



FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

Rediseño de chasis del Volkswagen Beetle mediante simulación estructural para su acople con la carrocería de Porsche 356.

Realizado por:

Juan José Lascano Vega

Director del proyecto:

Ing. MSC Jaime Vinicio Molina Osejos

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

QUITO, 17 de febrero del 2026

Declaración Juramentada

Yo, Juan José Lascano Vega, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N 1804060141, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.



C.I.: 1804060141

Declaración del director de Tesis

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

Jaime Molina Osejos

Master

Los Profesores Informantes:

Diana Belén Peralta Zurita

Edilberto Llanes Cedeño

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.

Ing. Diana Belén Peralta Zurita

Ing. Edilberto Llanes Cedeño

Quito, 17 de Febrero de 2026

Declaración de Autoría del Estudiante

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Juan Jose", is written above a horizontal dashed line.

C.I.: 1804060141

Dedicatoria

“En situaciones difíciles siempre me supero”

Ayrton Senna

Quiero dedicar este trabajo de fin de carrera, en primer lugar, a Dios, por haberme brindado salud, fortaleza y perseverancia a lo largo de este camino.

A mis padres y a mi familia, quienes han sido mi pilar fundamental, por su apoyo incondicional, sus consejos y la confianza que depositaron en mí en cada etapa de mi formación. Este logro también les pertenece.

A mi abuelo, que en paz descansa, cuyo recuerdo y enseñanzas siguen guiando mis pasos y motivándome a superarme cada día.

Finalmente, a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron a la realización de este trabajo y a mi crecimiento personal y profesional.

(Juan Jose Lascano,2026)

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento, en primer lugar, a Dios y a la vida, por haberme brindado la oportunidad, la fortaleza y la constancia necesarias para culminar este proyecto que en muchos momentos pareció interminable, pero que finalmente me enseñó que, con determinación y esfuerzo, todo objetivo es alcanzable.

A mis padres, a mi familia y a mi abuelo que en paz descanse, quienes han sido mi apoyo incondicional, mi mayor fuente de motivación y el pilar fundamental a lo largo de mi formación y durante el desarrollo de este trabajo. Su guía, confianza y palabras de aliento fueron esenciales en cada etapa, recordándome siempre que rendirse no era una opción.

De igual manera, este logro no habría sido posible sin las personas que me acompañaron en mi camino académico y personal, especialmente mis amigos y personas cercanas que compartieron conmigo este proceso, aportando ánimo, respaldo y momentos que hicieron este trayecto más llevadero.

A mi hermana Marthina, por estar presente en los momentos en que más lo necesité, por su apoyo constante, su paciencia y sus palabras de ánimo que me ayudaron a mantenerme firme en los momentos de mayor presión. Su compañía y confianza fueron un impulso importante para seguir adelante y no perder de vista esta meta.

A Galilea, por haber compartido conmigo este camino, con sus altos y bajos, y por estar presente en momentos que fueron importantes para mí. Tus palabras de aliento y la confianza que

depositaste en mí llegaron cuando más las necesitaba y me ayudaron a seguir adelante. Gracias por haber sido parte de este proceso y por el apoyo que me brindaste en una etapa tan significativa de mi vida.

A Andrés, por su determinación y por brindarme su apoyo en los momentos en que más lo necesité, lo que me permitió descubrir y fortalecer mis capacidades tanto en el ámbito automotriz como en lo personal. Su impulso y confianza fueron clave en este proceso.

A Mateo, cuya presencia fue fundamental para el desarrollo de este proyecto, ya que su conocimiento, apoyo incondicional y sincera amistad aportaron directamente a que esta meta pudiera concretarse y convertirse en una realidad.

A Marcelo Baez, por haber sido un mentor en este proceso y por abrirnos las puertas al mundo automotriz, guiándonos con su experiencia y conocimientos. Su apoyo y la oportunidad de desarrollar este proyecto en su taller fueron fundamentales para llevar esta tesis a la realidad.

A José, por haber sido mi amigo a lo largo de toda la carrera, siempre con su carisma y su forma tan a todo dar de afrontar las cosas. Su buena energía, apoyo y compañerismo hicieron que muchos momentos de presión se volvieran más llevaderos y que el camino universitario también tuviera grandes recuerdos.

A Cristian, por su amistad y por estar presente a lo largo de la carrera con su buena actitud y compañerismo. Sus consejos oportunos, su manera de ver las cosas y su apoyo en momentos clave fueron de gran ayuda durante este proceso.

A Michelle, mi mejor amiga, por su apoyo incondicional, por escucharme en los momentos de estrés y por celebrar cada avance como si fuera propio. Su compañía, ánimo y confianza constante fueron un impulso importante para mantenerme firme y no perder la motivación en este camino. Gracias por estar.

A Roberto y Ricardo, por haber estado presentes a lo largo de este proceso, brindándome su apoyo y amistad en los momentos que más lo necesité. Su compañía y respaldo fueron un aporte valioso para mantener la motivación y seguir avanzando hacia esta meta.

Y, por último, a mí mismo, por haber tenido la constancia, el esfuerzo y la disciplina necesarios para no rendirme en los momentos de mayor dificultad. Por confiar en mis capacidades incluso en los días de duda, por mantenerme firme ante cada reto y por demostrarme que la dedicación y la perseverancia sí transforman los sueños en metas cumplidas. Este logro representa no solo el final de una etapa, sino la prueba de que fui capaz de llegar más lejos de lo que alguna vez imaginé, gracias al compromiso y la entrega puestos en cada paso del camino.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue rediseñar el chasis del Volkswagen Beetle mediante un enfoque estructural que permita su adaptación a la carrocería del Porsche 356, garantizando su viabilidad geométrica, resistencia mecánica y seguridad estructural dentro del campo de la ingeniería automotriz.

La metodología empleada se basó en un diseño asistido por computadora (CAD) y en simulación estructural. Inicialmente se realizó el modelado tridimensional del chasis en Autodesk Inventor a partir de los planos originales del Volkswagen Beetle, incorporando las modificaciones dimensionales necesarias para su integración con la carrocería del Porsche 356. Posteriormente, se definieron las cargas suspendidas y no suspendidas a partir de una revisión bibliográfica especializada y se ejecutaron análisis de carga estática mediante los softwares SimSolid y HyperMesh, permitiendo evaluar el comportamiento mecánico del prototipo bajo condiciones realistas de operación.

Los resultados obtenidos evidenciaron que el chasis rediseñado presenta deformaciones máximas dentro de rangos aceptables, sin sobrepasar los límites del régimen elástico del material. Asimismo, los valores de desplazamiento obtenidos en SimSolid y HyperMesh mostraron una alta coherencia, identificando de manera consistente al larguero asociado al conjunto motor-caja de cambios como la zona estructuralmente más solicitada. Esta concordancia entre ambos softwares valida la confiabilidad del modelo estructural y de la metodología empleada.

Adicionalmente, se demostró que el prototipo diseñado es viable tanto geométrica como estructuralmente para su acople con la carrocería del Porsche 356, cumpliendo con los requerimientos básicos de adaptación y anclaje.

La originalidad y el valor de este trabajo radican en la integración de herramientas CAD y simulación estructural avanzada como una metodología accesible y replicable para el rediseño de chasis automotrices en proyectos de restauración y modificación de vehículos clásicos. Este enfoque proporciona a pequeños talleres automotrices una base técnica confiable para optimizar recursos, reducir riesgos estructurales y mejorar la calidad de sus diseños, promoviendo una transición desde prácticas empíricas hacia procesos sustentados en análisis predictivo.

Palabras clave: Adaptación, chasis, simulación estructural, Porsche 356, Hypermesh, SimSolid, rediseño

Abstract

The objective of this research was to redesign the Volkswagen Beetle chassis using a structural approach that enables its adaptation to the Porsche 356 bodywork, ensuring geometric feasibility, mechanical strength, and structural safety within the field of automotive engineering.

The methodology was based on computer-aided design (CAD) and structural simulation. Initially, a three-dimensional model of the chassis was developed in Autodesk Inventor using the original Volkswagen Beetle drawings, incorporating the necessary dimensional modifications to allow integration with the Porsche 356 bodywork. Subsequently, suspended and unsuspended loads were defined based on a specialized literature review, and static load analyses were performed using SimSolid and HyperMesh software, allowing evaluation of the mechanical behavior of the prototype under realistic operating conditions.

The results showed that the redesigned chassis exhibited maximum deformations within acceptable ranges, without exceeding the elastic limit of the material. Furthermore, the displacement values obtained from SimSolid and HyperMesh demonstrated high consistency, consistently identifying the longitudinal member associated with the engine–transmission assembly as the most structurally stressed zone. This agreement between both software tools validates the reliability of the structural model and the applied methodology.

Additionally, it was demonstrated that the designed prototype is both geometrically and structurally viable for coupling with the Porsche 356 bodywork, meeting the basic requirements for adaptation and anchoring.

The originality and value of this work lie in the integration of CAD tools and advanced structural simulation as an accessible and replicable methodology for the redesign of automotive chassis in classic vehicle restoration and modification projects. This approach provides small automotive workshops with a reliable technical basis to optimize resources, reduce structural risks, and improve design quality, promoting a transition from empirical practices toward processes supported by predictive analysis.

Keywords: Adaptation, chassis, structural simulation, Porsche 356, HyperMesh, SimSolid, redesign

Contenido

Contenido

Introducción	21
Antecedentes	23
El chasis	23
Fabricaciones de chasis en el Ecuador	24
Impacto en la Industria Automotriz de Ecuador	25
Diseño Asistido por Computadora (CAD) y Análisis estructural CAE.....	25
Planteamiento del Problema	26
Justificación	27
Objetivos	27
Objetivo General:.....	27
Objetivos Específicos:	28
Objetivos ODS que persigue el proyecto.....	28
Objetivo 8: Trabajo decente y crecimiento económico.	28
Potencialidad para puestos de trabajo especializados.....	29
Objetivo 12: Producción y consumo responsables	29
Disminución del uso de recursos materiales	29
Hipótesis	29
Estado del arte.....	30
Evolución del diseño de chasis automotrices.....	30
Chasis de escalera	30
Chasis monocasco o unibody.....	31
Chasis monocasco ULSAB (ultraligero)	32
Chasis tubular o espacial.....	33
Chasis del Volkswagen Beetle: características estructurales y materiales utilizados.....	33
Chasis del Porsche 356: características estructurales y materiales utilizados	35
Carrocería del Porsche 356: geometría, puntos de anclaje y materiales.....	37
Geometría.....	37
Puntos de anclaje.....	37
Comparativa entre el chasis original del Beetle y la estructura del Porsche 356	39
Fundamentos de diseño estructural de chasis	41
Función estructural del chasis en vehículos	41
Parámetros de diseño: rigidez, resistencia, peso, distribución de cargas.....	42
Rigidez	42
Resistencia.....	43
Flexión:	43
Deflexión:.....	44
Torsión	45

Peso	46
Distribución de cargas.....	47
Criterios de seguridad y normativas en diseño de estructuras automotrices.	48
Materiales comúnmente utilizados en chasis.....	49
Acero 304	49
Acero Cromoly 4130.....	51
Comparación entre el Acero 304 y el Cromoly 4130	52
Cargas suspendidas y no suspendida	57
Cargas Suspendidas (<i>sprung mass</i>).....	58
Cargas no suspendidas (<i>unsprung masses</i>)	59
Métodos para el cálculo de cargas estáticas en vehículos.....	59
Cargas distribuidas.....	60
Criterio de Von Mises para Análisis de Esfuerzos	61
Distribución de masas en automóviles (longitudinal y transversal)	61
Influencia de las cargas en el diseño estructural y análisis de esfuerzos	63
Simulación estructural en el diseño automotriz	64
Herramientas CAD y CAE en diseño y simulación de chasis	64
Softwares de Simulación.....	65
Análisis del Software por emplear	65
Comparación entre programas de simulación: HyperMesh y SimSolid	66
El uso de SimSolid en el proyecto:	70
SimSolid para simulación estructural sin mallado tradicional.....	70
Parámetros evaluados en simulación: esfuerzos, deformaciones, factor de seguridad	71
Tipos comunes de esfuerzos:	72
Deformación (Strains).....	73
Tipos de deformación:	73
Factor de seguridad (Safety Factor – FS)	73
Validación de resultados de simulación en ingeniería automotriz.....	74
Estudio real: Análisis del chasis de un vehículo eléctrico con SimSolid (Zamzam et al., 2025)	75
.....	75
Distribución de tensiones internas:	75
Deflexión:.....	75
Capacidad para soportar cargas cíclicas:.....	75
Puntos críticos de esfuerzo:.....	75
Conclusión:	76
Casos de estudio/documentación de adaptaciones.....	76
Caso 1: Porsche 356 Speedster réplica sobre chasis Volkswagen Beetle (1958/1967)	77
Caso 2: Réplica Bugatti Type 35B con chasis Volkswagen (1927/1969)	78
Caso 3: Alfa Romeo Giulia GT sobre chasis moderno (Emilia GT Veloce, 2022)	79

Caso 4: Opel Manta A convertido a eléctrico (Opel Manta GSe ElektroMOD, 2021)	80
Diseño y análisis en prototipos de competición	81
Simulación estructural en vehículos eléctricos	82
Optimización y validación experimental	83
Metodología	84
Método	84
Diagrama de procesos	85
Levantamiento y digitalización de planos técnicos del chasis volkswagen Beetle	87
Diseño del Chasis del Volkswagen Beetle.....	87
Levantamiento y digitalización de planos técnicos del chasis Porsche 356	91
Recopilación de documentación técnica	91
Trazado del contorno base en 2D.....	92
Implementación de Costillares en el Chasis.....	95
Identificación y cálculo de cargas aplicadas	97
Revisión bibliográfica de cargas suspendidas y no suspendidas	97
Distribución de masas suspendidas y cálculo de fuerzas aplicadas.....	98
Cálculo técnico de cargas estáticas sobre el chasis.....	100
Objetivo del cálculo	100
Cargas Aplicadas:.....	101
Evaluación estructural mediante SimSolid	101
Importación del diseño a SimSolid	102
Configuración de materiales en SimSolid.....	103
Carga de los materiales	105
• Acero inox 304.....	105
1. Ir a la pestaña Settings	105
2. Material Database	105
3. Add group	106
4. Add Material	106
5. Carga del material	107
6. Aplicar el Material	108
7. Guardar el Material	109
• AISI 4130.....	109
1. Ir a la pestaña Settings	109
2. Material Database	110
3. Add group	110
4. Add Material	111

5. Carga del material	111
6. Aplicar el Material	113
7. Guardar el Material	114
Definición de Puntos de Soporte Fijos en el Diseño del Chasis	114
Cargas Estáticas aplicadas al Chasis	116
Configuración a cargas: motor	116
Configuración a cargas: caja de cambios	117
Configuración a cargas: Carrocería + Puertas.....	118
Configuración a cargas: Tanque de combustible (lleno).....	119
Configuración a cargas: Pasajeros lado izquierdo	120
Configuración a cargas: Pasajeros lado derecho	121
Análisis por cargas estáticas en SimSolid y Hypermesh en la estructura.	122
SimSolid	122
Evaluación estructural mediante Hypermesh.....	124
Hypermesh	124
Para iniciar con esta simulación se procede a hacer la misma carga de datos y de materiales con sus propiedades, esto servirá para obtener resultados similares entre los dos softwares de simulación y analizar si estos valores se encuentran dentro del rango admitido que permita corroborar el rediseño estructural.	124
Análisis de la posible adaptación estructural	131
Estado inicial y preparación del chasis	131
Modificación estructural del túnel central para el rediseño del bastidor	132
Proceso de limpieza.....	133
Reforzamiento estructural del túnel	134
Proceso de Ensamblaje	135
Construcción de travesaños de refuerzo	135
Implementación de costillares.....	137
Elaboración de pisos	138
Uso de rebordeadora	138
Puntos de acople para pisos.....	139
Fijación y acoplamiento de pisos	140
Pruebas iniciales de adaptación del chasis con la carrocería del Porsche 356.....	141
Resultados	143
1. Caracterización del chasis original del Volkswagen Beetle	143

2. Rediseño estructural del chasis para la adaptación de la carrocería del Porsche 356.....	144
3. Identificación de cargas suspendidas y no suspendidas.....	145
Resultado de deformación en SimSolid-Despiece.....	147
Escala de colores	149
El error porcentual sería el siguiente:.....	150
5. Posible acople estructural entre chasis y carrocería.....	151
Discusión de resultados.....	153
Rediseño.....	153
Valores de las cargas suspendidas y no suspendidas que soporta el chasis a través de una revisión bibliográfica.	155
Masa no suspendida	157
Hypermesh y Simsolid.....	158
Conclusiones	162
Recomendaciones	163
Referencia bibliográfica.....	164
Anexos	173

Índice de tablas

Tabla 1	40
Tabla 2	53
Tabla 3	67
Tabla 4	97
Tabla 5	99
Tabla 6	104
Tabla 7	112
Tabla 8	124
Tabla 9	145
Tabla 10	154
Tabla 11	154
Tabla 12	156
Tabla 13	157
Tabla 15	159
Tabla 14	160

Índice de figuras

Figura 1	31
Figura 2	31

Figura 3.....	32
Figura 4.....	33
Figura 5.....	34
Figura 6.....	35
Figura 7.....	37
Figura 8.....	38
Figura 9.....	55
Figura 10.....	58
Figura 11.....	76
Figura 12.....	77
Figura 13.....	79
Figura 14.....	80
Figura 15.....	81
Figura 16.....	82
Figura 17.....	83
Figura 18.....	86
Figura 19.....	87
Figura 20.....	88
Figura 21.....	89
Figura 22.....	90
Figura 23.....	91
Figura 24.....	92
Figura 25.....	93
Figura 26.....	94
Figura 27.....	95
Figura 28.....	96
Figura 29.....	102
Figura 30.....	103
Figura 31.....	105
Figura 32.....	106
Figura 33.....	106
Figura 34.....	107
Figura 35.....	108
Figura 36.....	109
Figura 37.....	109
Figura 38.....	110
Figura 39.....	110
Figura 40.....	111
Figura 41.....	111
Figura 42.....	113
Figura 43.....	113
Figura 44.....	114
Figura 45.....	115
Figura 46.....	115
Figura 47.....	117
Figura 48.....	118

Figura 49.....	119
Figura 50.....	120
Figura 51.....	121
Figura 52.....	122
Figura 53.....	123
Figura 54.....	123
Figura 55.....	125
Figura 56.....	126
Figura 57.....	126
Figura 58.....	127
Figura 59.....	128
Figura 60.....	128
Figura 61.....	129
Figura 62.....	130
Figura 63.....	130
Figura 64.....	131
Figura 65.....	132
Figura 66.....	134
Figura 67.....	135
Figura 68.....	136
Figura 69.....	138
Figura 70.....	139
Figura 71.....	140
Figura 72.....	141
Figura 73.....	142
Figura 74.....	143
Figura 75.....	144
Figura 76.....	146
Figura 77.....	147
Figura 78.....	149
Figura 79.....	152
Figura 80.....	153

Introducción

El chasis es la estructura fundamental de un vehículo, comparable al esqueleto humano, que sostiene y conecta componentes esenciales como el motor, las ruedas y la carrocería. Desde sus inicios, los vehículos contaron con un chasis independiente de la carrocería, lo que ofreció mayor flexibilidad para producir distintos tipos de vehículos sobre una base común (AUTOFACT, 2024). Con el tiempo, la evolución de la tecnología permitió la creación de chasis más ligeros y resistentes, utilizando materiales avanzados y técnicas de unión como la soldadura MIG, mejorando la seguridad y eficiencia de los vehículos tanto para el uso diario como en competiciones (Sánchez, 2023).

El Porsche 356, diseñado por Ferdinand Porsche y su equipo de ingenieros, es considerado un icono de la automoción. Aunque fue fabricado originalmente en 1947, su diseño sigue siendo relevante por su ingeniería eficiente y su carrocería ligera, una mezcla de aluminio y acero, lo que le proporcionó una notable agilidad y estabilidad en la carretera. A pesar de que su producción finalizó en 1965, el Porsche 356 continúa siendo una pieza codiciada por coleccionistas y entusiastas de los autos clásicos y deportivos. Sin embargo, en el contexto actual, la ingeniería automotriz enfrenta el desafío de preservar la esencia de estos vehículos mientras se incorporan avances tecnológicos para mejorar su rendimiento y adaptabilidad (GAC MOTOR, 2022).

Este proyecto se desarrolla en Ecuador, donde la industria automotriz ha estado tradicionalmente centrada en la fabricación de vehículos pesados y de transporte público (ALCÍVAR, 2022), lo que ha dejado un vacío en la producción de automóviles deportivos y livianos. El objetivo es demostrar la capacidad de Ecuador para innovar y diversificar su sector

automotriz, inspirándose en ejemplos internacionales como VUHL en México y Radical en el Reino Unido, que han logrado sobresalir en la fabricación de autos deportivos y ligeros.

