensión, tanto dimensiones como cantidades.

Tabla 10. Costos de elementos utilizados

Descripción	Proveedor	Dimensiones	Cantidad	Total
Plancha de acero	Pro hierros	300 x 200 mm	2	15.00
Tubo acero AISI1020	Pro hierros	1 plg. x 3mm	1	12.00
Platina de acero	Pro hierros	1 plg. x 4mm	1	9.00
TOTAL				37.00 \$

Fuente: Autor

4.3.4 COSTOS TOTALES

En la Tabla 11, se detalla el costo total de la construcción del sistema de suspensión del vehículo Formula SAE.

Tabla 11. Costo total

Descripción	Total
Costos de elementos normalizados	1244.00
Costos de materiales fabricados	92.00
Costos de elementos utilizados	37.00
Total	1373.00

Fuente: Autor

4.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la Tabla 12 se resumen los resultados del diseño y fabricación de presente proyecto.

Tabla 12. Análisis de Cargas

TIPO DE ANÁLISIS	DEFORMACION (mm)	ESFUERZOS (MPa)	Factor de seguridad
En reposo	2.7431	317.94	1.16
Por Aceleración	0.4531	51.372	1.20
En Curva	0.4918	142.65	2.59

Fuente: Autor

El dato más relevante que se presenta en la Tabla 12, son los valores que corresponden al Factor de seguridad, el cual en todas las industrias debe mantenerse en un valor superior a 1 para presentar seguridad en los diseños y construcciones.

Por último, es importante recalcar que, al tener un chasis antes fabricado, varias de las características debieron ser apegadas a este diseño, principalmente la elección del sistema de suspensión, el cual fue elegido por los puntos de sujeción previamente fabricados en el chasis.

Es importante mencionar que el ancho de vía es diferente en la parte frontal (1350mm) y en la parte posterior (1420mm) esto fue realizado con el fin de brindar una mayor estabilidad al vehículo al momento de la conducción.

Terminado con el trabajo tanto de diseño como de construcción, se deberá realizar un análisis de todo el proceso.

El sistema de suspensión, una vez que ya está instalado en el vehículo, deberá ser puesto a prueba, lo que en este caso de dificulta debido a que no se cuenta todavía instalados en el monoplaza los pesos totales, tales como:

- El peso total del vehículo.

- Peso total del sistema de transmisión.
- Peso de carrocería, entre otros.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El diseño, simulación y posterior construcción del monoplace Fórmula SAE se desarrolló satisfactoriamente, cumpliendo de esta manera los objetivos planteados al iniciar el desarrollo de este proyecto.

Se eligió el sistema de suspensión de tipo paralelogramo deformable debido a su efectividad funcional, así como también a la seguridad y robustez, lo cual se traduce en durabilidad, su fácil diseño e implementación.

Para la construcción se optó como el material de mayor eficacia al ACERO SAE 1020, por su bajo contenido de carbono, fácil mecanizado y buena soldabilidad, lo que permite una mejor tratabilidad.

La construcción mediante el corte por plasma en los soportes y demás elementos del sistema de suspensión, facilita la soldadura y proporciona una mayor limpieza en el área de corte aportando un mejor terminado tanto mecánico como visual.

Se elige el ancho de vía, tomando en cuenta dos parámetros, el desempeño en curvas y la estabilidad, en el caso de este proyecto se construyó con un ancho de vía de 1350mm en la parte delantera y 1420 mm en su parte posterior, estos valores están contemplados dentro de la normativa.

Se realiza un mallado de tipo tetraédrica, con 23525 nodos, y 13436 elementos, con calidad de mallado alta basada en el radio Jacobiano cercana a un valor de 1.

Se obtiene un factor de seguridad de 1.6 en análisis del vehículo en reposo, 1.20 en análisis por aceleración, y 2.59 en análisis de esfuerzos en curva, en base a la distribución de esfuerzos de Von Mises, los valores mencionados pertenecen al análisis realizado en el eje

posterior del vehículo, debido a que en este será en donde se concentren los mayores esfuerzos.

El mayor índice de deformación se obtiene en la mangueta, punto de unión entre los elementos de suspensión dirección y frenos, así como también con la rueda, obteniendo una variación de medidas de 2.74 mm en el análisis del vehículo en reposo, con los valores supuestos de pesos totales del vehículo, lo cual indica que los elementos no sufrirán deformación, ya que no supera el límite elástico del material.