El proyecto se enfoca en el rediseño y adaptación del chasis del Volkswagen Beetle para que albergue la carrocería del Porsche 356. La elección de este chasis no es casualidad. El Volkswagen Beetle fue seleccionado debido a su diseño robusto y modular, características que lo hacen un excelente punto de partida para un rediseño adaptativo. Su chasis independiente, combinado con sus dimensiones compactas y la simplicidad de su estructura, proporciona una base sólida que facilita las modificaciones necesarias para integrarlo con la carrocería del Porsche 356. El Beetle es un chasis ampliamente utilizado y reconocido por su durabilidad, lo que lo convierte en una opción ideal para realizar ajustes y adaptaciones. La versatilidad de este chasis permite adaptarse a la innovación tecnológica sin perder su esencia clásica.

Utilizando tecnologías de diseño asistido por computadora (CAD), el nuevo chasis se modela y optimiza digitalmente, garantizando su compatibilidad con la carrocería del Porsche 356. La simulación estructural es fundamental en este proceso, ya que permite predecir el comportamiento del chasis bajo diversas condiciones de carga, minimizando los riesgos en la construcción física. Para garantizar la exactitud en la geometría y el ensamblaje, se emplean instrumentos de medición computarizados como brazos de medición 3D, máquinas de medición por coordenadas (CMM), escáneres láser y moldes físicos. Estos dispositivos permiten verificar las dimensiones, alineaciones y tolerancias, asegurando que todos los componentes se integran correctamente en el proceso de fabricación (García & Hernández, 2019, p. 112).

Este proyecto pone un fuerte énfasis en la innovación y la creación de valor agregado para las tecnologías empleadas en la industria automotriz ecuatoriana. Además de integrar lo

clásico con lo moderno, tiene como objetivo diversificar el sector automotriz local, creando un camino hacia nuevas oportunidades en la fabricación de vehículos deportivos y ligeros.

Antecedentes

El chasis

El chasis es la estructura fundamental de un vehículo, ya que sostiene y conecta componentes esenciales como el motor, las ruedas, la suspensión y la carrocería. Como componente crítico, el chasis garantiza la seguridad de los ocupantes, integrando estructuras rígidas como arcos de seguridad, soportes de motor y puntos de anclaje de la suspensión (Cumbicus, 2021). Desde los primeros modelos de vehículos, el chasis era independiente de la carrocería, lo que ofrecía una gran flexibilidad en la producción de distintos tipos de vehículos sobre una misma base común. Este enfoque modular no solo permitió reducir costos de producción, sino que también facilitó la personalización de los vehículos para adaptarse a diferentes necesidades, lo que se traduce en una gran versatilidad en el diseño.

Con el tiempo, la evolución del diseño y la tecnología permitieron la creación de chasis más ligeros y resistentes, mediante el uso de materiales avanzados como el acero de alta resistencia y técnicas de unión innovadoras como la soldadura MIG. Estos avances contribuyen no solo a mejorar la seguridad y rendimiento de los vehículos, sino también a reducir el peso total del vehículo, lo que a su vez mejora la eficiencia de combustible y la maniobrabilidad (Artemyev et al., 2021). La capacidad de separar la carrocería del chasis también facilita el mantenimiento y las reparaciones, ya que permite que la carrocería se retire fácilmente sin afectar la estructura subyacente del chasis (Jones & Taylor, 2019).

Este diseño modular también ha permitido la adaptación de diferentes estilos de carrocería a un marco estructural común, lo cual es una característica común en vehículos deportivos, SUV y algunos vehículos comerciales. Al esto permitir flexibilidad, el diseño de chasis ha contribuido significativamente a la versatilidad y durabilidad de los vehículos modernos, adaptándose a las cambiantes necesidades de la industria automotriz actual.

Fabricaciones de chasises en el Ecuador

En Ecuador, la industria de fabricación de chasis experimentó un importante cambio a partir de los años 2000, gracias a la introducción de tecnologías como el diseño asistido por computadora (CAD) y la soldadura MIG, que permitieron la creación de diseños más precisos y eficientes. Estos avances no solo elevaron los estándares de seguridad y desempeño, sino que también impulsaron el renacer de la fabricación de chasis artesanales (López, 2003). Los talleres que anteriormente se limitaban a ajustar vehículos importados comenzaron a producir chasis desde cero, inspirados en modelos internacionales como el Radical SR3 y otros coches de carreras, lo que marcó un paso hacia la modernización de la industria ecuatoriana.

Este renacer de la industria ecuatoriana de fabricación de chasis ha venido acompañado de un enfoque creciente en la innovación tecnológica y la personalización. Sin embargo, a pesar de los avances, persisten ciertos desafíos relacionados con la preservación del patrimonio automotriz y la integración de nuevas tecnologías. A medida que los ingenieros ecuatorianos asumen un rol más activo en el prototipado y la integración de tecnologías de punta, el futuro del desarrollo de chasis en Ecuador se presenta prometedor. Los avances en la fabricación aditiva y el uso de materiales más sostenibles podrían transformar aún más la industria, permitiendo la fabricación de vehículos no solo más seguros, sino también más ecológicos (Martínez, 2022).

Desde sus orígenes, el chasis ha sido un componente esencial para el soporte de los vehículos. Los primeros chasis fueron fabricados principalmente en madera y metal, materiales que con el tiempo fueron reemplazados por acero y otros metales avanzados, lo que incrementó la resistencia y seguridad del vehículo (García, 2024). Este avance ha sido fundamental para la evolución de la industria, permitiendo una adaptación más eficiente a las exigencias del mercado moderno, como la incorporación de materiales reciclados y sostenibles que buscan reducir la huella ecológica de la industria automotriz.

Impacto en la Industria Automotriz de Ecuador

La industria automotriz ecuatoriana ha enfrentado varios desafíos en los últimos años. En septiembre de 2024, la planta de General Motors (GM OBB) en Ecuador cerró, resultando en la pérdida de más de 100 empleos y afectado a proveedores clave como Elasto y DanaTransejes (Tapia, 2024). Este cierre subraya la vulnerabilidad de la industria ante las fluctuaciones económicas y la dependencia de sectores específicos.

No obstante, en respuesta a este desafío, la empresa Kia y la ensambladora ecuatoriana Aymesa anunciaron una inversión de 62 millones de dólares para ensamblar cinco nuevos modelos de autos en Ecuador. Este proyecto, que se extenderá hasta 2026, tiene como objetivo producir 22.000 vehículos y generar 750 nuevos empleos, lo que representa un impulso significativo a la industria local y un cambio hacia la fabricación de autos más modernos y diversificados (RAMÍREZ, 2024).

Diseño Asistido por Computadora (CAD) y Análisis estructural CAE

La tecnología CAD/CAE ha transformado la creación de modelos 3D de chasis, permitiendo representar incluso los detalles más pequeños con un ajuste sin precedentes. El uso generalizado de esta tecnología desde la década de 1990 ha permitido a empresas automotrices

como BMW, Alfa Romeo y Porsche comprender mejor el comportamiento de los componentes del chasis bajo condiciones específicas de carga (Walker, 2021).

Gracias a esta innovación, los tiempos y costos de producción se han reducido, eliminando la necesidad de realizar costosas pruebas físicas como las que se efectúan en túneles de viento o en prototipos de pruebas de pista. Las simulaciones estructurales, a través de herramientas como Altair Hypermesh, permiten verificar la resistencia del chasis frente a diversas fuerzas, tales como la compresión, torsión y flexión, que se producen durante la conducción en carretera o pista. Este tipo de simulación es esencial para identificar puntos débiles en el diseño del chasis, lo que permite optimizar el diseño antes de la fabricación final, garantizando mayor seguridad y eficiencia en el vehículo (Walker, 2021).

Planteamiento del Problema

En Ecuador, la escasez de especialistas y talleres pequeños que se especialicen en réplicas, reconstrucción o construcción de vehículos automotrices es mínima o escasa, así como el uso de herramientas computacionales entre sus colaboradores. Esta situación impacta negativamente a la creación de réplicas en vehículos livianos, un segmento que ha sido poco atendido por la industria automotriz nacional, la cual se ha enfocado principalmente en la fabricación de vehículos de transporte masivo y pesado (Ministerio de Industrias y Productividad, 2023).

Como consecuencia, existe un vacío en el diseño y construcción de vehículos livianos, así como el empleo de softwares de diseño asistido por computadora (CAD) y la simulación estructural de la mano, herramientas que son de uso común en empresas automotrices a nivel industrial.

Justificación

La falta de talleres especializados en la restauración de vehículos livianos limita las posibilidades de réplicas, modificación, reconstrucción o construcción. Esto se ve agravado por el enfoque predominante de la industria automotriz ecuatoriana en vehículos pesados como autobuses y camiones, lo que ha dejado un vacío significativo en el mercado de autos livianos.

Este proyecto se enfoca en rediseñar un chasis que tiene como base el del Volkswagen Beetle (Escarabajo) mediante el diseño asistido por computadora (CAD) y simulación estructural. El rediseño del chasis busca cumplir con normas de seguridad, funcionamiento y al mismo tiempo albergue la carrocería del Porsche 356, minimizando los riesgos de incompatibilidades y mejorando el ajuste específico del ensamblaje.

El impacto anticipado de esta investigación puede ser significativo en varios aspectos como: en primer lugar, el desarrollo de la industria automotriz nacional se vería estimulado por el fomento de la innovación y la creación de nuevos nichos de mercado. Segundo, el uso de softwares computacionales previo a la construcción o reconstrucción de automóviles livianos evitando defectos en su construcción.

Como ejemplo se cita a Hagerty (2023), "el valor total del mercado de autos clásicos en Ecuador aumentó un 10% en 2022, continuando con una tendencia de crecimiento sostenido durante la última década" (p.12).

Objetivos

Objetivo General:

Rediseñar un chasis del Volkswagen Beetle mediante simulación estructural para acoplarlo a la carrocería del Porsche 356.

Objetivos Específicos:

- Diseñar de manera virtual un prototipo de chasis automotriz, tomando como referencia el modelo del Volkswagen Beetle y empleando Autodesk Inventor, para que se adapte a la carrocería del Porsche 356.
- Identificar los valores de las cargas suspendidas y no suspendidas que soporta el chasis a través de una revisión bibliográfica y cálculos técnicos estáticos, para utilizarlos en el proceso de simulación estructural.
- Evaluar el comportamiento estructural del chasis bajo las condiciones de carga estática, mediante la aplicación de técnicas de simulación virtual en SimSolid, garantizando que los esfuerzos, deformaciones no superen valores permisibles de elasticidad.
- Analizar la posible adaptación del prototipo de chasis a la carrocería del Porsche 356 mediante planos y construcción verificando su acoplamiento en los puntos de anclaje.

Objetivos ODS que persigue el proyecto

Adicional al objetivo principal y secundarios que se plantean en el presente documento, también se hace referencia los objetivos de la ODS que se alinean a este proyecto, los cuales se enlistan a continuación:

Objetivo 8: Trabajo decente y crecimiento económico.

Promueve competencias técnicas en diseño y simulación estructural de automóviles, de la mano con estándares internacionales, reforzando la capacitación profesional especializada.

Potencialidad para puestos de trabajo especializados

Pese a que el proyecto tiene una naturaleza académica, su orientación técnica y normativa abre camino a futuras posibilidades de trabajo cualificado en diseño, simulación y producción de automóviles.

Objetivo 12: Producción y consumo responsables

Reaprovechar un bastidor o chasis ya existente y minimizar el consumo excesivo de materiales mediante el rediseño y simulación digital, fomentando así el progreso técnico más sustentable.

Disminución del uso de recursos materiales

Al enfocarse en diseño y simulaciones virtuales, se suprimen las pruebas físicas o destructivas, disminuyendo la utilización de materiales, energía y la producción de desechos.

Hipótesis

Se plantea que, mediante el rediseño estructural del chasis original del Volkswagen Beetle, es posible modificar sus dimensiones y características geométricas en un entorno digital mediante el uso de Autodesk Inventor, y aplicar condiciones de carga estática basadas en datos reales obtenidos de una revisión bibliográfica y cálculos técnicos. Esta modificación estructural, cuando es evaluada a través de simulación estructural en SimSolid, permite observar el comportamiento del chasis frente a cargas suspendidas y no suspendidas, determinando si los niveles de esfuerzo y deformación se mantienen dentro de los rangos permisibles según los criterios de elasticidad del material.

En esta relación, la variable independiente es el rediseño del chasis aplicado con cargas simuladas, mientras que las variables dependientes son los resultados estructurales obtenidos: esfuerzo de Von Mises, deflexión total y factor de seguridad.

Estado del arte

Evolución del diseño de chasis automotrices

El chasis es la estructura o armazón que sostiene y a su vez conecta todos los componentes del vehículo como son: motor, transmisión, suspensión, carrocería, ruedas, entre otras. Es la parte más esencial en un vehículo puesto que es el esqueleto que da rigidez, estabilidad y soporte al automóvil.

El chasis de un auto tiende a funcionar como los pies en el cuerpo humano, puesto que, es la parte que sostiene todo el peso del vehículo, empezando desde la carrocería hasta los pasajeros y su carga. Por ello, el chasis debe ser fuerte y resistente para soportar las fuerzas generadas al conducir, frenar o pasar por caminos irregulares, cumpliendo uno de sus puntos más importantes, la protección a las personas dentro del vehículo.

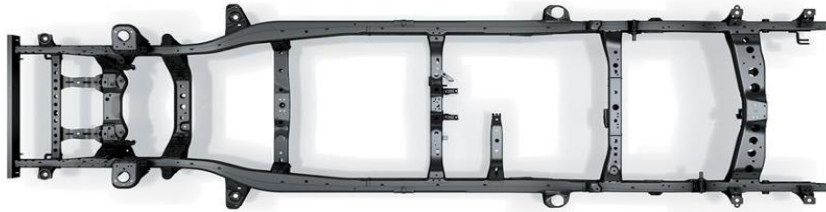
El chasis automotriz y su evolución ha pasado por varias etapas importantes en los que se reflejan avances en materiales, diseño y funcionalidad como son los siguientes ejemplos:

Chasis de escalera

Fue el primer tipo de chasis usado en auto y hoy en día se emplea en vehículos como son: camionetas, camiones y autobuses. Su estructura es conformada por dos largueros longitudinales que son unidos por travesaños, forma una estructura similar a una escalera sobre la cual se monta la carrocería. Esta estructura es robusta pero menos rígida y tiene su centro de gravedad bajo. (Tixce,2017).

Figura 1

Chasis de escalera (Tixce, 2017).



Chasis monocasco o unibody

Ingresa comercialmente en la década de 1930, uno de sus ejemplos en vehículos es el Citroën Tracción Avant, integrando la carrocería y el chasis en una sola estructura rígida. Esta estructura se destaca por la mejora en estabilidad, seguridad y reducción de peso a comparación con el bastidor escalera. Su diseño predomina en la mayoría de los autos modernos. (Vallejo, 2013)

Figura 2

Chasis monocasco o unibody del Citroën Tracción (Avant Ruíz, 2021).



Chasis monocasco ULSAB (ultraligero)

Este chasis utiliza capas de acero y polipropileno para reducir a la vez que no pierde rigidez, es empleado en su mayoría por autos deportivos o de alta gama como Ferrari y Lamborghini. (Tixce,2017)

Figura 3

Chasis monocasco ULSAB (WorldAutoSteel,2024).



Chasis tubular o espacial

Su estructura tridimensional conformada de tubos que ofrece alta rigidez torsional y resistencia a su vez, su uso se ve reflejado en autos deportivos y prototipos. Su popularidad nace por Colin Chapman con su diseño tipo "columna vertebral". (Tixce,2017)

Figura 4

Chasis tubular (Tixce, 2017)



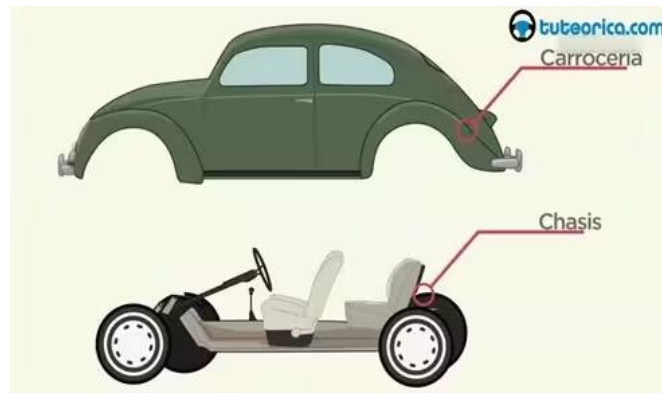
Chasis del Volkswagen Beetle: características estructurales y materiales utilizados

El Volkswagen Beetle o también conocido como Escarabajo, originalmente fue llamado Volkswagen Tipo 1, presentado oficialmente el 6 de mayo de 1938. Comenzó a producirse ese mismo año, aunque su fabricación masiva se vio interrumpida en la Segunda Guerra Mundial y fue reanudada en su totalidad después de dicho conflicto. Fue fabricado en Alemania hasta 1978

y continuó su producción en México hasta el 2003, llegando a un total de más de 21 millones de unidades producidas. (Quadismotorsol,2017)

Figura 5

Chasis monocasco del Volkswagen Beetle (Escarabajo) (Tuteorica, 2021).



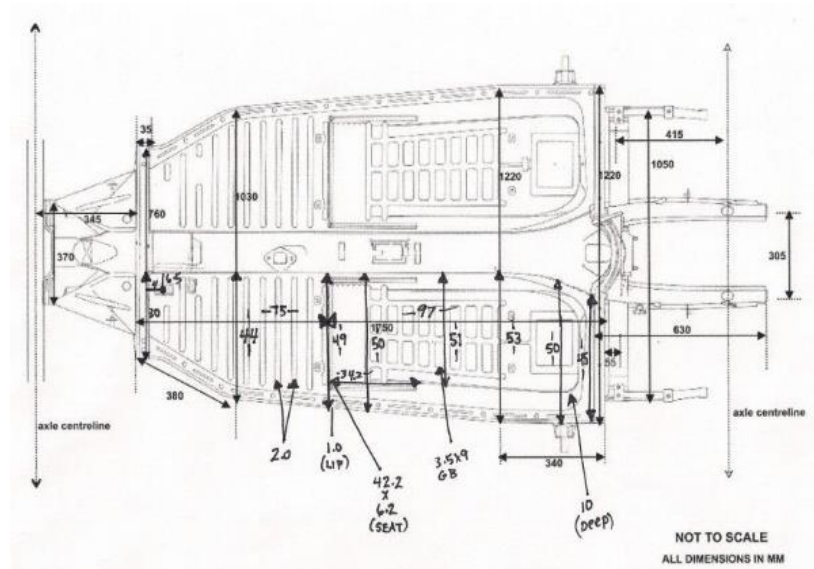
El Volkswagen Beetle es un automóvil compacto, con un diseño icónico. Según *AutoCatalog Archive (1968)* su estructura tiene las siguientes medidas:

- Longitud aproximada de 4,070 mm
- Ancho de 1,540 mm
- Altura de 1,500 mm.

Su peso es de aproximadamente 780 a 800 kg y con capacidad para 4 pasajeros con su carrocería de dos puertas. Con respecto a sus materiales, el chasis está fabricado principalmente en acero al carbono estampado y con soldaduras, sus refuerzos en zonas críticas para soportar cargas y torsiones. Este tipo de acero proporciona resistencia, durabilidad y la facilidad de fabricación y de reparación. La suspensión utiliza barras de torsión elaboradas de acero con sistema independiente en las cuatro ruedas, y su carrocería de acero. (VW Media, 2012).

Figura 6

Chasis original del Volkswagen Beetle (Escarabajo) con sus medidas originales.



Chasis del Porsche 356: características estructurales y materiales utilizados

El Porsche 356 fue el primer automóvil de producción de la marca Porsche, fabricado entre 1948 y 1965. Su diseño fue basado en gran medida en la plataforma y componentes del Volkswagen Beetle, aprovechando la experiencia previa de Ferdinand Porsche en el desarrollo del VW Tipo 1. Su nombre proviene del número interno de proyecto asignado en su desarrollo, siguiendo con la tradición de numerar los modelos en orden cronológico. Esta denominación refleja la continuidad técnica y su evolución en el diseño de los deportivos de Porsche. El 356 destacó por ser un deportivo ligero, con un motor trasero refrigerado por aire y carrocería semimonocasco, inicialmente fue producido con chasis tubular en prototipos y luego con chasis de acero prensado en producción. (Porsche AG, s.f.; Ludvigsen, 2008).