5.2 RECOMENDACIONES

El apoyo de la institución académica en este tipo de proyectos de desarrollo e investigación, debe promoverse de forma tal que involucre a estudiantes, docentes y gestores externos, generando interés colectivo.

En base a los sistemas ya construidos, finiquitar la construcción del vehículo monoplaza Formula SAE con los sistemas complementarios, los cuales permitan la participación de la institución en competencias nacionales e internacionales.

Para la fabricación de algunos de los elementos del sistema de suspensión, es necesario la implementación de talleres adecuados para estos temas específicos, puesto que encontrar dichos elementos es muy complicado y toca recurrir a la importación de los mismos.

La continuación de este tipo de proyectos con las nuevas generaciones, con mejores estándares de calidad y superación institucional.

Para un próximo proyecto investigativo y de desarrollo, se debería mejorar las técnicas de diseño y los elementos o materiales físicos, para la obtención de mejores resultados y parámetros de funcionamiento.

El conocimiento de los fundamentos teóricos, así como también de las normativas que rigen este tipo de competencias, serán fundamentales para iniciar con el proyecto, y es un lineamiento que se debe tener en cuenta para la correcta finalización del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AcerosBravo. (22 de 04 de 2021). *acerosbravo.cl*. Obtenido de <http://www.acerosbravo.cl/productos.html>
- autocosmos. (23 de 08 de 2013). *autocosmos.com*. Obtenido de <https://noticias.autocosmos.com.co/2013/08/23/cuales-son-los-tipos-de-suspension-mas-comunes>
- AutomotrizMaver. (20 de 05 de 2019). *automotrizmaver.com*. Obtenido de <https://automotrizmaver.com/blog/la-horquilla-de-suspension/>
- BRAVO, B. A. (2012). *BB Aceros Bravo*, <http://www.acerosbravo.cl/productos-pro.php?idcat=2&idpro=47>.
- Brevik, V. (2013). *Desing, Analysis abd Simulation of the Suspension System in the FS Team UiS Race Car*. Stavanger.
- Bzstainless. (04 de 12 de 2014). *bzstainless.com*. Obtenido de <https://www.bzstainless.com/es/stainless-steel-bolt-and-nut.html>
- Caraguay, C., & Caraguay, S. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN VEHICULO MONOPLAZA PARA LA COMPETENCIA DE FORMULA STUDENT*. Cuenca.
- Chepkasov, S., Markin, G., & Akulova, A. (2016). *Suspension Kinematics Study of the "Formula SAE" Sports Car*. Rusia: Procedia Engineering. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816316071>
- COMOFUNCIONAUNAUTO. (02 de 06 de 2016). *comofuncionaunauto.com*. Obtenido de <https://comofuncionaunauto.com/aspectos-basicos/como-funciona-la-suspension-de-un-auto>
- Correa, J. F. (2013). *Simulación dinámica de la suspensión de un fórmula SAE*. Quito: USFQ.
- Dincorsa. (02 de 10 de 2017). *Dincorsa.com*. Obtenido de <https://www.dincorsa.com/blog/tuberias-acero-tipos-caracteristicas-aplicaciones/>

- Estruch, A. P. (2016). *VEHÍCULO DE COMPETICIÓN FORMULA SAE: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL CHASIS*. Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/74036>
- F1aldia. (05 de 02 de 2011). *F1aldia*. Obtenido de <https://www.f1aldia.com/11219/suspensiones-push-rod-pull-rod/>
- F1aldia. (05 de 02 de 2011). *f1aldia.com*. Obtenido de <https://www.f1aldia.com/11219/suspensiones-push-rod-pull-rod/>
- Ferrepat. (04 de 01 de 2017). *Ferrepat.com*. Obtenido de <https://www.revista.ferrepat.com/herramientas/procesos-de-soldadura-mig-tig-smaw-pac-saw-tandem-y-rayo-laser/>
- Garcés, M. (2012). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN PARA UN VEHÍCULO TIPO FORMULA STUDENT*. Latacunga.
- Infotaller. (01 de 02 de 2018). *infotaller.tv*. Obtenido de https://www.infotaller.tv/electromecanica/barra-torsion-funciona_0_1187581236.html
- Ingemecanica. (10 de 05 de 2021). *ingemecanica.com*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.html>
- Ingemecanica. (11 de 01 de 2021). *Ingemecanica.com*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.html>
- Km77. (05 de 07 de 2021). *km77.com*. Obtenido de <https://www.km77.com/>
- Lema, J. (01 de Junio de 2017). *Mecánica Automotriz*. Obtenido de http://todomecanicaa.blogspot.com/p/blog-page_5285.html
- Mantallanta. (15 de 07 de 2021). *Mantallanta.com*. Obtenido de <https://mantallanta.com/fabricante/foose.html>
- Masrefacciones. (05 de 06 de 2021). *masrefacciones.mx*. Obtenido de <https://noticias.masrefacciones.mx/2021/04/13/funcion-y-fallas-de-la-mangueta/>
- Metro. (23 de 12 de 2015). *Metro*. Recuperado el 12 de 05 de 2016, de <http://www.metroecuador.com.ec/deportes/correra-en-europa/AzUnet---d4DdShwtTMKV6/>

- MOTORALMOR. (15 de 07 de 2021). *motoralmor.com*. Obtenido de <https://www.motoralmor.com/catalogo?clasificacion=repuestos&pagina=1>
- News & Events. (19 de 06 de 2016). *www.engr.washington.edu*. Obtenido de https://www.engr.washington.edu/news/formula_sae_2016_lincoln
- Nippon Thompson Co., L. (06 de 05 de 2019). *ikont.co.jp*. Obtenido de <https://www.ikont.co.jp/sp/product/needle/ndl10.html>
- Ovalle, E., Ríos, T., & Ahmed, J. (2021). *Sistemas de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje* (Segunda ed.). España: Ediciones Paraninfo S.A.
- ParaAutos.website, W. (2021). *PARAAUTOS WEBSITE*. Obtenido de <https://www.paraautos.website/amortiguadores/>
- Pita, J. (01 de 01 de 2016). *Como Funciona un Auto*. Obtenido de <http://www.comofuncionaunauto.com/aspectos-basicos/como-funcionan-los-resortes-y-amortiguadores-de-un-auto>
- Pulido, C. (2014). *DISEÑO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN PARA UN VEHÍCULO DE FÓRMULA STUDENT*. Madrid: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.
- RDIngeCar. (2016). *rdingecarhomologaciones.com*. Obtenido de <http://www.rdingecarhomologaciones.com/como-medir-tu-vehiculo/>
- SAE INTERNATIONAL. (18 de 07 de 2021). *SAE*. Obtenido de <https://www.sae.org/attend/student-events/formula-sae-north/2019/about>
- SAE, 2. I. (2017-2018). Reglamento de la competición fórmula SAE. *INTERNATIONAL SAE RULERS*, 61.
- Stim.tech. (04 de 05 de 2021). *stim.tech*. Obtenido de <https://stim.tech/product/e30-pushrod-suspension-kit/>
- Tecnun Seed Racing. (01 de 04 de 2014). *Formula Student Electric*. (TioSam, Productor) Recuperado el 11 de 05 de 2016, de http://seedracing.tecnun.es/?page_id=68
- Tertulias de Fórmula 1. (31 de 03 de 2011). *El Café de la Fórmula 1*. Recuperado el 11 de 05 de 2016, de <https://tertuliasdef1.wordpress.com/2011/03/31/suspensiones-en-f1-objetivo-y-partes-push-rod-vs-pull-rod/>

Toyoandina. (18 de 06 de 2011). *toyoandina.com*. Obtenido de <http://toyoandina.blogspot.com/>

URT. (08 de 04 de 2010). *urthsae.blogspot*. Obtenido de <http://urthsae.blogspot.com/2011/11/estudio-de-neumaticos-utilizados-para.html>

YAMOVIL. (12 de 03 de 2019). *yamovil.es*. Obtenido de <https://www.yamovil.es/sobre-coches-y-concesionarios/faq/la-barra-estabilizadora/>