El 356 fue diseñado como un vehículo deportivo ligero, con motor trasero refrigerado por aire y una carrocería aerodinámica. Su desarrollo fue basado en muchos componentes y

soluciones técnicas del Volkswagen Beetle, optimizados para mejorar el rendimiento dinámico y la rigidez estructural. En sus inicios se fabricaban prototipos con chasis tubular de acero y carrocería de aluminio para reducir peso y aumentar su rigidez. Para su producción en serie, se adoptó un chasis semimonocasco fabricado con acero prensado de bajo espesor (entre 1,0 y 1,2 mm), el cual integraba la plataforma con la carrocería, mejorando así su rigidez torsional y reduciendo peso total. (Ruch,2014)

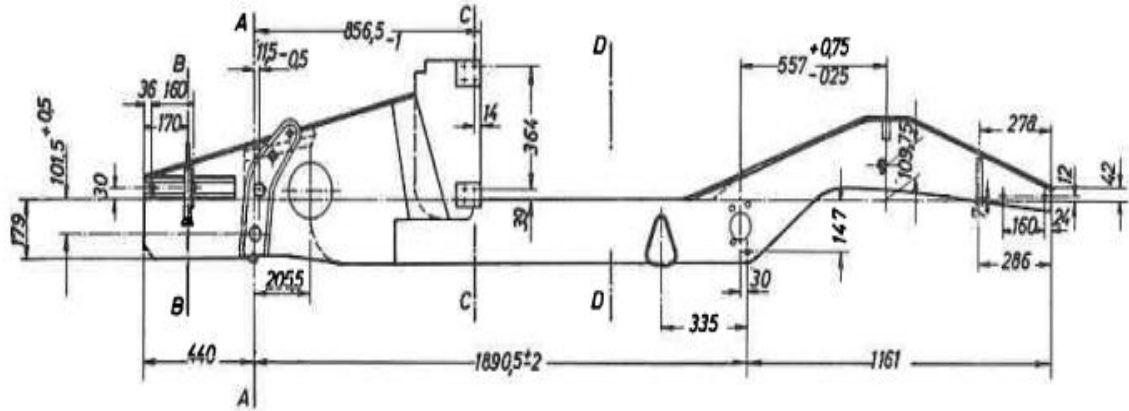
Según Ruch (2014) y ConceptCarz (1960) *su estructura tiene las siguientes medidas y peso:*

- Longitud total: 3880 mm
- Ancho total: 1670 mm
- Altura total: 1300 mm
- Distancia entre ejes: 2100 mm
- Ancho de vía delantera: 1290 mm
- Ancho de vía trasera: 1250 mm
- Peso de chasis: 760 kg
- Peso total carrocería + chasis: 830 kg
- Capacidad: 2 a 4 pasajeros, Serie Pre A
- Número de puertas: 2

La estructura del Porsche 356 consta de un piso estampado de acero, reforzado con largueros a sus laterales y un túnel central rígido el cual contribuye a su resistencia torsional. La carrocería, también es de acero soldado, siendo diseñada para ser ligera y resistente, con refuerzos en zonas críticas para soportar cargas y torsiones derivadas del uso deportivo del Porsche. (Ruch, 2014).

Figura 7

Chasis con sus medidas originales (Porsche 356).



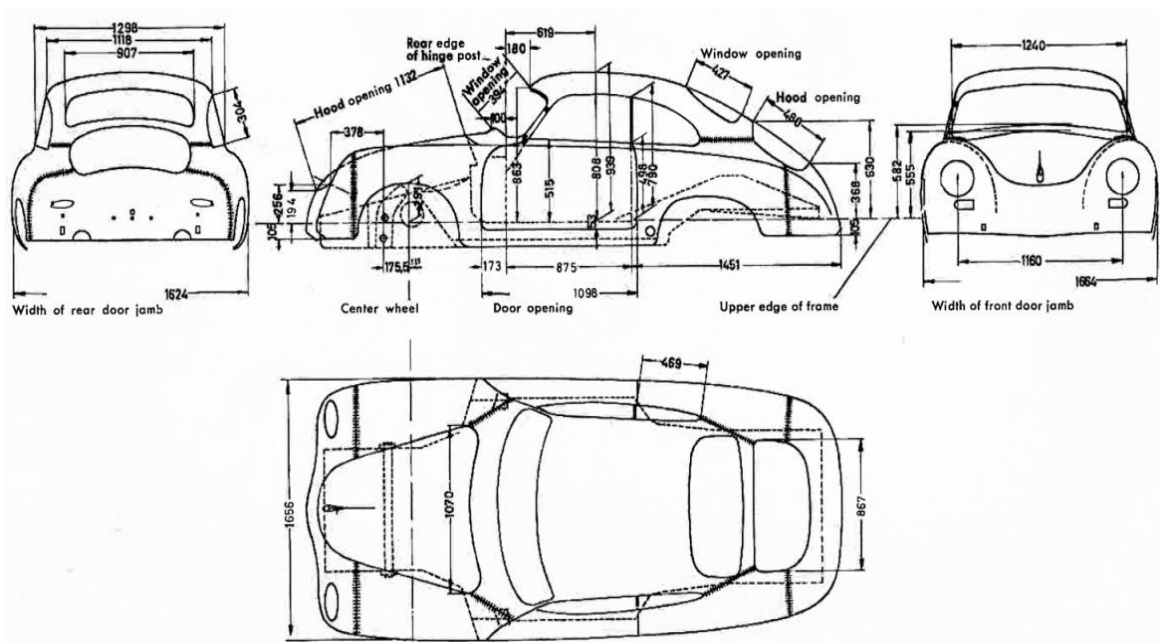
Carrocería del Porsche 356: geometría, puntos de anclaje y materiales

Geometría

La carrocería del Porsche 356 presentaba un diseño fastback aerodinámico, el cual era caracterizado por líneas curvas suaves extendidas desde el parabrisas hasta la parte trasera, así se optimizaba la eficiencia aerodinámica y otorgaba una silueta deportiva y elegante a su vez. Esta configuración era clave para reducir su resistencia con respecto al viento y mejoraba su estabilidad en altas velocidades. El modelo estuvo disponible en varias variantes que incluían coupé, cabriolet, roadster y el speedster, todas contaban con 2 puertas y capacidad para dos o cuatro pasajeros según la versión (Porsche AG, 2023; Ruch, 2014).

Puntos de anclaje

En los primeros modelos fabricados en Gmünd (1948–1950), la carrocería de aluminio se moldeaba sobre una matriz de fresno, un tipo de madera dura y resistente que es común en



Comparativa entre el chasis original del Beetle y la estructura del Porsche 356

El diseño del Porsche 356 se basó en gran medida en el Volkswagen Tipo 1 (Beetle), especialmente en sus primeras versiones. Ambos compartían una configuración de motor trasero refrigerado por aire, suspensión por barras de torsión y una base estructural similar.

“Ferdinand Porsche diseñó el Volkswagen Tipo 1, y muchas de sus soluciones técnicas fueron heredadas por el Porsche 356, como el motor trasero y la plataforma base” (Domínguez, 2017).

El chasis del Volkswagen Beetle original se construyó sobre una plataforma tipo pan con base de acero prensado, diseñada para ser económica y su fácil ensamble. Esta estructura consistía en una base plana reforzada, la cual se atornillaba la carrocería, permitiendo una producción eficiente y un mantenimiento sencillo (Rieger, 2003)

El Porsche 356, aunque derivado del Beetle, empleaba una estructura semi-monocasco que integraba parcialmente la carrocería con la estructura portante, proporcionando una mayor rigidez torsional. Esta diferencia estructural no solo mejoraba la estabilidad y el comportamiento dinámico del vehículo, sino que a su vez elevó su desempeño, haciéndolo más adecuado para la conducción deportiva. Pese a que ambos modelos compartían su disposición mecánica de motor trasero y tracción trasera, el Porsche 356 optimizó significativamente su distribución de peso y la aerodinámica, debido a su propósito como principio. (Ludvigsen, 2003).

Tabla 1

Comparativa de aspectos técnicos: Volkswagen Beetle y Porsche 356, chasis como carrocería.

Aspecto Técnico	Volkswagen Beetle (original)	Porsche 356
Tipo de chasis	Plataforma con bastidor central (floorpan)	Estructura semi-monocasco
Material principal	Acero estampado	Acero reforzado + elementos estructurales rígidos
Integración de carrocería	Carrocería atornillada al chasis	Carrocería parcialmente integrada a la estructura
Rigidez torsional	Moderada	Alta (mejor comportamiento dinámico)
Distribución del peso	Motor trasero, ligera con tendencia al sobreviraje	Motor trasero, pero mejor equilibrado
Objetivo de diseño	Vehículo económico, urbano	Deportivo, ligero y ágil
Suspensión	Delantera independiente, trasera por ejes oscilantes	Similar, pero ajustada para mayor desempeño
Peso aproximado del chasis	~650 kg (chasis completo sin motor)	~780 kg (estructura más rígida)
Aerodinámica	Baja prioridad en el diseño	Mejorada en forma y diseño de carrocería

Aspecto Técnico	Volkswagen Beetle (original)	Porsche 356
Producción	Enfocada en masa y bajo costo	Menor escala, con más detalle en el acabado

Fundamentos de diseño estructural de chasis

Función estructural del chasis en vehículos

El chasis representa la estructura fundamental sobre la cual se ensamblan todos los componentes de un vehículo. Su función esencial comprende en proporcionar soporte y estabilidad al conjunto, garantizando que tanto la carrocería como el sistema mecánico conserven su posición adecuada y operen de manera eficiente bajo distintas condiciones de funcionamiento. Actúa como elemento de conexión para sistemas clave como la suspensión, la dirección, el tren motriz y los dispositivos de seguridad. Cuando se realizan modificaciones con respecto a sus dimensiones, como se mencionó previamente, es evidente que cualquier alteración en sus proporciones afectará directamente la distribución de cargas, la compatibilidad con la carrocería y el comportamiento estructural del vehículo en su conjunto.

Comprender el papel de esta estructura es esencial para todo proceso de diseño y adaptación, ya que el chasis actúa como un esqueleto en el automóvil, garantizando su integridad a lo largo del tiempo. Como se indica en un manual técnico especializado, “*el chasis automotriz proporciona la resistencia necesaria para soportar los componentes del vehículo y la carga útil que transporta*” (NAVEDTRA, 2014, p. 14-1).

Parámetros de diseño: rigidez, resistencia, peso, distribución de cargas

El diseño estructural del chasis constituye una de las áreas más importantes en la ingeniería automotriz, ya que dependen de la integridad mecánica del vehículo, así como su rendimiento dinámico. Para lograr una estructura eficiente, segura y funcional, se deben considerar varios parámetros esenciales entre ellas: la rigidez, la resistencia, el peso total del conjunto y la distribución de cargas.

Rigidez

La rigidez, especialmente la torsional, determina la capacidad del chasis para mantener su forma bajo cargas de torsión y flexión. *Barari, Esmailzadeh y Tebby (2011) explican que “la rigidez torsional del chasis tiene un impacto directo en la estabilidad del vehículo, especialmente en maniobras dinámicas y en curvas”* (Computer-Aided Design & Applications, 8(1), p. 67).

Para el cálculo de la rigidez se emplea la ecuación 1

$$Kt = T/\theta \quad (1)$$

Donde:

Kt : Rigidez torsional (Nm/rad)

T : Momento torsional aplicado al chasis (Nm)

θ : Ángulo de torsión producido (en radianes)

Resistencia

La resistencia estructural se refiere a la capacidad del chasis para soportar cargas sin fallar ni deformarse de forma permanentemente. Incluyendo cargas estáticas como dinámicas (aceleraciones, frenado, impactos). Según el artículo de *Journal of Science & Technology* (2021), “el análisis estructural del chasis permite identificar concentraciones de esfuerzos y aplicar rediseños que mejoren la capacidad de carga y prolonguen la vida útil del bastidor” (p. 170).

Para el cálculo de la resistencia se emplea la ecuación 2.

$$\sigma = F/A \quad (2)$$

Donde:

σ : Tensión o esfuerzo normal (en Pascales, Pa o N/m²)

F : Fuerza aplicada (en Newtons, N)

A : Área de la sección transversal donde actúa la fuerza (en m²)

Flexión:

Describe cómo se dobla o curva un elemento(viga) se refiere a los cambios que tiene el material. Se expresa en momentos flectores. Al aplicarse una carga perpendicular al eje longitudinal de una viga, esta tiende a flexionar. Esta flexión es la que provoca tensiones internas dentro de la viga, dando como resultado una curvatura a lo largo de su longitud. Es producida principalmente a causa de la distribución de la carga aplicada.

Para el cálculo de la flexión se emplea la ecuación 3:

$$\sigma = My/I \quad (3)$$

Donde:

σ : tensión normal

M : momento flector

y : distancia al eje neutro

I : segundo momento de área

Deflexión:

La deflexión es el desplazamiento transversal que experimenta una viga u otro elemento estructural siendo el resultado de la aplicación de cargas externas, siendo estas puntuales o distribuidas. Es relevante en ingeniería estructural, ya que una deflexión excesiva puede llegar a comprometer la integridad funcional de la estructura sin que necesariamente se haya producido una falla por rotura. Es decir, aunque el material no llegue a fracturarse, una gran deflexión puede afectar la alineación de componentes, generar vibraciones o provocar un mal funcionamiento.

En este sentido, Beer, Johnston y DeWolf (2015) explican que *"la deflexión representa el desplazamiento vertical de una viga con respecto a su eje original y es un criterio de diseño tan importante como la resistencia, especialmente cuando se deben cumplir requisitos de servicio"*.

Para el cálculo de la deflexión se emplea la ecuación 4:

$$\delta_{max} = 5wL^4/384EI \quad (4)$$

Donde:

δ_{max} = deflexión máxima

w = carga distribuida uniformemente (N/m)

L = Longitud de la viga

E = Modulo de elasticidad del material

I = Momento de inercia

Esta fórmula calcula cuánto se flexiona verticalmente una viga en su punto más bajo, estando bajo una carga distribuida uniforme, es útil en diseño de puentes, chasis de vehículos, estructuras metálicas, etc. Formula que será aplicada en este proyecto debido a la estructura (chasis).

Torsión

La torsión es una deformación angular que se experimenta un elemento estructural o mecánico cuando se aplica un momento torsional o también conocido como torque, lo cual se refiere a una fuerza que tiende a hacerlo girar respecto a su eje longitudinal. Este fenómeno genera esfuerzos cortantes en la sección transversal del cuerpo o estructura.

“Cuando se aplica un par de torsión a un eje u otro elemento estructural, se producen esfuerzos cortantes que varían linealmente desde el eje hasta la superficie. La torsión es común en elementos como árboles de levas, ejes de transmisión, llaves

mecánicas y miembros estructurales expuestos a momentos de torsión.” Beer, Johnston & DeWolf (2015). Resistencia de materiales. McGraw-Hill.

Para el cálculo de torsión se emplea la ecuación 5:

$$\tau = T \cdot r / J \quad (5)$$

Donde:

τ : esfuerzo cortante por torsión (Pa)

T : torque aplicado (N·m)

r : radio hasta la fibra más lejana (m)

J : momento polar de inercia (m⁴), depende de la forma de la sección

Peso

El peso del chasis afecta directamente al consumo energético, así como, la aceleración y la eficiencia del vehículo. Al tener una estructura más ligera se mejora el rendimiento, pero no se debe comprometer la rigidez ni la resistencia. Mishra (2022) señala que *“la optimización del peso mediante software de simulación permite reducir masa sin disminuir la resistencia estructural, lo que mejora la eficiencia general del vehículo”* (IJMMST, 1(2), p. 45).

El peso se calcula en la ecuación 6:

$$P: m \cdot g \quad (6)$$

Donde:

P = Peso (N)

m = Masa del objeto (kg)

g = Aceleración gravitacional (9.81 m/s²)

También se emplea la ecuación 7 relacionada con la segunda ley de Newton:

$$F = m \cdot a \quad (7)$$

Donde:

F : Fuerza neta requerida para acelerar el vehículo (en Newtons, N)

m : Masa total del vehículo (en kilogramos, kg)

a : Aceleración deseada (en m/s²)

Peso: $m \cdot g$

Distribución de cargas

Una distribución equilibrada de las cargas sobre el chasis es esencial para evitar posibles fallas por tensiones. Esta distribución influye en su estabilidad, el frenado y la adherencia al pavimento. *Según el estudio publicado en ScienceDirect (2022)*, “el análisis de la distribución de cargas permite mejorar la durabilidad del chasis y evitar puntos críticos de fatiga que puedan generar fracturas estructurales prematuras.

Para el cálculo de la distribución de cargas se emplea la ecuación 8 relaciona el reparto de fuerzas en función del peso y sus distancias al centro de gravedad:

$$R_f = W \cdot dr/L \ ; \ R_r = W \cdot df/L \quad (8)$$

Donde:

R_f : Reacción sobre el eje delantero (N)

R_r : Reacción sobre el eje trasero (N)

W : Peso total del vehículo (N)

df : Distancia desde el centro de gravedad al eje delantero (m)

dr : Distancia desde el centro de gravedad al eje trasero (m)

L : Distancia entre ejes (m)

Criterios de seguridad y normativas en diseño de estructuras automotrices.

En el diseño estructural de un vehículo no solo responde a criterios de funcionalidad y eficiencia, sino que a su vez está regulado por normas internacionales de seguridad que buscan proteger a los ocupantes y reducir el riesgo de lesiones en caso de producirse un accidente. Aquellas normas establecen los requisitos mínimos de comportamiento estructural ante impactos, torsiones, colisiones y otras condiciones de carga. “La estructura del vehículo debe estar optimizada para distribuir adecuadamente las cargas y mantener la integridad del habitáculo en situaciones críticas” (*Gillespie, 1992, Fundamentals of Vehicle Dynamics*).

Entre los criterios técnicos más importantes en el diseño automotriz se incluyen:

Resistencia mecánica: La estructura debe ser capaz de soportar cargas de uso y accidente sin fallas.

Rigidez torsional y flexional: Es fundamental para el control del vehículo y su estabilidad estructural.

Absorción de energía: Su uso en zonas deformables, las que disipan la energía del impacto.

Integridad del habitáculo: Es el espacio donde viajan los ocupantes y por ende debe mantenerse intacto en un choque.

Distribución de cargas: Su estructura debe canalizar adecuadamente las fuerzas hacia posibles zonas de sacrificio.

Estos criterios se desarrollan y validan mediante el uso de herramientas como simulaciones CAE (Análisis por Elementos Finitos), pruebas de choque y cálculos estructurales. Según Hibbeler (2017), *"la integridad estructural y la capacidad de absorción de energía son pilares esenciales para que una estructura pueda considerarse segura en un entorno de carga dinámico como el automotriz"*.

Materiales comúnmente utilizados en chasis

A continuación, se mostrarán 2 aceros que son mayormente utilizados en la industria automotriz para la construcción de bastidores.

Acero 304

El acero inoxidable 304 es una aleación de acero altamente resistente a la corrosión, lo que lo hace ideal para aplicaciones en entornos agresivos o expuestos a condiciones extremas. Su

excelente capacidad de resistencia a la oxidación y la corrosión se debe a la presencia de cromo y níquel en su composición.

Este material se utiliza comúnmente en la fabricación de componentes de alta durabilidad, como en la industria automotriz, equipos médicos y sistemas de tuberías, gracias a su resistencia, facilidad de fabricación y alto rendimiento en diversas condiciones operativas como refleja este caso.

Presenta propiedades entre las más importantes las siguientes:

- La soldabilidad del acero inoxidable 304 es otra ventaja significativa, ya que permite la unión de estructuras complejas mediante soldaduras seguras y duraderas. Siendo esto esencial en la fabricación del chasis, donde las uniones deben ser robustas para garantizar su integridad estructural.
- Una alta resistencia a la oxidación y a la corrosión, lo que se debe a su composición química que incluye entre un 18% y un 20% de cromo y entre un 8% y un 10.5% de níquel. Característica fundamental para los chasis debido a la alta humedad o salinidad a la que estará expuesto, donde otros materiales podrían deteriorarse rápidamente con el paso del tiempo (Navas, 2019).
- La ductilidad del acero inoxidable 304 permitirá una mejor manipulación ante diversos procesos como son la soldadura, el doblado y mecanizado. Facilitando así la creación de formas complejas para los chasis adaptativos. Un aspecto crucial a la hora de satisfacer demandas específicas de diseño.
- Aunque el acero inoxidable 304 no alcanza una resistencia superior de los aceros al carbono de alta resistencia, se distingue por su excelente equilibrio entre

resistencia y peso. Esta combinación lo convierte en una opción óptima para la construcción de un chasis, permitiendo soportar de manera eficaz cargas estáticas sin incrementar significativamente el peso total del vehículo.

- Este material tiene una buena capacidad para deformarse plásticamente, lo que le permite absorber y distribuir la energía durante impactos. Esta propiedad contribuye a mejorar la seguridad del vehículo al mitigar las fuerzas generadas en caso de una posible colisión.

Este balance no solo optimiza el rendimiento, sino que también cumple con los requisitos esenciales de diseño en aplicaciones donde la ligereza y la durabilidad son factores clave.

Acero Cromoly 4130

El acero Cromoly 4130 es una aleación de acero de baja aleación, conocida por su alta resistencia, excelente soldabilidad y ligereza. Su composición incluye carbono, cromo y molibdeno, lo que le otorga una notable capacidad de soportar esfuerzos dinámicos.