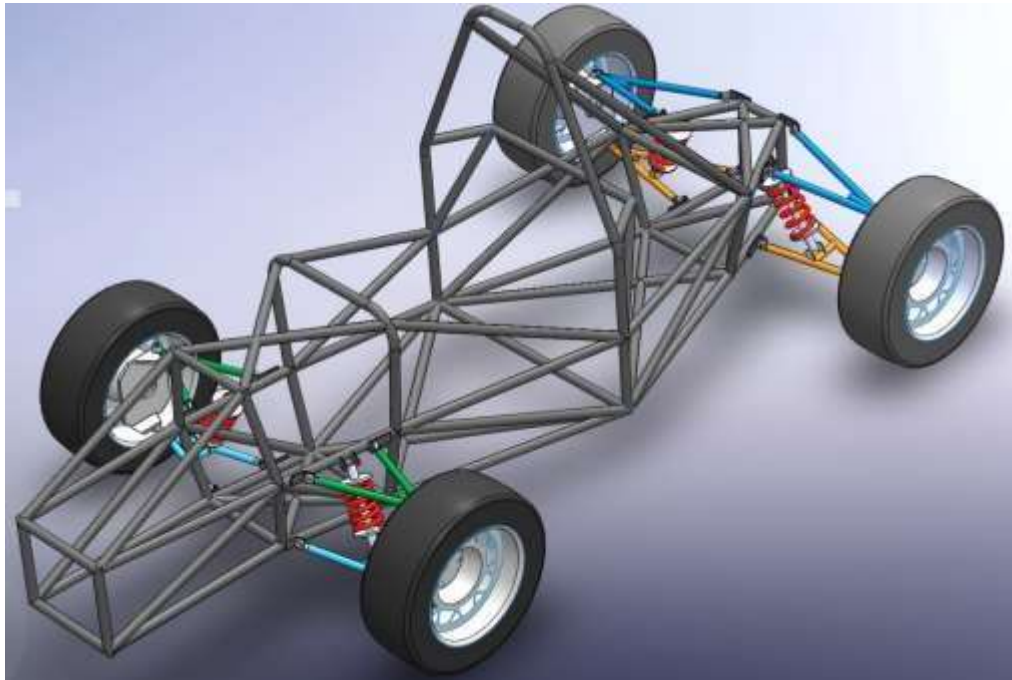
ANEXOS

Anexo 1 Trabajo terminado

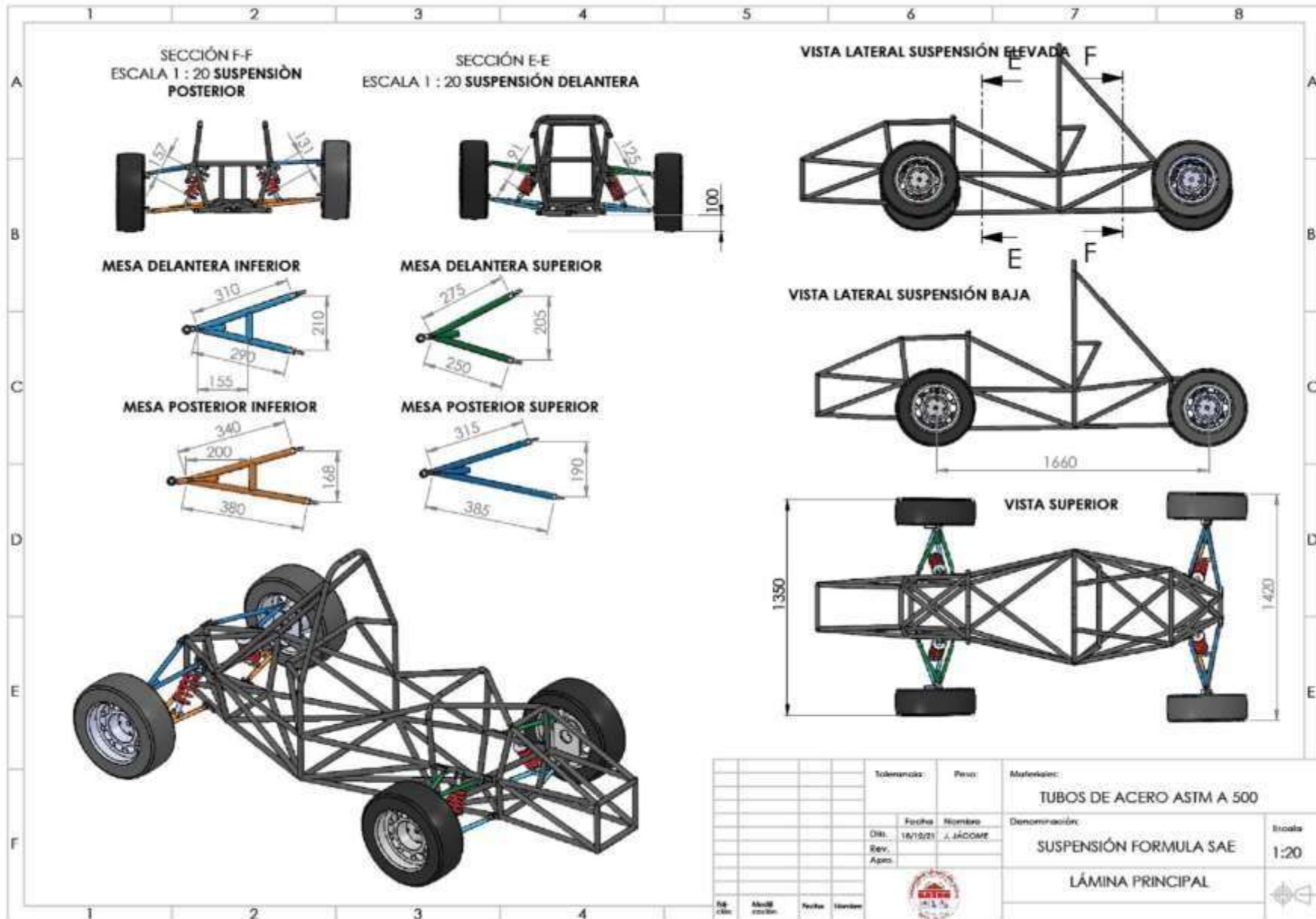


Fuente: Autor

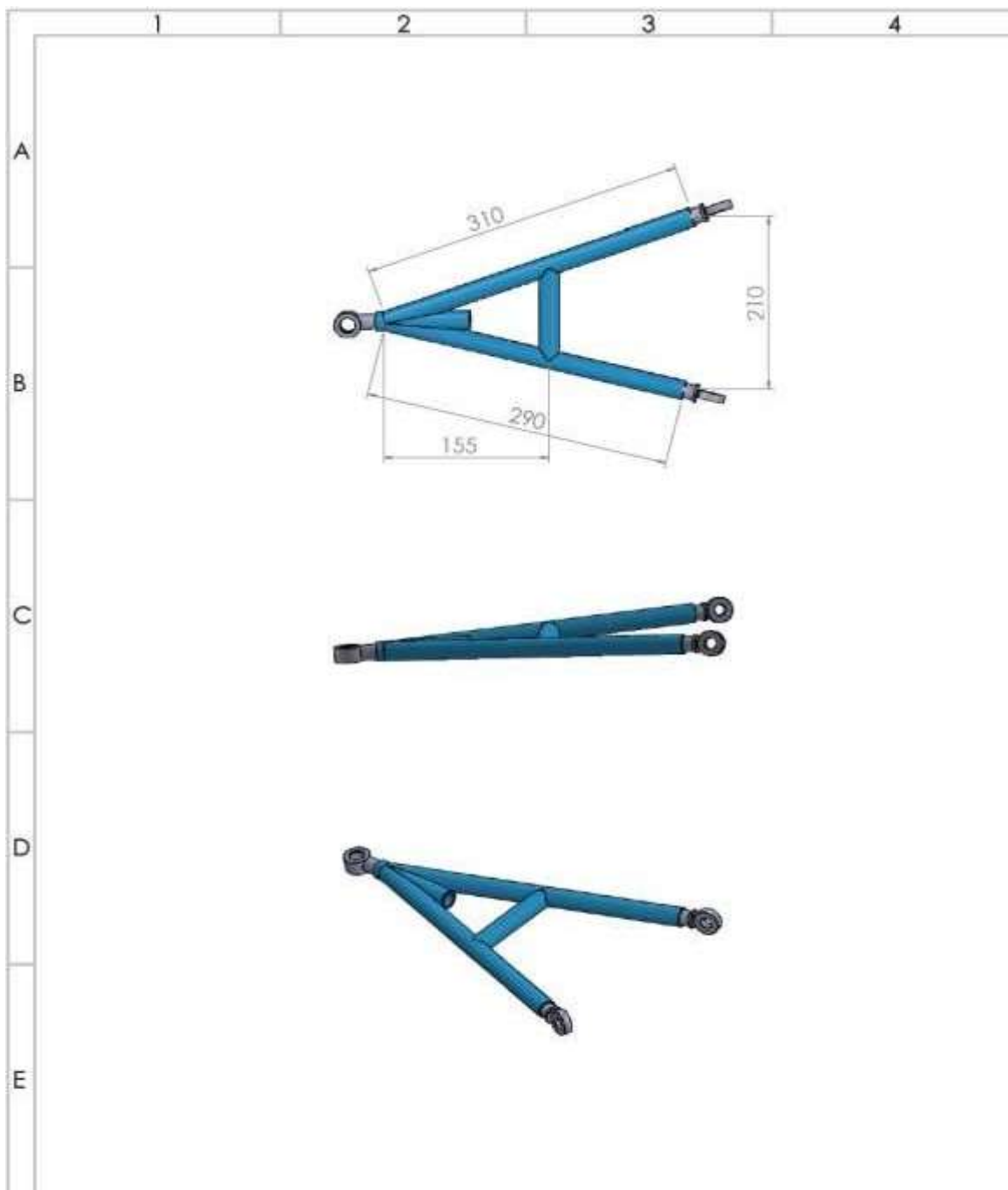
Anexo 2 Diseño Final