Presenta propiedades entre las más importantes las siguientes:

- Resistencia a la tracción de aproximadamente 980 MPa y un límite elástico de 460 MPa, es ideal para aplicaciones que requieren alta resistencia mecánica, como en la fabricación de chasis de vehículos.
- Es fácilmente soldable utilizando métodos comunes de soldadura. Técnicas como la soldadura TIG, MIG y la soldadura con electrodo revestido (SMAW) lo cual permite unir superficies sin mayores complicaciones, facilitando su uso en diversas aplicaciones industriales.

- Se destaca por su tenacidad o capacidad de soportar golpes y cargas enfocadas al impacto sin fracturarse. Siendo un material confiable para aplicaciones donde la seguridad y la durabilidad son fundamentales.
- Gracias a su contenido de cromo, ofrece una resistencia moderada a la corrosión, especialmente en ambientes poco agresivos.
- Este acero es capaz de resistir cargas repetidas o cíclicas sin sufrir daños significativos, lo que lo hace adecuado para piezas que están sometidas a esfuerzos constantes a lo largo del tiempo. Ejemplos como: jes, componentes de maquinaria y estructuras móviles.
- El acero 4130 se puede trabajar fácilmente mediante procesos mecánicos convencionales como el taladrado, fresado, torneado y rectificado, especialmente cuando está en estado normalizado o recocido. Esto facilita su fabricación y acabado en la industria.

Comparación entre el Acero 304 y el Cromoly 4130

Se analizaron las características de acero inoxidable de grado 304 y la tubería de cromoly de grado 4130, con un enfoque en sus ventajas en relación con la resistencia, la durabilidad, elasticidad, entre otros como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2

Propiedades de los 2 tipos acero, en ellas se destacan su densidad, punto de fusión, su módulo elástico y sus coeficientes.

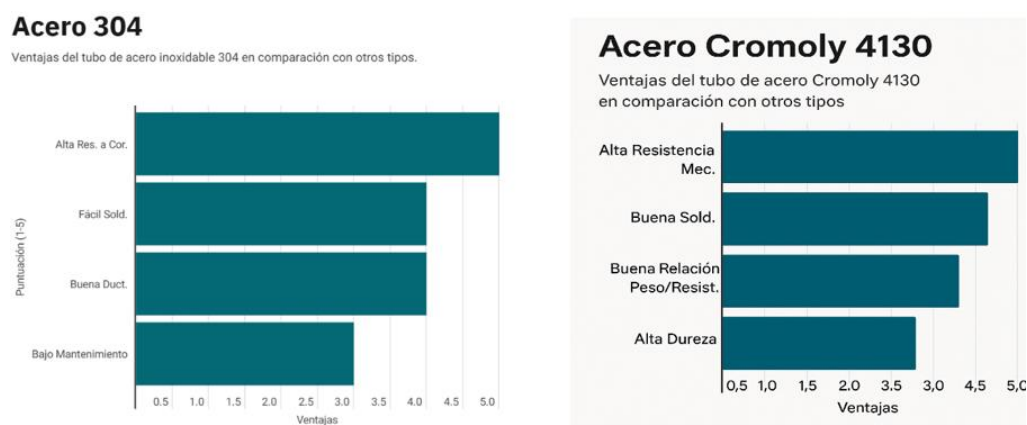
Propiedad / Elemento	304	4130 (Cromoly)	Unidad
Carbono (C)	≤0.080%	0.28–0.33%	Porcentaje
Silicio (Si)	≤0.75%	0.15–0.35%	Porcentaje
Manganeso (Mn)	≤2.00%	0.40–0.60%	Porcentaje
Fósforo (P)	≤0.045%	≤0.035%	Porcentaje
Azufre (S)	≤0.030%	≤0.040%	Porcentaje
Cromo (Cr)	19.00%	0.80–1.10%	Porcentaje
Níquel (Ni)	9.00%	≤0.25%	Porcentaje
Molibdeno (Mo)	–	0.15–0.25%	Porcentaje
Cobre (Cu)	–	≤0.35%	Porcentaje
Hierro (Fe)	71.00%	–	Porcentaje
Dureza Brinell (HB)	123	123	HB
Dureza Rockwell B	70	92	HRB
Dureza Vickers	129	129	HV
Resistencia a la tracción	505 MPa	670	Megapascal es
Límite elástico	215 MPa	517 MPa	Megapascal es
Alargamiento a la rotura	70%	18%	%
Módulo de elasticidad	193 GPa	205 GPa	GPa

Relación de Poisson	0.29	0.27	—
Impacto Charpy	325 J	100 J	Joules
Módulo de corte	86 GPa	80 GPa	GPa

Además, se realizó un análisis integral que incluyó las desventajas de cada material para definir soldabilidad y rendimiento en diferentes condiciones.

Figura 9

Ventajas de cada acero, 304 y cromoly



La selección del material para la construcción de un chasis automotriz es una decisión estratégica que impactará directamente en la seguridad, durabilidad, costo y desempeño del vehículo. Este proceso requiere equilibrar criterios técnicos como propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión y económicos (costo y disponibilidad), además de considerar la facilidad de manufactura y la adaptabilidad a las condiciones locales e internacionales.

Según Vaca, Martínez: *“Para garantizar una elección objetiva y sustentada, se aplicó un método de decisión multicriterio (MCDM), técnica ampliamente validada en la industria automotriz y en la literatura reciente para la selección de materiales estructurales. Este método permitió comparar y ponderar alternativas considerando los factores clave “como son:*

- Resistencia a la tracción
- Límite elástico
- Resistencia a la corrosión
- Soldabilidad
- Disponibilidad local
- Costo

Para elegir el material más adecuado los autores recurrieron al método de entropía, una herramienta que permite asignar mayor peso a los criterios que presentan mayor variabilidad y relevancia, ayudando así a reducir la subjetividad en la toma de decisiones. Emplearon diferentes métodos multicriterio como COPRAS, VIKOR, ELECTRE I, ARAS y MOORA, ampliamente reconocidos por su eficacia al momento de jerarquizar alternativas en la selección de materiales para componentes automotrices, como discos de freno y cajas de cambios (Vaca, Martínez & Leguisamo, 2020; Redalyc, 2018).

Como señala Chérrez Troya, Córdova Espinoza y Lomas Vásquez (2018), *“la combinación del método de entropía y los métodos multicriterio permite obtener una selección objetiva y sustentada del material más adecuado para aplicaciones automotrices” (p. 71).*

El resultado final del análisis multicriterio ubicó al acero inoxidable 304 como la mejor alternativa para el chasis según Vaca, Martínez & Leguisamo, ya que ofrece el equilibrio más favorable entre resistencia, soldabilidad, durabilidad y disponibilidad. Por otro lado, aunque el

cromoly 4130 tiene excelentes propiedades mecánicas, fue descartado debido a su menor resistencia a la corrosión, mayor costo y dificultad de adquisición en el país.

Cargas suspendidas y no suspendida

Según Parra y Ríos Linares (2013), “las cargas en el chasis se determinan a partir del peso de la estructura superior, el motor, los asientos, los pasajeros y otros accesorios importantes, además del peso propio del chasis” (p. 164). Estas cargas se pueden clasificar en:

- **Cargas estáticas:** Son aquellas derivadas del peso propio del vehículo y sus componentes, incluyendo carrocería, motor, pasajeros y carga transportada. El chasis debe distribuir este peso entre los ejes delantero y trasero, garantizando la estabilidad y el correcto funcionamiento de la suspensión (Academia Xray, 2025).
- **Cargas dinámicas:** Se producen durante la conducción, como resultado de aceleraciones, frenadas, fuerzas de giro, vibraciones e irregularidades del terreno. Estas cargas generan esfuerzos de flexión y torsión que el chasis debe resistir sin deformarse excesivamente, para no alterar las características de conducción ni comprometer la seguridad (SteelPro Group, 2025)
- **Cargas cíclicas o de fatiga:** A lo largo de la vida útil del vehículo, el chasis soporta ciclos repetidos de carga y descarga, lo que puede provocar la aparición de grietas o fallas si no se diseña con suficiente resistencia y rigidez (Quezada & Sarmiento, 2017).

El análisis del presente proyecto se enfocará en el efecto de las cargas en el estado estático, considerando que la estática mecánica no se refiere a un movimiento nulo sino que mantiene una velocidad constante.

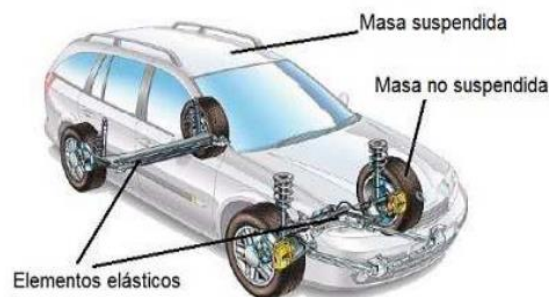
Cargas Suspendidas (*sprung mass*)

La masa suspendida incluye a todas las partes del vehículo que están siendo soportadas por la suspensión. Siendo estas: carrocería, motor, transmisión, asientos y los pasajeros. *Según Mantilla (2014)*, La masa suspendida es aquella que integra todos los elementos cuyo peso es soportado por el bastidor del vehículo (grupo motriz, carrocería, pasajeros, etc.).

Ejemplo: En un Volkswagen Beetle, las cargas suspendidas son aquellas que incluyen la carrocería de acero, el motor trasero que es refrigerado por aire y sus ocupantes, los dos se mueven juntos con el chasis mediante barras de torsión y los amortiguadores.

Figura 10

Cargas o masas suspendidas y no suspendidas, (Ingemecánica,2019).



Cargas no suspendidas (unsprung masses)

Es aquella que se compone por el peso de los componentes que no son soportados por la suspensión. Es decir, aquellas partes tienen contacto directo con el suelo y que reaccionan inmediatamente a las irregularidades del terreno.

Entre los elementos más representativos se encuentran: las ruedas, los neumáticos, los frenos (discos o tambores), los ejes, los bujes y algunos brazos inferiores de la suspensión. Estos componentes no se encargan de filtrar las vibraciones, a su vez el comportamiento afecta directamente la adherencia, el confort y la estabilidad del vehículo. Según Nie et al. (2018), “la masa no suspendida genera efectos negativos sobre el confort y la estabilidad del vehículo. Reducir esta masa mejora el contacto del neumático con el terreno y disminuye las vibraciones”

Métodos para el cálculo de cargas estáticas en vehículos

Para el cálculo estructural, se emplean fórmulas de resistencia en materiales y análisis de vigas bajo cargas puntuales y distribuidas:

El cálculo de cargas estáticas inicia con la determinación de las fuerzas presentes mediante la sumatoria de fuerzas y momento, como se muestra en la ecuación 5 y 6.

$$\sum F = 0 \quad (5)$$

$$\sum M = 0 \quad (6)$$

Estas ecuaciones surgieron de la estática que busca que los cuerpos se mantengan en equilibrio.

El momento flector es una medida de la tendencia de una viga (o chasis) a doblarse bajo una carga. El calcular este valor es esencial puesto que dimensiona adecuadamente los perfiles estructurales y evita deformaciones excesivas o fallas en la estructura, como se muestra en la ecuación 7.

$$M = P \cdot x \quad (7)$$

Donde:

M es el momento (N·m)

P la carga externa (N)

x la distancia perpendicular a la fuerza (m).

Cargas distribuidas

Las cargas distribuidas no son aplicadas en un solo punto, sino que, a lo largo de una sección, en este caso sobre el chasis.

La ecuación 8 permitirá simplificar el análisis convirtiendo una carga distribuida en una carga puntual equivalente, facilitando los cálculos.

$$Pp = q \cdot x \quad (8)$$

Donde:

Pp: es la carga puntual equivalente (N)

q: la carga distribuida (N/m)

x: la distancia sobre la que se aplica la carga distribuida (m).

Criterio de Von Mises para Análisis de Esfuerzos

El análisis de esfuerzos se realiza aplicando el criterio de Von Mises, el cual ayuda a verificar que los esfuerzos que soporten los elementos o miembros de una estructura, o máquina, que tiene como objetivo verificar que no superen el límite elástico del material.

La ecuación 9 muestra el criterio de Von Mises empleando los esfuerzos principales.

$$\sigma_{VM} = \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} / 2 \quad (9)$$

Donde:

σ_{VM} es el esfuerzo equivalente de Von Mises

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ son los esfuerzos principales

Distribución de masas en automóviles (longitudinal y transversal)

La distribución de masas de un vehículo, tanto en sentido longitudinal como transversal entre ruedas izquierda y derecha, es un factor crítico para su dinámica y comportamiento. La posición del centro de gravedad, definida por la distribución de peso, afecta directamente la estabilidad, maniobrabilidad y seguridad del automóvil. Un reparto equilibrado idealmente 70 30 entre ejes delantero y trasero tiende a mejorar la respuesta en curvas, haciendo que los neumáticos del frente y trasero trabajen en ángulos de deriva similares.

Las cargas asimétricas incrementan el riesgo de fatiga en componentes del chasis y suspensión. Por ello, en diseño se busca simetría o compensación para mantener el CG centrado transversalmente (Svaton *et al.*, 2024). Los efectos de una mala distribución de masas se manifiestan en la seguridad y desgaste del vehículo. Si el centro de gravedad (CG) está

demasiado cerca de un eje, ese eje puede sobrecargarse, elevando el riesgo de reventones de neumáticos y el desgaste prematuro de la suspensión, además de afectar el frenado y la tracción.

Un CG muy retrasado poca carga en el eje delantero perjudica la capacidad direccional y, en vehículos de tracción delantera, reduce la aceleración disponible por menor carga en ruedas.

En la ecuación 10 se indica la fórmula para el CG.

$$XCG = Wr \cdot L / Wt \quad (10)$$

Donde:

XCG: Distancia desde el eje delantero al centro de gravedad (en m o mm).

Wr: Carga (peso) soportada por el eje trasero (en Newtons o kilogramos multiplicados por gravedad).

L: Distancia entre ejes (o *batalla*) del vehículo, es decir, la separación entre el eje delantero y trasero.

Wt: Peso total del vehículo (suma de las cargas en ambos ejes).

Por otro lado, un CG muy adelantado puede comprometer la adherencia trasera en aceleración. Estos fenómenos confirman la importancia de ubicar adecuadamente los componentes pesados (motor, baterías, etc.) para lograr un reparto óptimo. Por ejemplo, en vehículos deportivos se intenta aproximar a 55:45 o incluso 60:40, mientras que en modelos con motor trasero (ej. Porsche) 39: 61 se lidia con subviraje a la entrada de curva y sobreviraje a la salida debido al peso posterior.

Influencia de las cargas en el diseño estructural y análisis de esfuerzos

El diseño estructural del chasis debe contemplar todas las cargas que actuará sobre él a fin de garantizar su resistencia y rigidez. Existen cargas estáticas, debidas al peso propio del vehículo, cargas y cargas dinámicas, asociadas a maniobras y condiciones de servicio aceleraciones, frenadas, curvas, baches. Las cargas estáticas generan esfuerzos constantes, mientras que las dinámicas producen solicitudes variables en el tiempo, a menudo de mayor magnitud y ubicaciones diferentes.

En el chasis, se identifican principalmente cargas de torsión cuando una rueda atraviesa un obstáculo o hay un desnivel, retorciendo el bastidor, cargas de flexión, por ejemplo, al pasar sobre un badén con ambos ejes, curvando longitudinalmente el chasis y cargas longitudinales y laterales de inercia por frenado y viraje, respectivamente (Agarwal *et al.* 2022). Cada tipo de carga influye en el diseño: por ejemplo, las cargas torsionales requieren un chasis con suficiente rigidez a la torsión, crucial para la estabilidad y comportamiento consistente del vehículo.

Estudios de simulación y experimentales demuestran la importancia de considerar las cargas dinámicas. Zamzam et al. (2025) analizaron un chasis de vehículo eléctrico bajo impactos transitorios (simulando topes) y hallaron que los esfuerzos máximos dinámicos (~ 288 MPa) fueron unas 4.5 veces superiores a los estáticos (~ 64 MPa) en el mismo punto, reduciendo el factor de seguridad de ~ 5.7 a ~ 1.1 . Esto resalta que diseño solo para cargas estáticas sería insuficiente, ya que eventos dinámicos pueden generar picos de esfuerzo mucho mayores, acercando el material a su límite elástico.

Un caso citado por Arabsolghar & Arsalanloo (2013) encontró que en un chasis de minibús las tensiones por frenado superaban a las de aceleración, identificando la frenada como

la carga dinámica más dimensionante en ese diseño. Desde la perspectiva de diseño, las cargas influyen en la selección de material, geometría y secciones del chasis. Para cargas muy elevadas se prefieren materiales de alta resistencia, pero también se busca reducir peso (p.ej., uso de aceros avanzados o compuestos en optimización).

Simulación estructural en el diseño automotriz

Herramientas CAD y CAE en diseño y simulación de chasis

En el desarrollo del modelo estructural del chasis del Porsche 356 se emplearon herramientas avanzadas de diseño asistido por computadora (CAD) y análisis asistido por computadora (CAE), los cuales fueron esenciales para garantizar precisión y eficiencia en la fase de ingeniería. Autodesk Inventor fue utilizado como software para el modelado paramétrico tridimensional del chasis. Esta herramienta permitió definir con exactitud las dimensiones, restricciones geométricas y la relación funcional entre componentes, facilitando así un diseño estructural coherente con los requisitos técnicos que tiene como objetivo el proyecto.

En la etapa de simulación, se recurre a herramientas CAE que permiten evaluar el comportamiento del chasis bajo diversas condiciones de carga. Estas plataformas integran análisis, así como la distribución de tensiones, la deformación bajo cargas estáticas y dinámicas, y la validación frente a criterios estructurales como el límite elástico y la resistencia a la fatiga.

Según Cascajosa (2005), un chasis automotriz debe diseñarse teniendo en cuenta criterios de rigidez global y local, ligereza y resistencia estructural, asegurando así que las sollicitaciones mecánicas no comprometan ni su forma ni la funcionalidad del conjunto, como la geometría de suspensión y dirección, fundamentales para la seguridad y el desempeño del vehículo.

Softwares de Simulación

“El uso de software de simulación estructural es esencial para optimizar el diseño, la seguridad y la eficiencia de los vehículos” (*Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui, 2022, p. 47*). Existen numerosos softwares que permiten analizar y validar digitalmente la integridad de chasis, carrocerías y componentes sometidos a cargas complejas, todo previo a la fabricación física. Dentro de los programas más destacados para simulación estructural automotriz se encuentran ANSYS, NASTRAN, COMSOL y Abaqus, reconocidos por su alto ajuste, capacidades avanzadas en análisis de elementos finitos, simulaciones de impacto y estudios no lineales. Debido a la licencia académica otorgada por la universidad, la comparación se restringió únicamente a los softwares de Altair SimSolid y HyperMesh.

Estas plataformas permiten reducir tiempos y costos de desarrollo, mejorar la seguridad y explorar múltiples alternativas de diseño de manera virtual, alineándose a la colaboración remota en la ingeniería automotriz.

Análisis del Software por emplear

Durante el estudio comparativo realizado con un elevador de coches, HyperMesh ofreció un enfoque más detallado; aunque el proceso de mallado es más laborioso y requiere mayor tiempo de procesamiento, permite un control muy preciso sobre el análisis, siendo así ideal para proyectos donde la exactitud y el detalle son fundamentales. En el análisis, fueron evaluadas las tensiones y deformaciones en distintas posiciones (0° , 45° y 90°) utilizando ambos programas. (Quinchuela-Paucar et al., 2024).

Al comparar los resultados, se encontró que SimSolid arrojó valores con una diferencia máxima del 15.1% respecto a HyperMesh. Como señalan Quinchuela-Paucar et al. (2024). Este margen de diferencia se consideró totalmente aceptable según los estándares de la literatura

especializada, lo que dio confianza en la validez y confiabilidad de ambos programas. Además, una de las grandes ventajas que se experimentó con SimSolid fue la notable reducción en los tiempos de preprocesamiento y simulación. Esta característica marcó una gran diferencia y permitió avanzar en proyectos complejos sin perder la exactitud.

SimSolid se convirtió en una alternativa eficiente para priorizar rapidez y facilidad de uso, mientras que HyperMesh sigue siendo la opción favorita para quienes necesitan un control absoluto sobre el mallado y el análisis.

Comparación entre programas de simulación: HyperMesh y SimSolid

Elegir el software de simulación correcto es esencial para el diseño óptimo y el análisis estructural. SimSolid se destaca por sus capacidades de simulación rápidas y eficientes sin requerir un mallado detallado, lo que es perfecto para iteraciones rápidas en diseños complejos.

A su vez, Hypermesh ofrece características avanzadas para controlar la generación de mallas precisas, lo que lo convierte en una herramienta para análisis detallados. Esta comparación analizará sus capacidades, tiempos de procesamiento y usabilidad para determinar qué herramienta es la más adecuada para las necesidades del proyecto.

La comparación de softwares de simulación se presenta a continuación en la tabla 3.

Tabla 3

Comparación entre Programas de simulación: SimSolid y Hypermesh, la comparación permitirá deliberar el mejor programa a elegir.

Característica	SimSolid	Altair HyperWorks (HyperMesh)
Mallado	No requiere mallado manual; el mallado es automático y transparente.	Requiere mallado detallado, con intervención y experiencia.
Facilidad de uso	Muy fácil de usar; orientado a ingenieros y diseñadores sin experiencia avanzada en FEA.	Requiere experiencia técnica en mallado y simulación; curva de aprendizaje pronunciada.
Velocidad de preparación	Rápido: elimina pasos de preparación y mallado; análisis en minutos.	Lento: preparación de malla y limpieza geométrica que pueden implicar horas.
Precisión (validada experimentalmente)	Diferencia del 15,1% respecto a HyperWorks en simulaciones estructurales reales; aceptable para validación de diseño según Quinchuela-Paucar et al. (2024).	Referencia para validación; resultados considerados estándar industrial; diferencia del 15,1%.

Característica	SimSolid	Altair HyperWorks (HyperMesh)
Aplicación en geometrías complejas	Muy eficaz y rápido, incluso en ensamblajes grandes y complejos; no depende de la calidad de malla.	Eficaz, pero requiere optimización avanzada del mallado para geometrías complejas.
Tipo de análisis soportado	Estáticos lineales y no lineales, modal, térmico, dinámico, acoplamientos, fatiga, contactos, análisis de vibración, etc.	Preprocesador para FEA; soporta múltiples tipos de análisis según el solver conectado (estructural, térmico, CFD, etc.).
Compatibilidad CAD	Importa formatos CAD comunes directamente; integración con sistemas en la nube y locales; soporta actualizaciones automáticas de geometría.	Importa y prepara modelos CAD para mallado y análisis en diversos solvers; herramientas para reparación geométrica avanzada.
Control de calidad de malla	No aplica; control automático de precisión mediante algoritmos internos adaptativos.	Herramientas avanzadas para control y optimización de calidad de malla; permite refinamiento local y global.

Característica	SimSolid	Altair HyperWorks (HyperMesh)
Sectores de aplicación	Ideal para diseño rápido, iteración, prototipado, ingeniería conceptual, y empresas que requieren agilidad y reducción de tiempos de desarrollo.	Preferido en sectores que demandan simulaciones detalladas, personalización del mallado y validación rigurosa (aeroespacial, automotriz, energía, investigación).
Escalabilidad y recursos	Requiere menos recursos computacionales; análisis eficiente incluso en hardware estándar.	Puede requerir hardware potente para modelos grandes o mallas muy detalladas.
Integración con otros sistemas	Integración directa con plataformas PLM y sistemas de gestión de datos de producto; colaboración en la nube.	Integración con ecosistema Altair y compatibilidad con múltiples solvers y plataformas de simulación.
Actualizaciones y soporte	Actualizaciones frecuentes orientadas a facilidad de uso y nuevas capacidades; soporte técnico	Soporte técnico especializado; comunidad activa de usuarios expertos y recursos de formación avanzados.

Característica	SimSolid	Altair HyperWorks (HyperMesh)
	accesible para usuarios sin experiencia.	

El uso de SimSolid en el proyecto:

SimSolid se destacó de las demás opciones al ser la herramienta más accesible. Gracias a su facilidad junto con la rapidez y exactitud. Es importante señalar que, debido a la licencia académica proporcionada por la universidad, la comparación se limitó únicamente a los softwares SimSolid y HyperMesh. Esta restricción definió el alcance del análisis y permitió centrar los esfuerzos en evaluar a fondo las capacidades de ambas herramientas en específico del proyecto. Luego de realizar comparaciones de los resultados de ambos programas, se observó que SimSolid no sólo facilitó el trabajo, sino que también entregó resultados con un margen de variación aceptable respecto a HyperMesh, respaldando así la literatura especializada.

SimSolid para simulación estructural sin mallado tradicional

La simulación estructural del chasis fue crucial para alcanzar los principales objetivos del proyecto, especialmente en lo relacionado con la modificación del chasis. Al centrarse en la simulación de cargas suspendidas y no suspendidas, se replican las principales fuerzas motrices a las que un chasis está expuesto, permitiendo que los resultados obtenidos se acerquen de manera significativa a la realidad. Estos resultados proporcionan una visión clara de cómo las cargas

afectan la estructura, lo cual es fundamental para identificar los posibles cambios en el diseño y garantizar su confiabilidad.

La simulación por cargas se basa en el análisis y la comprensión de las deformaciones que el chasis podría experimentar durante su uso. Debido a las fuerzas que actúan sobre el chasis, tanto suspendido como no suspendido, el chasis puede sufrir grandes deformaciones que comprometen su integridad estructural. Las cargas involucradas son altamente críticas, ya que tienen el potencial de causar daños significativos en la estructura si no se gestionan adecuadamente (Vega et al., 2022).

La validación del chasis contra las especificaciones de rendimiento y diseño es un paso crucial para asegurar que el chasis cumpla con los requisitos establecidos. Numerosos estudios han demostrado la efectividad de las simulaciones de carga para el análisis estructural de diseños complejos, destacando su capacidad para prever fallos estructurales y mejorar la seguridad y resistencia del diseño final.

En cuanto al proceso, la selección del software de simulación adecuado es esencial para cumplir con los requisitos de exactitud y modelado. La utilización de herramientas como Autodesk Inventor y SimSolid garantiza simulaciones confiables y realistas, lo que permite optimizar el diseño antes de la fabricación, reduciendo costos y tiempo de desarrollo, y asegurando que el chasis esté completamente preparado para su fabricación y uso práctico.

Parámetros evaluados en simulación: esfuerzos, deformaciones, factor de seguridad

En el campo de la ingeniería automotriz, el diseño estructural de componentes como es el chasis o bastidor, también en carrocerías se debe garantizar no solo la funcionalidad, sino a su vez seguridad y durabilidad. Como señalan Shigley y Mischke (2011), “*el uso de métodos*

computacionales en ingeniería ha permitido reducir los costos de desarrollo, optimizar diseños complejos y mejorar la precisión en la validación estructural de los componentes”

Dentro de estas simulaciones, se analizan parámetros fundamentales:

- **Esfuerzos:** indicadores de carga interna para partes de componentes estructurales.
- **Deformaciones:** reflejan los cambios con respecto a la forma del material ante una carga aplicada.
- **Factor de seguridad:** determina si la estructura podrá resistir las cargas sin riesgo de falla.

Estos parámetros permiten tomar decisiones precisas para optimizar el diseño, selección de materiales adecuados y cumplir con las normativas de seguridad en la industria automotriz. La correcta interpretación de los datos es clave para el desarrollo de vehículos más eficientes, resistentes y seguros.

“El uso de simulaciones estructurales permite anticipar el comportamiento de un diseño ante cargas extremas, reduciendo riesgos y mejorando la confiabilidad del producto final” (Shigley & Mischke, 2011).

Esfuerzos (Stresses)

Los esfuerzos son las fuerzas internas que generadas dentro de un material cuando es sometido a cargas las cuales son externas. Se miden en pascal (Pa) o sus múltiplos (MPa, N/mm²), que indican cuánta fuerza por unidad de área está actuando en su interior.

Tipos comunes de esfuerzos:

- **Normal (σ):** Tienden a ser por tracción o compresión.

- **Cortante (τ):** Se observan cuando las fuerzas actúan paralelas a la sección.
- **Von Mises:** Es el esfuerzo equivalente, utilizado en simulaciones puesto que predicen un fallo plástico en materiales dúctiles.

“Los esfuerzos internos son una respuesta directa a cargas aplicadas y se utilizan para dimensionar elementos estructurales en condiciones de servicio” (Beer, Johnston, & DeWolf, 2012).

Deformación (Strains)

La deformación se define como cambio relativo de forma o tamaño en un material al aplicarle una carga. Se expresa como una relación adimensional (es decir, mm/mm o %).

Tipos de deformación:

- **Deformación elástica:** Es reversible y ocurre mientras no se supere el límite elástico.
- **Deformación plástica:** Es irreversible y ocurre al superarse el límite elástico.

“La deformación proporciona información crítica sobre la flexibilidad y tolerancia de una estructura ante cargas reales” (Callister & Rethwisch, 2020).

Factor de seguridad (Safety Factor – FS)

Es la relación que se tiene entre la resistencia del material y sus esfuerzos reales a los que la estructura se verá sometido. Indicará cuánto más fuerte es el diseño respecto a su carga prevista.

El factor de seguridad se puede calcular mediante ecuación 9:

$$FS = \text{Esfuerzo aplicado } (\sigma) / \text{Límite de fluencia } (\sigma_y) \quad (10)$$

Donde:

- **$FS < 1$** : Falla garantizada.
- **$FS \approx 1 - 1.5$** : Diseño riesgoso.
- **$FS \geq 2$** : Diseño seguro en la mayoría de aplicaciones estructurales.

“El factor de seguridad proporcionará un margen para incertidumbres en cargas, defectos de materiales o errores de fabricación” (Shigley & Mischke, 2011).

Validación de resultados de simulación en ingeniería automotriz

Para realizar esta validación, se emplean simulaciones estructurales con base en la aplicación directa de estas cargas reales que se encuentran en puntos estratégicos de la estructura, evaluando así el diseño, corroborando que soporte los esfuerzos y desplazamientos sin comprometer la integridad del vehículo. La validación estructural es aquella que implica y verifica que la tensión de von Mises y la deflexión de una estructura estén dentro de los límites seguros y aceptables. Distribución de tensiones internas. Deformaciones por carga. Resistencia a la fatiga estructural. Puntos críticos de concentración de esfuerzos. (Thangarasu, Dhandapani, & Sureshkannan, 2017, párr. 1)

La validación estructural es aquella que verifica que la tensión de von Mises y la deflexión de una estructura estén dentro de los límites seguros y aceptables.

- Distribución de tensiones internas
- Deformaciones por carga
- Resistencia a la fatiga estructural
- Puntos críticos de concentración de esfuerzos

Un ejemplo de validación es:

Estudio real: Análisis del chasis de un vehículo eléctrico con SimSolid (Zamzam et al., 2025)

Zamzam, Abdelaziz, Elnady y Abd El-Wahab (2025) llevaron a cabo un análisis estático y dinámico del chasis de un vehículo eléctrico, en el cual aplicaron cargas reales, en este caso golpes de baches, usando un modelo de cuarto de vehículo en MATLAB/Simulink, mediante simulaciones FEA con SimSolid

Distribución de tensiones internas:

- Estático: 64 MPa.
- Dinámico: 288 MPa.

Deflexión:

El chasis permaneció dentro del rango elástico sin llegar a una deformación plástica.

Capacidad para soportar cargas cíclicas:

- Factor estático de seguridad = 5,69
- Factor dinámico = 1,12;
- Factor de carga dinámico/estático = 4,44.

Puntos críticos de esfuerzo:

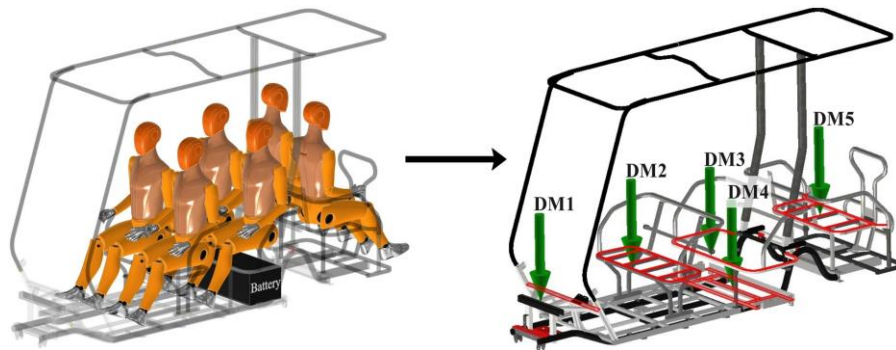
Conexiones frontal y trasera de la suspensión.

Conclusión:

El chasis mantiene su integridad estructural y entra en criterios de validación (von Mises y deflexión) bajo cargas estáticas y dinámicas.

Figura 11

Análisis del chasis de un vehículo eléctrico con SimSolid. (Zamzam, Abdelaziz, Elnady y Abd El-Wahab, 2025)



Casos de estudio/documentación de adaptaciones

El desarrollo y adaptación de chasises automotrices se constituye en un campo activo dentro de la ingeniería vehicular, donde se conjugan exigencias normativas, necesidades funcionales y avances tecnológicos. A lo largo del tiempo, numerosos casos de estudio han documentado intervenciones estructurales sobre plataformas ya existentes, ya sea para optimizarlas en plataformas eléctricas, modernizar modelos clásicos o mejorar el rendimiento en autos de competición. Estas adaptaciones han requerido más que rediseños geométricos, sino que a su vez validaciones estructurales rigurosas mediante herramientas CAD y CAE.

Caso 1: Porsche 356 Speedster réplica sobre chasis Volkswagen Beetle (1958/1967)

Esta réplica del Porsche 356 Speedster utiliza como base el chasis tipo “pan” del Volkswagen Beetle 1967, cuya arquitectura resulta ideal por su similitud estructural con el modelo original de Porsche. La distancia entre ejes prácticamente idéntica permitió instalar una carrocería de fibra de vidrio atornillada, realizando solo ajustes menores como el recorte del bastidor y la adaptación de los puntos de montaje (Tonn, 2023). Esta estrategia logra una integración mecánica funcional con una apariencia clásica convincente.

El uso del chasis del Beetle no solo simplifica el proceso técnico, sino que reduce significativamente los costos de construcción y mantenimiento. A nivel visual, la fidelidad es tan alta que resulta difícil distinguir la réplica de un modelo genuino. Este caso refleja una tendencia que se remonta a los años 70, donde plataformas económicas sirvieron de base para replicar deportivos clásicos, aprovechando la herencia compartida entre Porsche y Volkswagen (López Sirvent, 2022).

Figura 12

Porsche 356 Speedster réplica sobre chasis Volkswagen Beetle (1958/1967), (López Sirvent, 2022).



Caso 2: Réplica Bugatti Type 35B con chasis Volkswagen (1927/1969)

Este proyecto de réplica Bugatti Type 35B montado sobre un chasis Volkswagen Beetle 1969 demuestra cómo una plataforma económica puede ser transformada para emular autos históricos. El chasis fue recortado para adecuarse a la distancia entre ejes del Bugatti original, y se le montó una carrocería de fibra de vidrio con detalles característicos como la parrilla frontal en herradura (Kruger, 2020). Esta modificación estructural permite mantener proporciones visuales adecuadas, adaptando además componentes como ruedas de radios antiguas mediante platos especiales.

Aunque el motor se mantiene en posición trasera, se rediseñó el espacio frontal para simular la configuración original del Bugatti, instalando elementos falsos como un radiador decorativo. Esta solución combina autenticidad estética con confiabilidad mecánica, aprovechando la robustez del tren motriz VW. El proyecto ilustra cómo la modificación del chasis y los soportes puede transformar una plataforma común en una pieza única de inspiración clásica (Temple & Baumgarten, 2020).

Figura 13

Replica Bugatti Type 35B con chasis Volkswagen (1927/1969), Rare Car Network” (enero 2020).



Caso 3: Alfa Romeo Giulia GT sobre chasis moderno (Emilia GT Veloce, 2022)

La empresa Emilia Auto desarrolló un restomod exclusivo que integra carrocerías originales del Alfa Romeo Giulia GT de los años 60 con un chasis moderno diseñado junto a VELA Performance. Este nuevo bastidor está adaptado para albergar el tren motriz completo del Alfa Romeo Giulia Quadrifoglio moderno, incluyendo un motor V6 biturbo de 510 CV y suspensión ajustable (Otero, 2021). La unión entre la carrocería clásica y la estructura contemporánea exigió modificaciones necesarias de anclajes y refuerzos estructurales invisibles.

Para lograr esta integración, el chasis fue reforzado con subestructuras que sostienen la nueva mecánica, además de modificaciones como el ensanchamiento de la carrocería y eliminación de la banqueta trasera. La carrocería conserva su silueta original, mientras que el chasis moderno proporciona seguridad, rigidez y dinamismo de un superdeportivo actual (López

Sirvent, 2022). Este caso representa un alto grado de ingeniería aplicado para preservar el legado estético con rendimiento actual.

Figura 14

Alfa Romeo Giulia GT sobre chasis moderno (Emilia GT Veloce, 2022).



Caso 4: Opel Manta A convertido a eléctrico (Opel Manta GSe ElektroMOD, 2021)

Opel transformó un clásico Manta A de 1973 en un modelo eléctrico manteniendo su chasis original, aunque reforzado y modificado para albergar un motor eléctrico de 108 kW y una batería de 31 kWh. Este proceso implicó retirar el motor de combustión y adaptar soportes para el motor eléctrico y el sistema de transmisión, el cual conserva la caja manual original (Stellantis Media, 2021). El uso del chasis base permite conservar la esencia estructural del modelo clásico, adecuándola a una arquitectura moderna de propulsión limpia.

La batería fue instalada en el sector trasero, donde antes se encontraba el tanque de combustible, y el chasis se reforzó para soportar el nuevo reparto de masas. La carrocería se mantiene visualmente idéntica, lo que demuestra la viabilidad de convertir clásicos en eléctricos

sin sacrificar diseño. Este caso resalta cómo un chasis simple pero adaptable puede acoger tecnología avanzada, manteniendo el equilibrio estructural y la estética retro.

Figura 15

Opel Manta A convertido a eléctrico (Opel Manta GSe ElektroMOD, 2021).

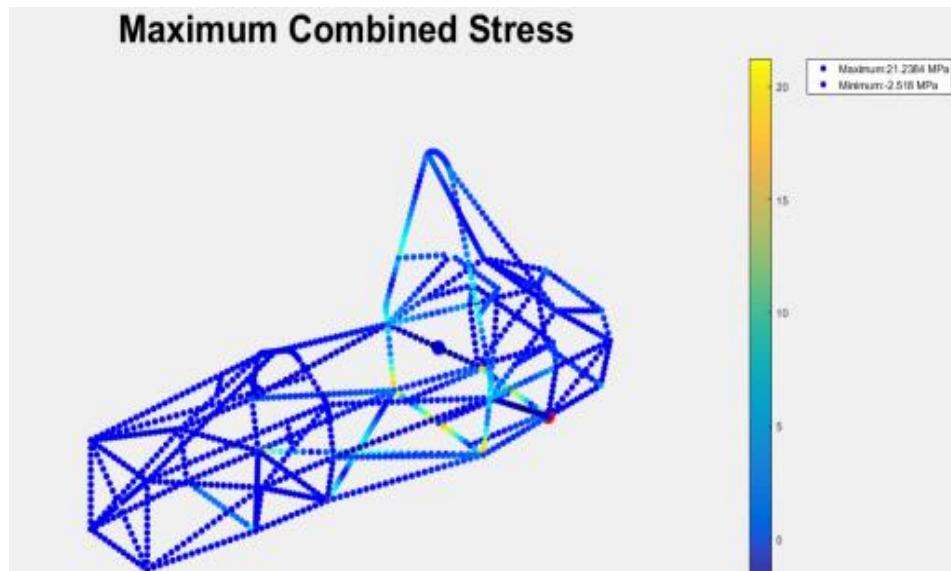


Diseño y análisis en prototipos de competición

El modelado permitió probar nuevas ideas y analizar los resultados de manera rápida, facilitando la toma de decisiones y el perfeccionamiento del diseño. Como describe Calvo Rodríguez (2016), “Introducir un cambio y analizarlo no supuso demasiado tiempo ya que el número de modificaciones a analizar fue importante. Bajo esa idea se realizó un modelado en ANSYS que permitiese estudiar el prototipo y obtener resultados de una forma rápida y utilizando la mayor cantidad de parámetros posibles”.

Figura 16

Diseño y análisis de un chasis para un prototipo de fórmula SAE (Borja Robalino & Morocho Rojas, 2017, p. 89)



Simulación estructural en vehículos eléctricos

En proyectos de vehículos eléctricos, como el modelo biplaza, la simulación del desempeño estructural del chasis ante eventos críticos como impactos frontales, laterales y vuelco es fundamental para garantizar la seguridad de los ocupantes. Para este propósito, se empleó un software de elementos finitos (FEA), que es esencial para simular cómo se comporta el chasis bajo diferentes condiciones de carga y estrés, de acuerdo con los estándares internacionales como los de la FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards).