Fuente: Autor

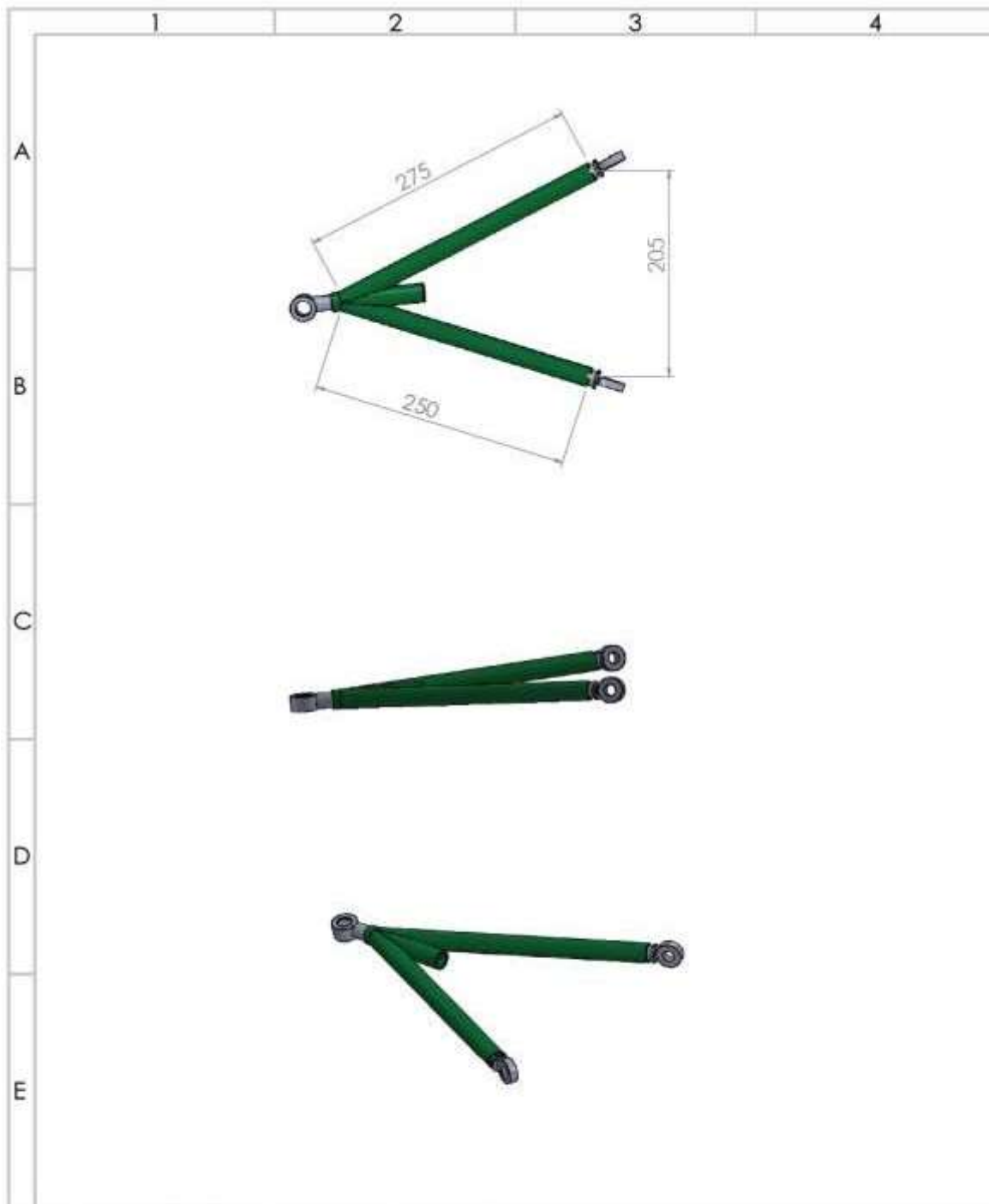


Anexo 4 Planos de mesa delantera inferior



				Tolerancia:	Peso:	Materiales: ACERO ASTM A 36 A500	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dib. 18/12/21	J. JACOME	MESA DELANTERA INFERIOR	
				Rev.		Escala 1:5	
				Apro.		LÁMINA 1	
						FORMULA SAE	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