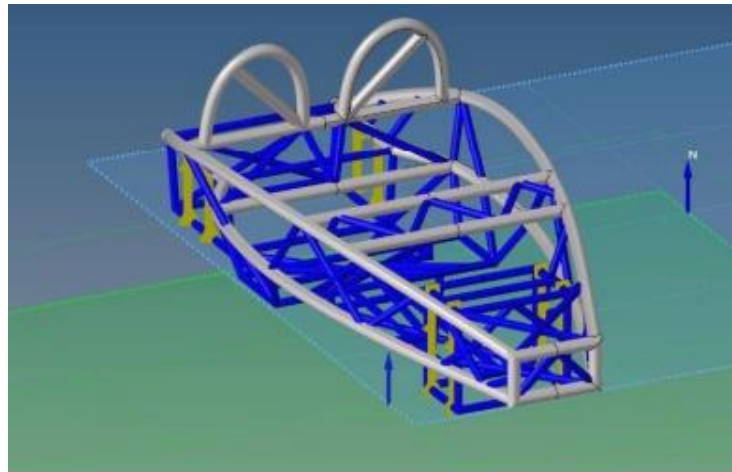
La simulación se centra en medir las deformaciones del chasis y en clasificar la gravedad de las intrusiones en el habitáculo. Este análisis permitió identificar los puntos más vulnerables del chasis y prever cómo se comportaría la estructura durante los eventos de colisión. De esta

manera, se validó que el chasis propuesto cumpliera con los requisitos de seguridad, protección de los ocupantes y las exigencias normativas de las autoridades internacionales.

Este enfoque no solo garantiza que el chasis esté diseñado para soportar impactos de manera eficiente, sino que también permitió la optimización del diseño, reduciendo los riesgos de fallos estructurales durante el uso real del vehículo. Tal validación fue clave para asegurar que el chasis estuviera adaptado a las condiciones reales de uso ya las normativas internacionales de seguridad (Garnica Rea & Pozo Rivadeneira, 2024).

Figura 17

Simulación estructural en vehículos eléctricos (Garnica Rea & Pozo Rivadeneira, 2024)



Optimización y validación experimental

La optimización de la rigidez torsional y la reducción de peso son objetivos fundamentales en el diseño de chasis tubulares para vehículos monoplaza. Estos aspectos son cruciales para garantizar un rendimiento estructural eficiente sin comprometer la seguridad del vehículo. En este sentido, la triangulación estructural, aplicada desde la parte trasera hacia la

delantera del chasis, ha demostrado ser una técnica efectiva para mejorar significativamente la rigidez torsional.

Este enfoque de optimización ha logrado incrementar la rigidez torsional en un factor de 3,3 y reducir la masa estructural en un 9%. Estos resultados son fundamentales para mejorar la eficiencia dinámica del vehículo, ya que un chasis más rígido mejora la estabilidad y el control, mientras que la reducción de peso contribuye a mejorar el rendimiento general.

Lo más relevante de este proceso de optimización es que los resultados obtenidos mediante simulación numérica fueron contrastados con pruebas experimentales, alcanzando una proporción cercana al 5%. Esta pequeña discrepancia refuerza la confiabilidad de la metodología empleada y demuestra la capacidad de las simulaciones numéricas para predecir con precisión el comportamiento real del chasis, lo que permite realizar ajustes y mejoras antes de la fabricación del prototipo final.

Metodología

Método

Para el rediseño se combinó una metodología cuantitativa-práctica con herramientas de modelado y análisis computacional. El software Autodesk Inventor fue empleado para la elaboración del modelo tridimensional del chasis, mientras que Altair SimSolid se utilizó para llevar a cabo simulaciones estructurales bajo condiciones de carga estática. Esta combinación permitió validar el diseño antes de su fabricación prevista, anticipando su comportamiento estructural frente a condiciones reales.

Las simulaciones se realizaron en consideración de cargas estáticas aplicadas sobre puntos estratégicos en el chasis, utilizando pesos reales correspondientes a masas suspendidas y

no suspendidas. Uno de los aspectos más relevantes fue la selección del material: se optó por acero inoxidable tipo 304, recomendado por ((Vaca, Martínez & Leguisamo, 2020) según la ponderación realizada en el estado del arte. Este material fue cargado en el software con sus propiedades mecánicas reales, lo cual permitió acercarse a una representación precisa del comportamiento del prototipo. Esta elección estratégica asegura el cumplimiento de estándares estructurales como es el factor de seguridad (1-5) optimizando tanto la rigidez como la estabilidad general del chasis, factores claves para el éxito del proyecto.

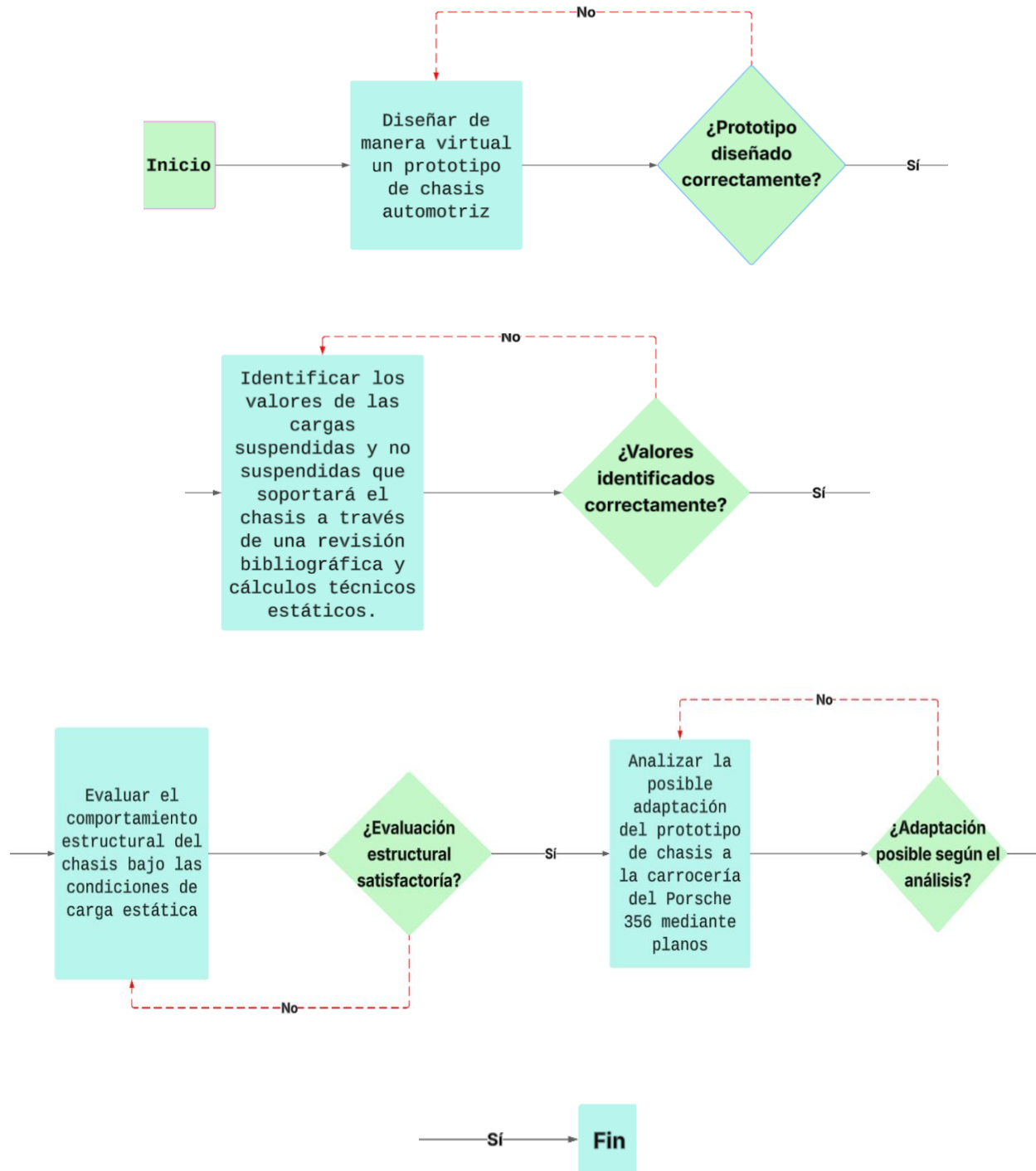
Diagrama de procesos

El diagrama de procesos propuesto describe de forma secuencial y sistemática las etapas metodológicas empleadas para el rediseño y construcción de un chasis basado en el Volkswagen Beetle. Este proceso abarca desde la modelización preliminar en CAD hasta la validación mediante calculo estructural con ayuda de la simulación, permitiendo visualizar el ciclo completo de desarrollo en el prototipo.

La estructura del chasis será rediseñada tomando como referencia las características del Beetle, con el objetivo de integrarse armónicamente con la estética vintage del Porsche 356, asegurando un acoplamiento adecuado entre chasis y carrocería. La elección de dimensiones y materiales responde tanto a criterios técnicos como a la disponibilidad en el país, considerando además estudios previos sobre propiedades mecánicas. El uso de herramientas de diseño virtual y simulación estructural será un factor determinante para garantizar la viabilidad del acople entre el chasis rediseñado y la carrocería seleccionada.

Figura 18

Diagrama de procesos con respecto a la adaptación del chasis.

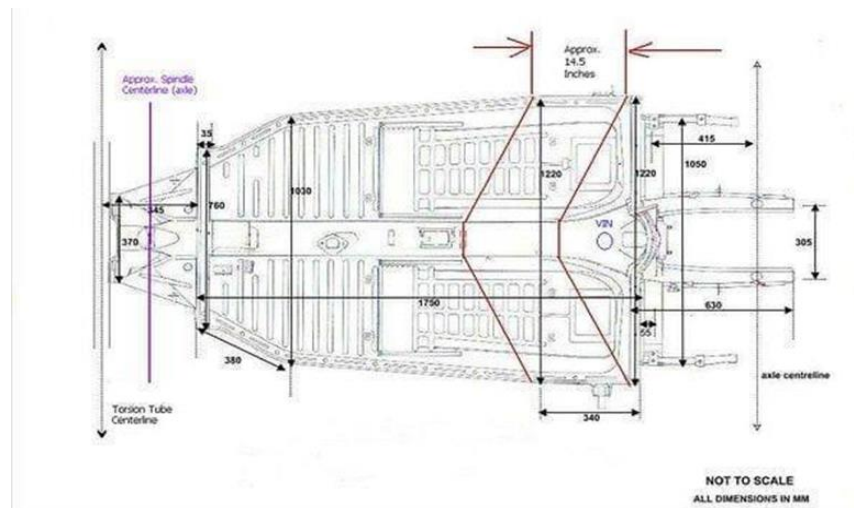


Levantamiento y digitalización de planos técnicos del chasis volkswagen Beetle

El proceso comenzó con la recopilación exhaustiva de planos técnicos originales, obtenidos del manual de servicio del Beetle, donde son presentadas vistas en planta, cortes transversales y detalles dimensionales del chasis. Siendo extraído del documento “Volkswagen Official Service Manual Type 1: 1961–1965” (Bentley Publishers, 1968), donde son especificadas sus longitudes, espesores de lámina de entre 0.76 mm y 1.00 mm utilizados en la fabricación del chasis. Estos planos sirvieron como referencia principal para la digitalización.

Figura 19

Plano original del volkswagen beetle.



Fuente: (Volkswagen Official Service Manual Type 1: 1961–1965)

Diseño del Chasis del Volkswagen Beetle

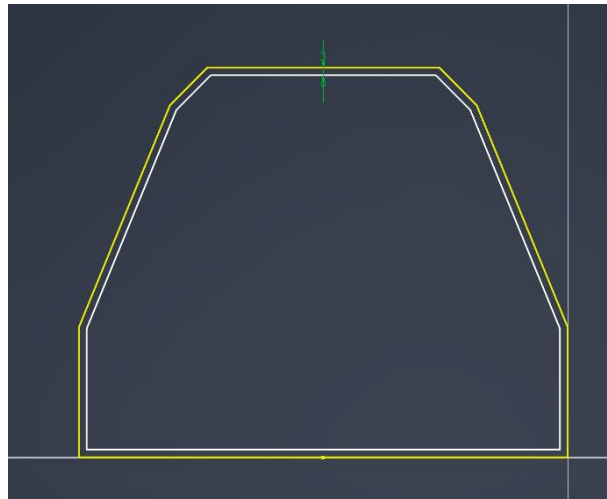
Se utilizó el software Autodesk Inventor, que fue seleccionándolo por su capacidad de modelado paramétrico. Los planos técnicos históricos del modelo Tipo 1, los cuales proporcionan dimensiones reales del chasis, así como la distribución de componentes

estructurales clave como el túnel central. Se inicia el proceso de diseño al generar un boceto 2D que se encarga de definir el perfil estructural del túnel central del chasis.

En la figura 20 se observa un contorno cerrado por geometría prismática, compuesto por líneas rectas y chaflanes. Esta figura representará el túnel central del vehículo, concebido como su eje estructural longitudinal principal. Su función es la de brindar rigidez torsional y sirve de soporte a los elementos del tren motriz, constituyendo de esta manera la columna vertebral del chasis.

Figura 20

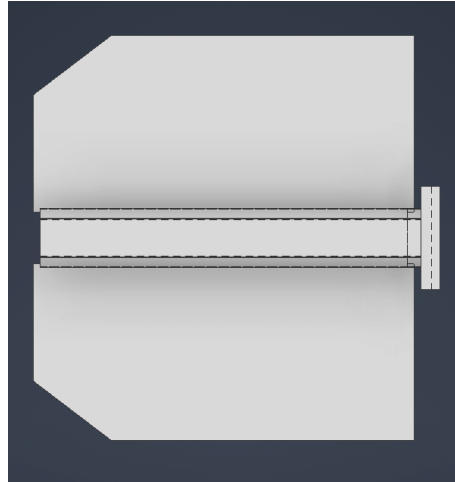
Boceto 2D del Túnel Central en Inventor



Se aplican herramientas de extrusión y simetría en el entorno de Inventor para generar el volumen tridimensional del túnel central y del piso estructural. En la figura 21 se observa la vista superior del conjunto, en donde se destaca su lámina inferior del chasis (color gris), diseñada como una superficie plana (piso) con un espesor de 1 mm. Este espesor se estableció siguiendo los estándares originales del Volkswagen Beetle, documentados por Bentley Publishers (1968).

Figura 21

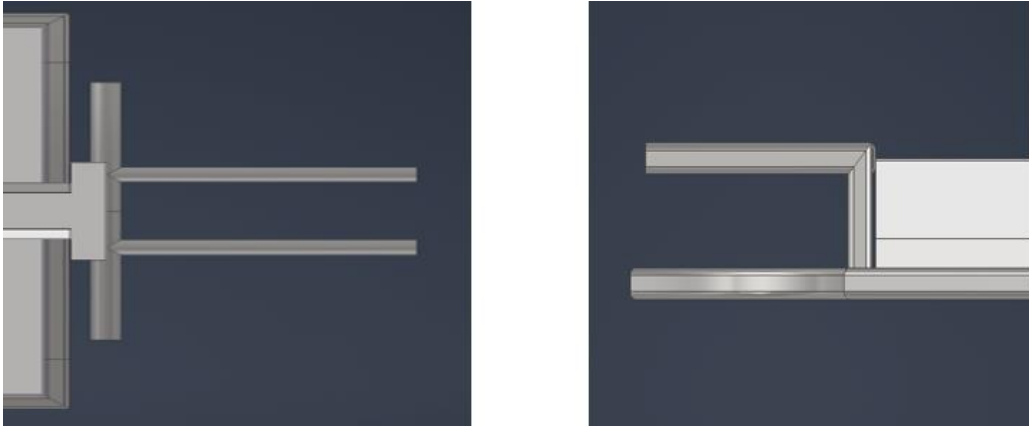
Extrusión y Modelado Simétrico del Piso del Chasis.



En esta fase del modelado, se añadieron las estructuras tubulares posteriores que son destinadas a alojar los componentes de la suspensión trasera y brindan soporte a la transmisión. En la figura 22 se muestra la disposición simétrica de estos elementos, en los cuales son integrados directamente al extremo del túnel central del chasis. La ubicación de estas geometrías responde a los puntos de carga característicos con respecto al diseño original del Volkswagen Beetle.

Figura 22

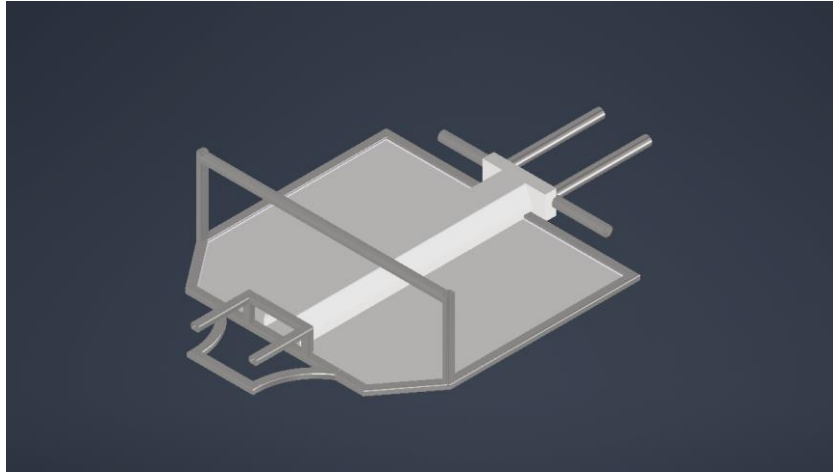
Estructura Tubular para Suspensión y Transmisión.



En la figura 23 se observa la fase final del modelo, donde son integrados los puntos de fijación delanteros, cuya función proporciona rigidez adicional en la zona frontal. Se aprecia una estructura reforzada mediante perfiles rectos y cortes curvos, la cual fue diseñada estratégicamente para absorber esfuerzos. Esta configuración responde tanto a referencias del diseño original del Beetle como a sus requerimientos de adaptación estructural futura, garantiza la continuidad en su línea de carga, empezando desde el túnel central hasta el extremo frontal del chasis.

Figura 23

Diseño virtual finalizado del chasis Beetle Original.



A su vez, se anexa la vista isométrica como aporte al diseño final del chasis, lo cual permite apreciar de manera tridimensional la disposición de la estructural general, en la que está incluido el túnel central, secciones laterales y los puntos de anclaje. Esta representación fue elaborada en una escala 1:20, facilitando la interpretación del conjunto dentro del proceso de diseño y validación estructural.

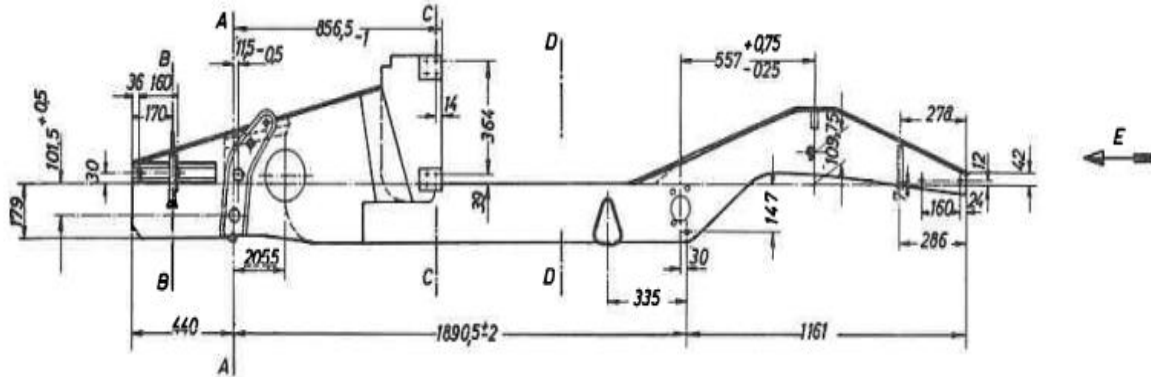
Levantamiento y digitalización de planos técnicos del chasis Porsche 356

Recopilación de documentación técnica

Se obtuvo información de fuentes oficiales, como el *Porsche 356 Workshop Manual* (1954–1965). Este manual proporcionó vistas en planta, secciones longitudinales y transversales del chasis, así también las dimensiones estructurales más relevantes, incluyendo la distancia entre ejes (aprox. 2100–2300 mm).

Figura 24

Chasis con sus medidas originales (Porsche 356).



Trazado del contorno base en 2D

A partir de las cotas dimensionales recopiladas del chasis original del Porsche 356, se procedió al diseño del boceto bidimensional mediante el uso de herramientas de dibujo de Autodesk Inventor. Esta etapa fue la base geométrica del modelo estructural, permitiendo de esta manera definir con precisión el perfil externo del bastidor y el túnel central.

En la Figura 25 se puede observar la vista lateral de la estructura a partir de este trazado. Aunque el boceto fue realizado en 2D, posteriormente se aplicaron operaciones como extrusión para obtener el volumen tridimensional. En la imagen se evidencia el resultado de esta extrusión, en donde puede apreciarse la geometría del túnel central y la continuidad del piso estructural.

Figura 25

Vista lateral del trazado base extruido



Como parte del rediseño estructural del chasis, se desarrolló un soporte trasero reforzado, cuya función principal es alojar y sostener adecuadamente el conjunto conocido como motopropulsor o motor y transmisión. Se modeló a partir de un conjunto de perfiles tubulares circulares, orientados horizontal y verticalmente, garantizando así una configuración resistente ante las cargas y vibraciones generadas durante la operación del vehículo.

En la Figura 26, el diseño contemplara 2 barras longitudinales que actuaran como vigas de apoyo para los elementos del tren motriz. Se encuentran unidas a un bastidor lateral vertical mediante elementos estructurales perpendiculares, el cual genera un marco rígido que permite distribuir adecuadamente el peso del motor, así como las reacciones producidas por la transmisión. Esta estructura fue diseñada de manera que se respete la geometría original del Volkswagen Beetle, debido a que esta estructura la comparte con el porsche 356.

Figura 26

Vista del bastidor posterior, el cual da soporte para motor y transmisión.

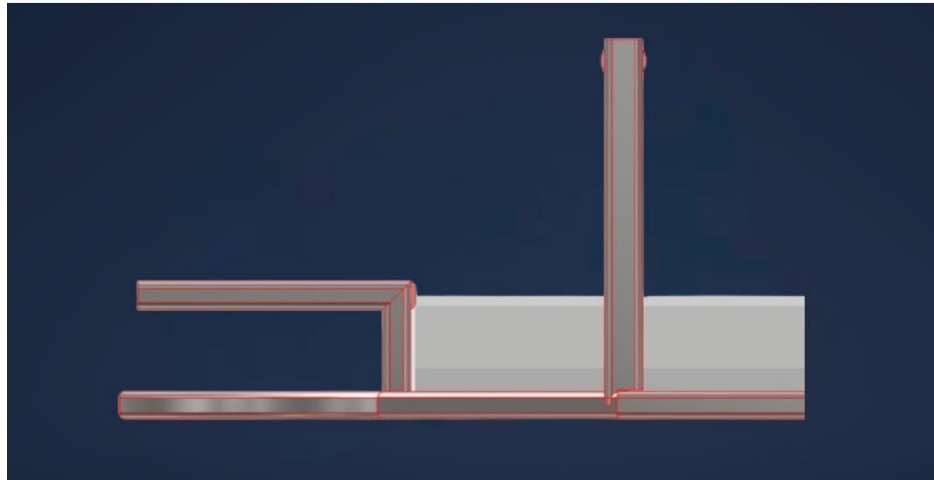


En la siguiente vista lateral se aprecia el diseño del módulo frontal del chasis el cual estará destinado a alojar el tanque de gasolina del vehículo. Se integra por perfiles rectangulares huecos y mediante uniones en ángulo, este diseño ha sido modelado con el objetivo de garantizar su resistencia ante las cargas suspendidas generadas por el peso del combustible. A su vez, dicha zona cumple con su función: actuar como soporte del tanque.

Esta sección se conecta de forma directa con el túnel central y el bastidor, formando un conjunto rígido y estable dentro de este diseño general.

Figura 27

Vista lateral de la zona frontal para el soporte del tanque de gasolina.



Los elementos más destacados en estos planos van referentes la distancia entre ejes (conocida como *wheelbase* en inglés), que se sitúa en aproximadamente 2 100 mm – 2300mm, además de sus espesores

Finalizado el proceso de modelado del chasis estructural, se procede a la integración de refuerzos internos con el objetivo de generar resistencia global de la estructura. Esta modificación responde a la necesidad de incrementar la rigidez del chasis base original, el cual en el caso del Volkswagen Beetle contaba únicamente con una lámina inferior delgada como elemento de soporte.

Implementación de Costillares en el Chasis

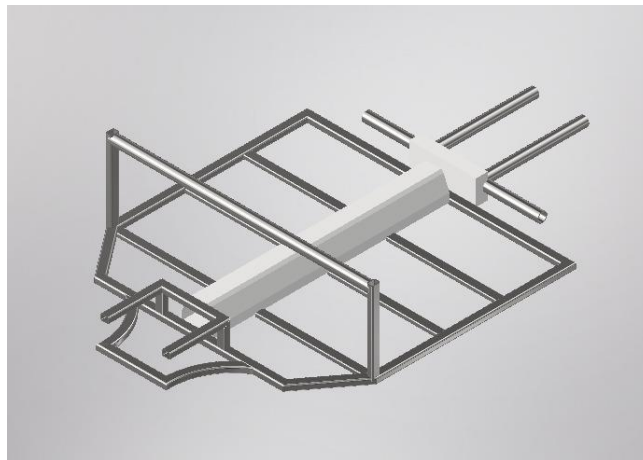
Para solventar esta limitación, se implementaron 6 costillares transversales, distribuidos de manera uniforme sobre el plano inferior del chasis. Secciones que actuaran como refuerzos internos, permitiendo que se genere una mejor distribución de tensiones, frente a cargas verticales generadas por el peso de los ocupantes, con un estimado de 80 kg por persona

(equivalente a 784.8 N). Su función principal es reducir la deflexión estructural y mejorar la estabilidad global del conjunto, garantizando así su correcto funcionamiento del bastidor bajo condiciones estáticas.

En la Figura 28 se muestra la disposición final de los costillares integrados al diseño del chasis. Estos elementos fueron modelados en Autodesk Inventor mediante operaciones de extrusión y mirror “espejo”, siguiendo las líneas de fuerza identificadas en los puntos de carga principales.

Figura 28

Implementación de costillares en la adaptación del chasis.



El proyecto gira en torno al rediseño de un chasis estructural para la carrocería un Porsche 356, puesto que a su vez es una adaptación de la estructura física, para lo cual se elaboró un rediseño detallado. El modelo busca replicar con fidelidad la configuración geométrica del bastidor original, permitiendo la futura adaptación con la carrocería liviana de fibra de vidrio sin comprometer la integridad estructural.

Identificación y cálculo de cargas aplicadas

Revisión bibliográfica de cargas suspendidas y no suspendidas

En el desarrollo del rediseño estructural del chasis adaptado para el Porsche 356 sobre la plataforma o chasis del Volkswagen Beetle, para ello se requiere establecer con precisión las cargas reales que actúan sobre la estructura. Dentro de estas cargas se dividen en dos categorías fundamentales en la ingeniería vehicular siendo estas: cargas suspendidas y cargas no suspendidas.

Tabla 4

Identificación de cargas en el chasis: suspendida y no suspendida.

Tipo de carga	Incluye	Impacto principal
Suspendida	Carrocería, chasis, motor, asientos, pasajeros, transmisión	Confort y estabilidad
No suspendida	Neumáticos, ejes, frenos, bujes, llantas	Respuesta dinámica y adherencia

Con base en esta fundamentación, se procede a identificar y calcular las cargas suspendidas reales que se aplicarán en el análisis estructural del chasis bajo estado estático.

Por tal razón se decide enfocar este estudio al análisis por masas suspendidas, las cuales enfatizan su importancia dentro del chasis ya que son las más críticas; Según Tyan, H.S. et al. (2003), “la masa suspendida influye directamente en la rigidez y desempeño estructural del chasis, mientras que la masa no suspendida tiene un impacto mayor en el confort y la respuesta del vehículo sobre superficies irregulares” (*Vehicle dynamics analysis considering the unsprung mass effects*, *Journal of Sound and Vibration*, Elsevier).

Distribución de masas suspendidas y cálculo de fuerzas aplicadas

Cada carga de este estudio se la encuentra en kg y es multiplicada por la aceleración gravitacional estándar (9.81 m/s^2) para obtener la fuerza vertical en Newtons (N) puesto que así se necesita para la posterior carga en el software:

En el modelo se considera los siguientes elementos con cada carga en la tabla 5:

Tabla 5

Identificación y conversión de masas a cargas aplicadas sobre el chasis del vehículo en condiciones estáticas.

Elemento	Masa (kg)	Fuerza (N)	Descripción
Carrocería (fibra de vidrio + puertas)	80	784.8	Estructura liviana que recubre el chasis; carga distribuida sobre el bastidor.
Tanque de gasolina (lleno)	53	519.93	Ubicado sobre el eje delantero; contribuye al peso suspendido del vehículo.
Pasajero izquierdo	80	784.8	Ocupa asiento lateral izquierdo; carga suspendida localizada.
Pasajero derecho	80	784.8	Ocupa asiento lateral derecho; carga suspendida localizada.
Motor	200	1.962	Se ubica en la parte trasera, carga suspendida.

Elemento	Masa (kg)	Fuerza (N)	Descripción
Caja de cambios	150	1471.5	Acoplada al motor, se ubica en la parte trasera, carga suspendida

Cálculo técnico de cargas estáticas sobre el chasis

El análisis estructural del chasis adaptado se fundamenta en el cálculo de cargas estáticas aplicadas por los componentes suspendidos del vehículo conocidas como suspendidas. Estas cargas permiten evaluar el comportamiento del chasis bajo condiciones reales de operación, específicamente en deflexión y el factor de seguridad frente a su esfuerzo máximo permitido por el material (Acero Inox 304).

Objetivo del cálculo

Determinar, mediante cálculos estáticos, las fuerzas verticales ejercidas sobre el chasis y su distribución, con el fin de:

- Identificar la deflexión máxima del bastidor bajo carga.
- Calcular el factor de seguridad (FS), comparando los esfuerzos obtenidos frente al límite elástico del material.

- Evaluar los esfuerzos equivalentes mediante el criterio de Von Mises, verificando que las tensiones generadas debido a las cargas aplicadas se encuentren dentro del rango elástico permitido por el material, evitando así una posible falla plástica.

Estos parámetros son fundamentales ya que aseguran que la estructura no se deforme permanentemente ni colapse ante condiciones normales.

Según Budynas & Nisbett (2015), “el factor de seguridad representa la relación entre la resistencia del material y el esfuerzo aplicado, siendo esencial para garantizar la integridad estructural bajo cargas estáticas o variables” (*Shigley's Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill).

Cargas Aplicadas:

- Motor: 1962 N
- Caja de cambios: 1471.5 N
- Carrocería + puertas: 784.8 N
- Tanque de gasolina lleno: 519.93 N
- Pasajero lateral izquierdo: 784.8 N
- Pasajero lateral derecho: 784.8 N

Evaluación estructural mediante SimSolid

El análisis en SimSolid permitirá obtener resultados clave, siendo éstos la deflexión máxima, el factor de seguridad y los esfuerzos equivalentes mediante el criterio de Von Mises.

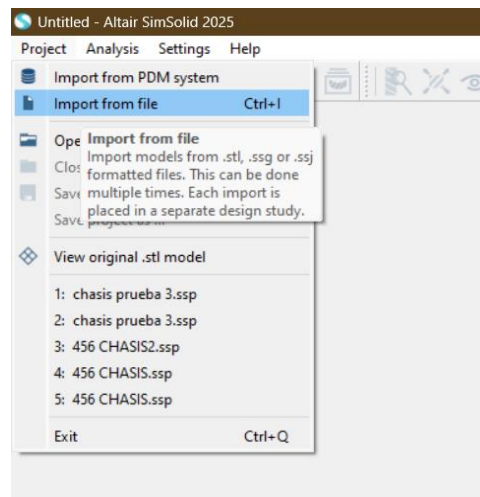
Importación del diseño a SimSolid

Al finalizar el modelado del chasis en Autodesk Inventor, el siguiente paso consistió en importe al software Altair SimSolid, para llevar a cabo los análisis estructurales bajo condiciones de carga estática. Este procedimiento ayudará a evaluar el comportamiento mecánico del prototipo sin mallado tradicional, lo que permite una simulación más rápida y eficiente, como lo menciona el estudio de Quinchuela-Paucar (2021).

Como se muestra en la Figura 29, el procedimiento se inicia con la apertura del programa Altair SimSolid, seleccionando la opción Import From *File* y cargando el archivo del chasis previamente exportado desde Inventor.

Figura 29

Importe de diseño realizado en Autodesk Inventor a Altair SimSolid.



Se asegura la compatibilidad entre el software de diseño (Autodesk Inventor) y la de simulación estructural (Altair SimSolid) al exportar el modelo en formato SSP (SimSolid

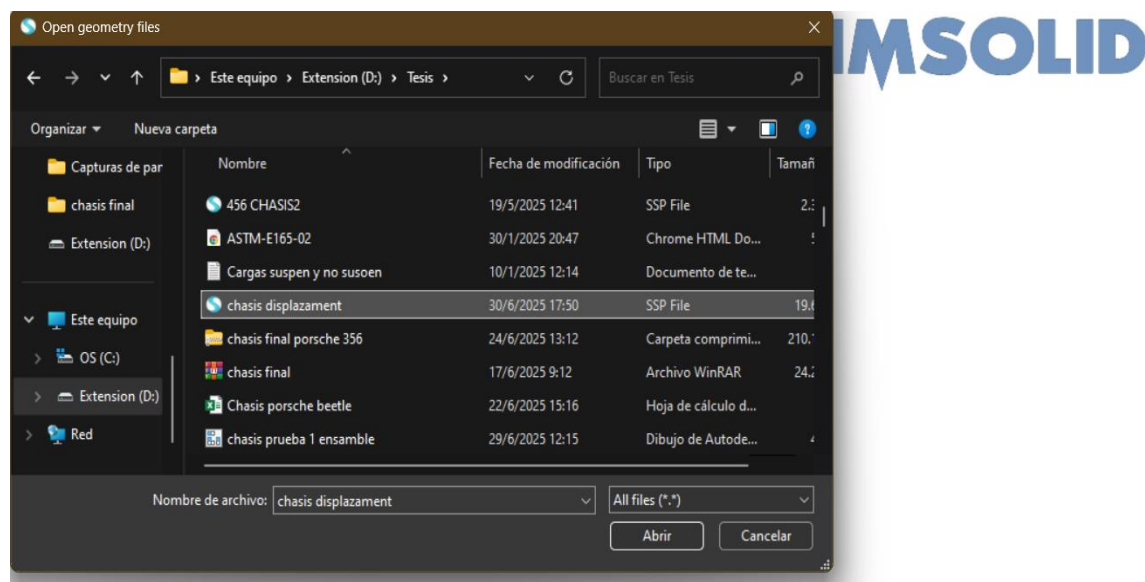
Project). Este formato estandarizado permite conservar con precisión las características geométricas del modelo, garantizando así una transferencia sin pérdida de información.

Este importe es directamente a SimSolid para así iniciar el análisis estructural bajo cargas estáticas, permitiendo de esta manera un análisis preciso del comportamiento mecánico ante las condiciones de carga reales.

Como se ilustra en la Figura 30, el procedimiento se realiza seleccionando la opción Import From File y cargando el archivo “chasis desplazament”, el cual fue guardado previamente en formato SSP.

Figura 30

Importe del modelado al software Altair Simsolid.



Configuración de materiales en SimSolid

Se seleccionó el acero 304 según lo demostrado en el estado del arte para el diseño del chasis, debido a sus características mecánicas y de resistencia. Además del criterio emitido por

(Vaca, Martínez & Leguísamo, 2020; Redalyc, 2018). A su vez se evaluó la disponibilidad del Acero 304 debido a que el acero cromoly debe ser importado.

Tabla 6

Propiedades del acero 304, propiedades mecánicas que servirán para la carga del material.

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	7900	kg/m ³
Módulo de Young (Elasticidad)	193	GPa
Límite elástico (Yield Strength)	215	MPa
Resistencia a tracción (UTS)	505	MPa
Relación de Poisson (ν)	0.29	Adimensional
Módulo de corte (G)	86	GPa
Alargamiento a la rotura	70	%
Dureza Brinell (HB)	123	HB

Carga de los materiales

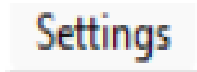
- **Acero inox 304**

En la biblioteca de Simsolid no está disponible el acero 304 como material, por lo que se tuvo que ser creado de la siguiente manera:

- 1. Ir a la pestaña Settings**

Figura 31

En la barra superior del programa, se debe hacer clic en el menú “Settings”.

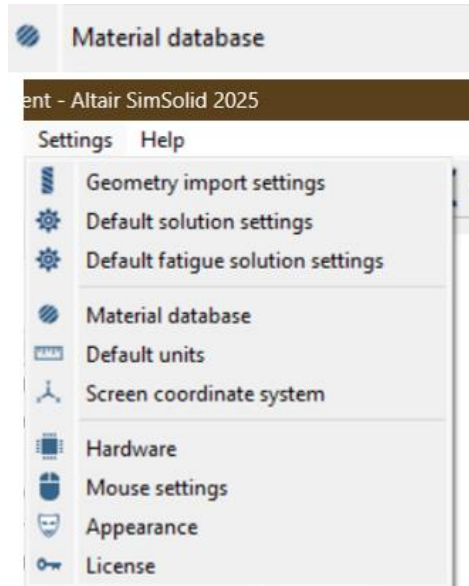


- 2. Material Database**

En el menú desplegable, se debe seleccionar la opción Material database, como se muestra resaltado en la Figura 32.

Figura 32

Selección de la opción Material database.

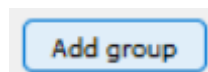


3. Add group

Una vez seleccionado, se presiona el botón “Add group”, como se muestra en la figura 33, la cual abrirá una nueva ventana con las propiedades técnicas del material.

Figura 33

Botón Edit “Add group”.

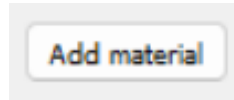


4. Add Material

Luego se procede a cargar las propiedades en base al acero 304, añadiendo el material en el botón “Add material”.

Figura 34

Botón “Add material”.



En esta opción se puede editar:

- Módulo de elasticidad (E)
- Coeficiente de Poisson (ν)
- Densidad (ρ)
- Límite elástico
- Resistencia última
- Conductividad térmica, entre otros parámetros

5. Carga del material

Se basa en sus propiedades y es recomendable asignar un nuevo nombre al material editado para evitar su confusión con el original, en este caso se asignó como “Inox 304” como se observa en la figura 35.

Figura 35

Creación del material y carga del mismo.

The image shows a software interface for defining material properties. At the top, the 'Material name' is 'inox 304'. Below it, 'System of units' is set to 'SI' and 'Material type' is 'isotropic'. The main section is a table of properties with columns for 'Property', 'Value', and 'Units'. The properties are categorized into Mechanical, Fatigue, and Thermal properties. At the bottom, there are buttons for 'Edit material', 'Cancel edit', and 'Apply'.

Property	Value	Units
▼ Mechanical properties		
▼ Elasticity modulus	1.9300000000e+05	[MPa]
Add stress-strain curve...		
Add elasticity modulus-temperature curve...		
▼ Poisson's ratio	2.9000000000e-01	[dimensionless]
Add poisson's ratio-temperature curve...		
▼ Density	7.9300000000e+03	[kg/m^3]
Add density-temperature curve...		
Ultimate tensile stress	5.0469621240e+02	[MPa]
Tensile yield stress	2.0500000000e+02	[MPa]
Compressive yield stress	2.0500000000e+02	[MPa]
Default failure criterion	Von Mises Stress	
▼ Thermal expansion coefficient	1.7200000000e-06	[1/(degree C)]
Add thermal expansion-temperature curve...		
> Fatigue properties		
▼ Thermal properties		
▼ Thermal conductivity	1.6200000000e+01	[W/(m*K)]
Add thermal conductivity-temperature curve...		
▼ Specific heat capacity	5.0000000000e+02	[J/(kg*K)]
Add specific heat capacity-temperature curve...		

6. Aplicar el Material

Al hacer clic en "Apply", el material editado (Acero Inoxidable 304) se le asignará a la pieza o componente seleccionado.

La aplicación permite verificar cómo afectarán las propiedades del material en la simulación. El botón "apply se refleja en la figura 36.

Figura 36

Botón apply



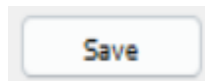
7. Guardar el Material

Después de ser aplicado el material y confirmar que se asignó correctamente a las piezas, se debe presionar "Save" para guardar el material en la base de datos de Altair SimSolid.

Asegurando que el material esté disponible.

Figura 37

Botón "save" para guardar el material.



- **AISI 4130**

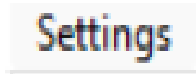
Debido a la falta de regulación sobre las propiedades del acero en aquella época de fabricación, se optó por el acero AISI 4130 como referencia en la simulación, ya que presenta sus características muy similares al material original, especialmente por su bajo contenido de carbono y buena resistencia estructural. Para ello el material no se encontraba en la biblioteca así que se procedió a crearlo.

1. Ir a la pestaña Settings

En la barra superior del programa, se debe hacer clic en el menú "Settings".

Figura 38

Botón “Settings”

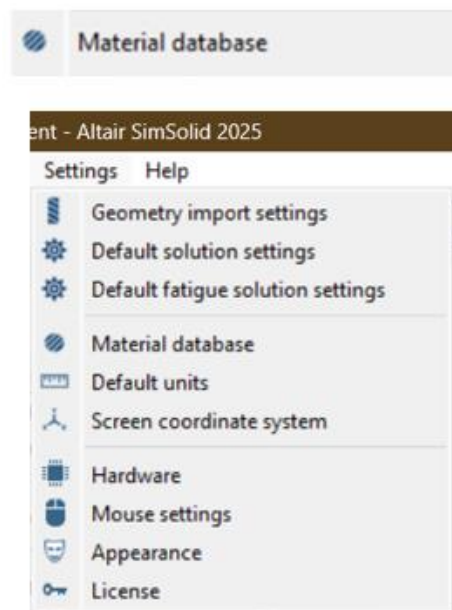


2. Material Database

En el menú desplegable, se debe seleccionar la opción “Material database”, como se muestra en la Figura 39.