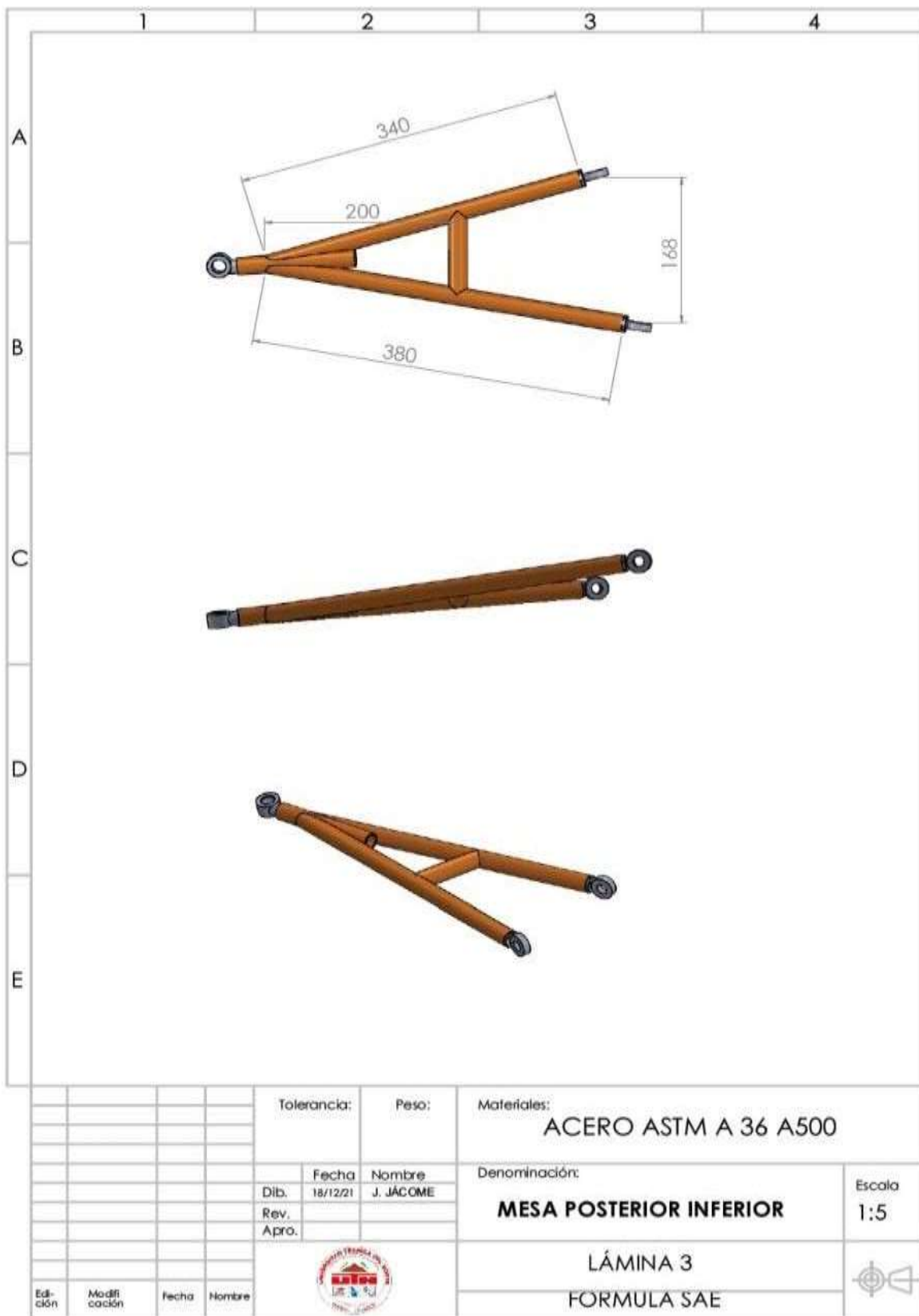
Fuente: Autor



		Tolerancia:		Peso:		Materiales:	
						ACERO ASTM A 36 A500	
		Fecha		Nombre		Denominación:	
		Dib. 18/12/21		J. JACOME		MESA DELANTERA SUPERIOR	
		Rev.				Escala	
		Apro.				1:5	
						LÁMINA 2	
						FORMULA SAE	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

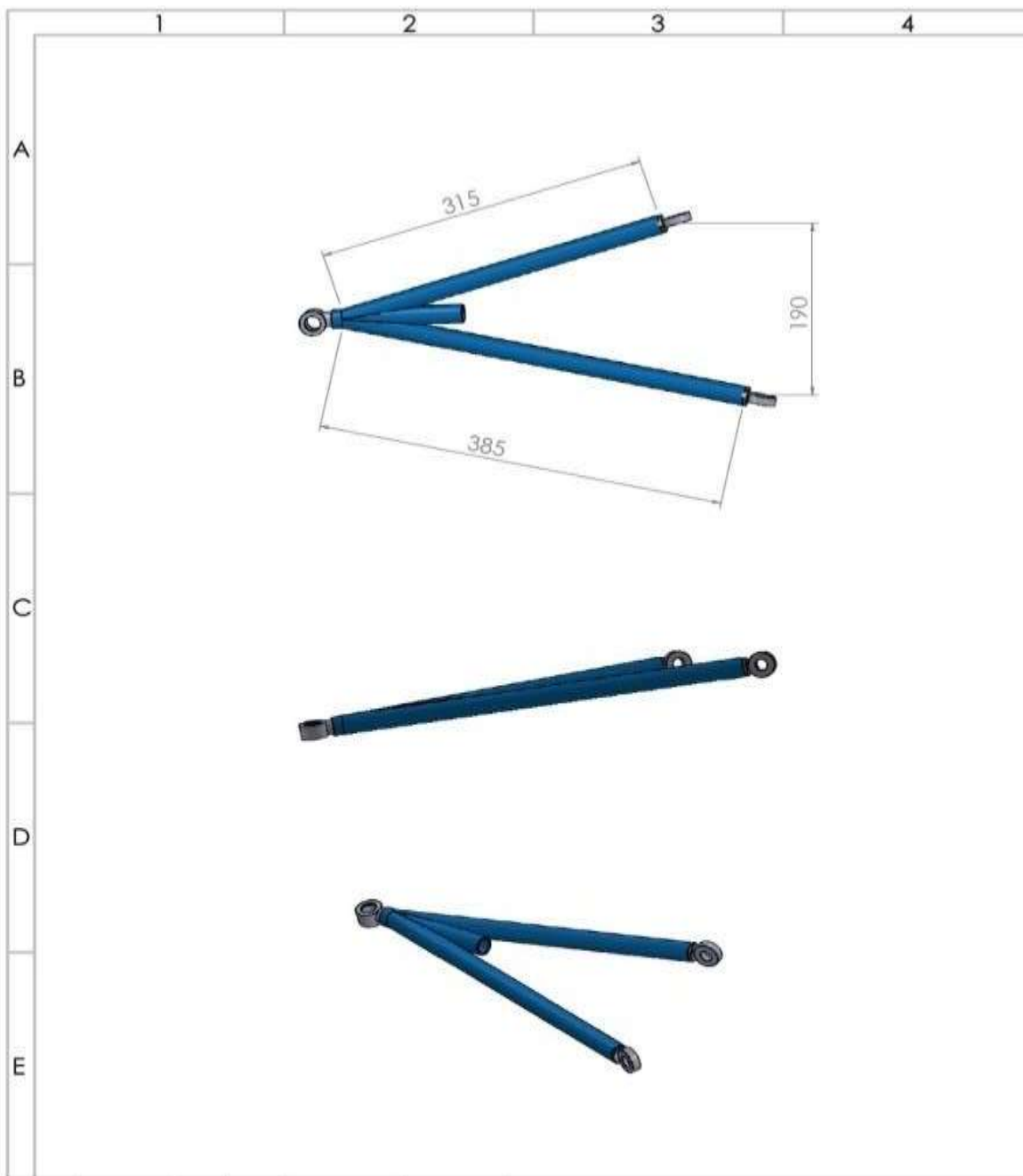
Fuente: Autor

Anexo 6 Planos de mesa posterior inferior



Fuente: Autor

Anexo 7 Planos de mesa posterior superior



				Tolerancia:	Peso:	Materiales: ACERO ASTM A 36 A500	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dib. 18/12/21	J. JÁCOME	MESA POSTERIOR SUPERIOR	
				Rev.		Escala 1:5	
				Apro.			
						LÁMINA 4	
						FORMULA SAE	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

Fuente: Autor