Figura 39

Selección de la opción “Material database”.

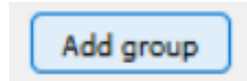


3. Add group

Debido a que en la lista no se encuentra el material a emplear se crea un grupo en el cual se puede cargar o añadir el material, en este caso el acero AISI 4130.

Figura 40

Botón “Add group”.

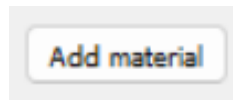


4. Add Material

Luego se procede a cargar las propiedades en base al acero AISI 4130, añadiendo el material en el botón “Add material”.

Figura 41

Botón “Add material”.



5. Carga del material

Se basa en sus propiedades y es recomendable asignar un nuevo nombre al material editado para evitar su confusión con el original, en este caso se asignó como “AISI 4130”.

Tabla 7

Propiedades del material AISI 4130.

Propiedad	Valor
Resistencia a tracción, máxima (UTS)	1100 MPa
Límite elástico (Yield strength)	≈ 951 MPa
Módulo de elasticidad (Young's modulus)	205 GPa
Módulo de corte (Shear modulus)	80 GPa
Coefficiente de Poisson	0.29
Densidad	7.85 g/cm ³
Conductividad térmica	42.7 W/(m·K)
Capacidad calorífica específica	470 J/(kg·K)

Fuente: (MatWeb, s. f.)

Figura 42

Carga del material en base a las propiedades del AISI 4130 tratado térmicamente.

Material name

AISI 4130

System of units

SI

Material type

isotropic

Property	Value	Units
▼ Mechanical properties		
▼ Elasticity modulus	2.0500000000e+05	[MPa]
Add stress-strain curve...		
Add elasticity modulus-temperature curve...		
▼ Poisson's ratio	2.9000000000e-01	[dimensionless]
Add poisson's ratio-temperature curve...		
▼ Density	7.8500000000e+03	[kg/m^3]
Add density-temperature curve...		
Ultimate tensile stress	1.1000000000e+03	[MPa]
Tensile yield stress	9.3000000000e+02	[MPa]
Compressive yield stress	9.3000000000e+02	[MPa]
Default failure criterion	Von Mises Stress	
▼ Thermal expansion coefficient	1.2000000000e-05	[1/(degree C)]
Add thermal expansion-temperature curve...		
> Fatigue properties		
▼ Thermal properties		
▼ Thermal conductivity	4.2700000000e+01	[W/(m*K)]
Add thermal conductivity-temperature curve...		
▼ Specific heat capacity	4.7000000000e+02	[J/(kg*K)]
Add specific heat capacity-temperature curve...		

Edit material

Cancel edit

Apply

6. Aplicar el Material

Al hacer clic en "Apply", el material editado (Acero AISI 4130) se le asigno a la pieza o el componente seleccionado.

Figura 43

Opción “Apply”

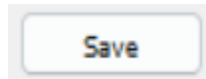


7. Guardar el Material

Después de ser aplicado el material y confirmar que se asignó correctamente a las piezas, se debe presionar "Save" para guardar el material en la base de datos de Altair SimSolid. Asegurando que el material esté disponible.

Figura 44

Botón “save” para guardar el material.



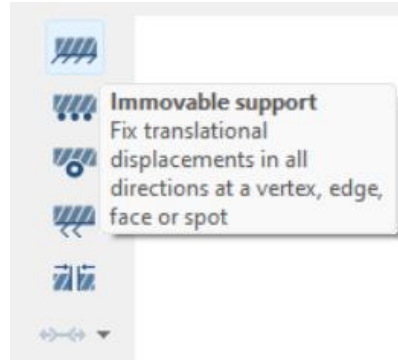
Definición de Puntos de Soporte Fijos en el Diseño del Chasis

El análisis estructural del chasis, utilizando SimSolid, implica la definición de puntos de soporte fijos para simular cómo se comportaría la estructura bajo diversas cargas, incluidas las fuerzas de deformación que se generan durante la operación del vehículo. Esta simulación permitió observar cómo se transmiten las fuerzas a lo largo del chasis, ayudando a identificar regiones de máxima deformación y puntos críticos que podrían comprometer la integridad estructural.

La colocación estratégica de estos puntos de soporte fijo es clave para encontrar un equilibrio entre la rigidez suficiente y la ligereza del chasis, un factor esencial para mejorar tanto el rendimiento estructural como la eficiencia del vehículo. La simulación mostró que, al aplicar restricciones en estos puntos específicos, se puede controlar el comportamiento del chasis bajo las cargas dinámicas y estáticas a las que se somete durante la operación.

Figura 45

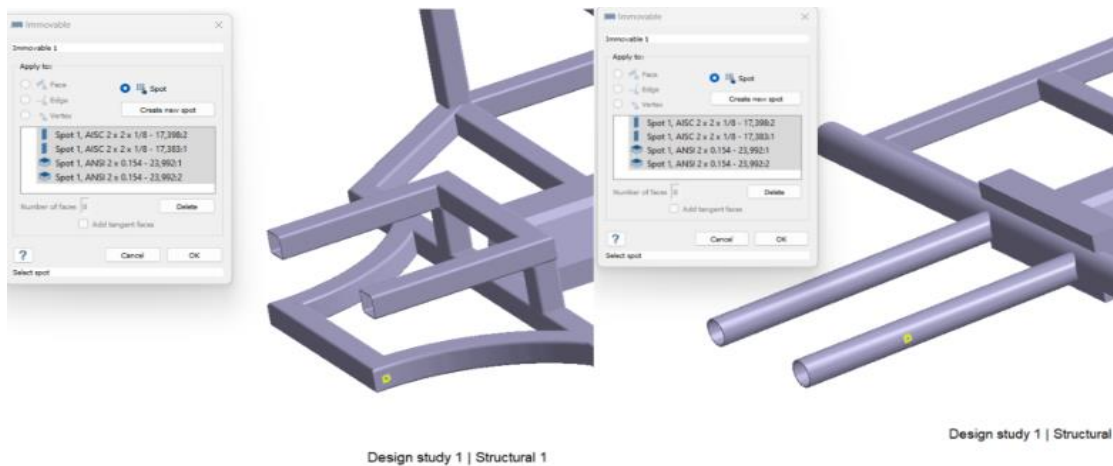
Puntos de soportes fijos



En la figura 46 se observa los puntos de soporte fijo ubicados la parte delantera y trasera donde se encuentran ubicados los puntos de ejes mediante spot.

Figura 46

Soportes fijos (spot) para su posterior carga de fuerza/desplazamiento.



En el diseño del chasis, se identificaron y seleccionaron ubicaciones para los soportes fijos, que tienen como objetivo proporcionar el equilibrio y la rigidez necesarios para evitar deformaciones excesivas. Por ejemplo, las costillas fueron colocados en puntos estratégicos para

evitar deformaciones por peso en el piso estructural, de manera que se pudieran aliviar adecuadamente las fuerzas y asegurar la operatividad y eficiencia del ensamblaje del sistema.

La disposición adecuada de estos puntos de soporte no solo previene deformaciones críticas, sino que también mejora el rendimiento estructural del diseño, asegurando que el chasis soporte las cargas operativas mientras mantiene la estabilidad y seguridad de la estructura durante su vida útil.

Cargas Estáticas aplicadas al Chasis

El modelo se configuró para evaluar la resistencia estructural de cada región y realizar las modificaciones de diseño necesarias para optimizar el rendimiento. Este proceso de simulación permite hacer ajustes antes de que las cargas específicas sean incorporadas en la evaluación final del chasis, asegurando que la estructura sea capaz de soportar las condiciones operativas de manera eficiente y segura.

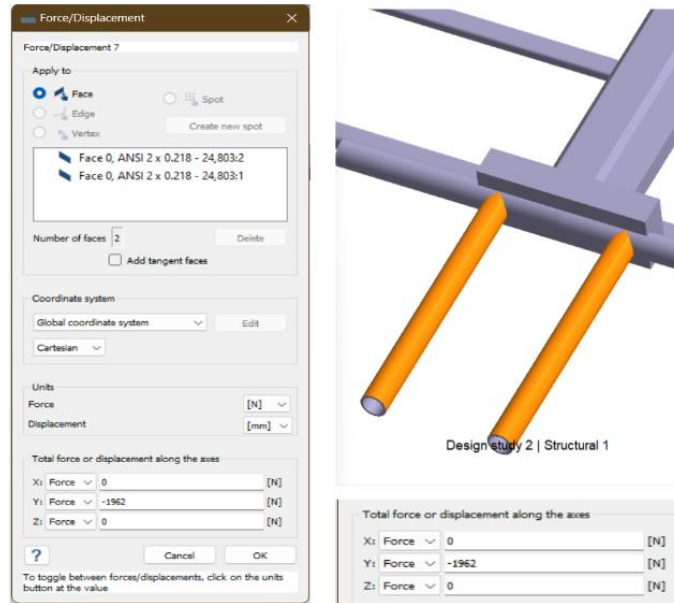
Configuración a cargas: motor

El aplicar en la estructura una fuerza real de 1962 N, puesto que la misma es el peso real de la caja de cambios, la cual está aplicada en el eje Y conocido como positivo. Este valor representará una carga vertical simulando condiciones como peso de componentes superiores.

La simulación evaluará el comportamiento estructural frente a cargas perpendiculares en las superficies seleccionadas tomando en cuenta un valor real conocido.

Figura 47

Carga en el software del valor real en cuanto a motor.

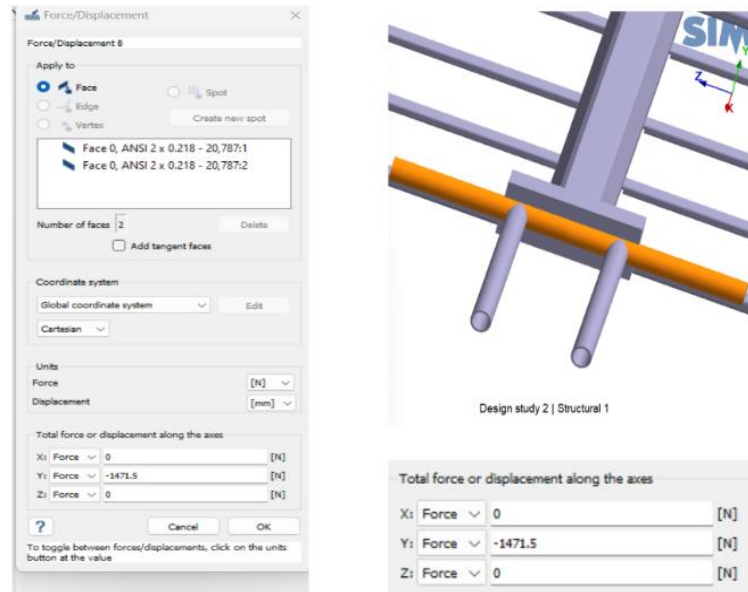


Configuración a cargas: caja de cambios

Se procede a aplicar una carga vertical de 1471.5 N sobre el soporte tubular del chasis, representando así el peso real de la caja de cambios del vehículo. Esta fuerza es considerada como una carga suspendida, por ende, permite replicar las condiciones reales que afectan a la estructura durante la operación. En el análisis se busca evaluar cómo esta carga influye en la distribución de esfuerzos y en la respuesta estructural del chasis, utilizando un valor realista lo que asegura mayor precisión en el estudio del comportamiento mecánico.

Figura 48

Carga en el software del valor real en cuanto a caja de cambios.

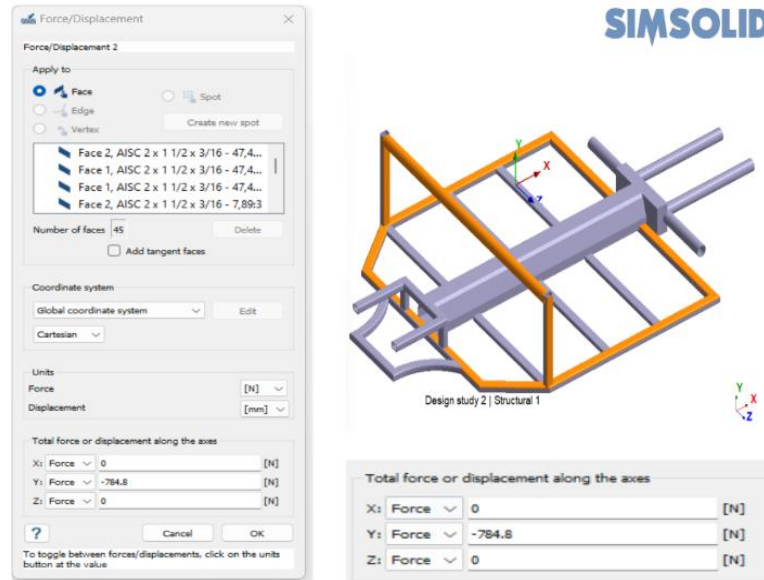


Configuración a cargas: Carrocería + Puertas

Se aplicó una carga total de 784.8 N sobre el chasis, correspondiente al peso combinado entre puertas y carrocería el cual se va tomo en cuenta su elaboración de fibra de vidrio (80 kg). La carga fue distribuida en múltiples caras laterales, simulando su efecto real de estos componentes sobre la estructura. La simulación permitió evaluar la rigidez del chasis validando su capacidad para resistir cargas suspendidas sin comprometer su integridad estructural.

Figura 49

Carga en el software del valor real en cuanto a Carrocería + Puertas.

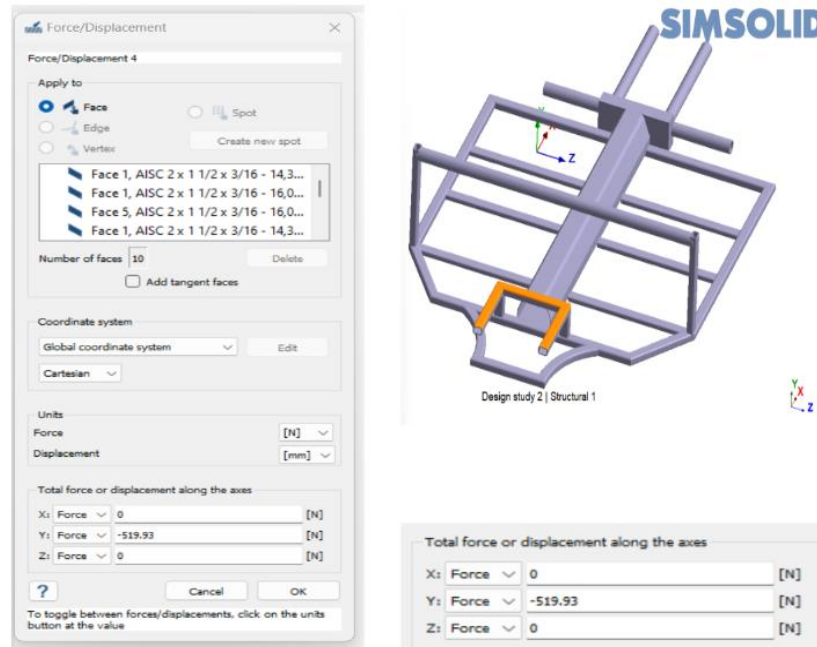


Configuración a cargas: Tanque de combustible (lleno)

En esta simulación se aplicó una carga vertical de 519.93 N, que representa el peso real del tanque de combustible lleno. La carga se coloca en la parte frontal del chasis, justo donde estaría ubicado este componente en el vehículo. El objetivo es observar cómo responde la estructura ante esta carga suspendida, asegurando que el diseño sea lo suficientemente resistente y seguro para soportar el peso sin deformaciones críticas ni comprometer su funcionamiento. Esta evaluación es clave para validar que el chasis se comportará correctamente bajo condiciones reales de uso.

Figura 50

Carga en el software del valor real en cuanto a tanque de gasolina el cual se considera que este lleno.



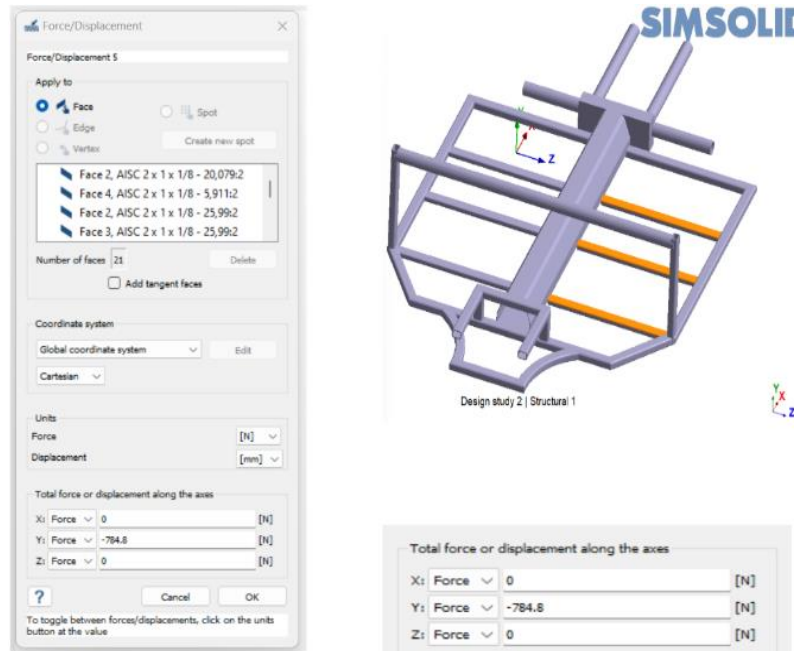
Configuración a cargas: Pasajeros lado izquierdo

Se aplicó una carga vertical de 784.8 N, que representa el peso promedio de un pasajero sentado en el lado izquierdo del vehículo. Esta fuerza fue distribuida en la zona donde iría instalada la base del asiento, en este caso en los costillares simulando una situación real de uso.

El objetivo es analizar cómo esta carga afecta la estructura del chasis, asegurando que el diseño pueda resistir el peso de una persona sin deformarse ni perder estabilidad. Este tipo de evaluación es clave para garantizar la seguridad y el buen desempeño del vehículo en condiciones normales de operación.

Figura 51

Carga en el software del valor real en cuanto a pasajeros lado izquierdo.

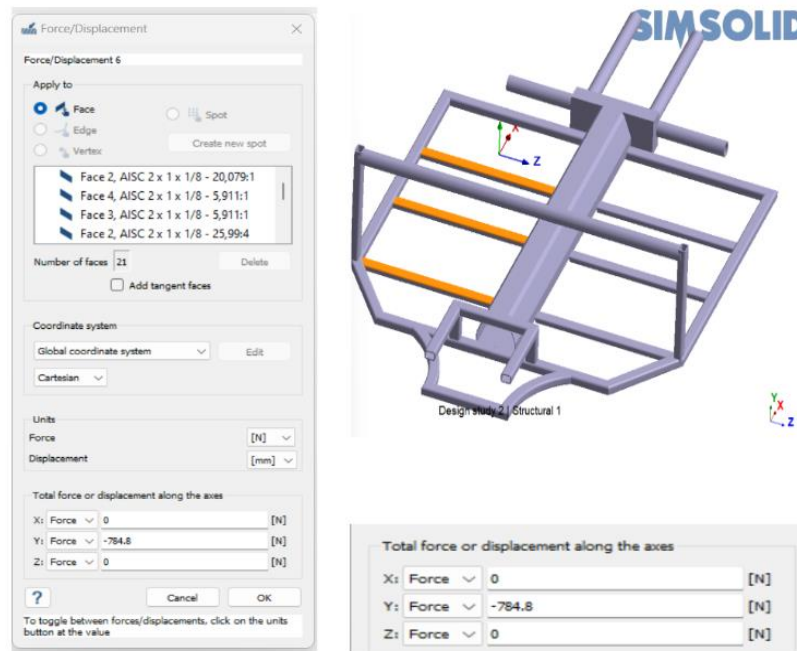


Configuración a cargas: Pasajeros lado derecho

En esta simulación fue aplicada una carga vertical de 784.8 N para representar el peso de un pasajero sentado en el lado derecho del vehículo. La fuerza se colocó sobre la estructura donde se montaría el asiento es decir en el lado contrario al costillar izquierdo. Este tipo de prueba permite verificar que la estructura puede soportar el peso de una persona durante el uso normal, sin generar deformaciones que afecten el equilibrio o la seguridad del vehículo en su conjunto.

Figura 52

Carga en el software del valor real en cuanto a Pasajeros lado derecho



Para ello se utilizará la herramienta “Pick Info” y posteriormente “Pick point” para poder observar el desplazamiento dicha zona, puesto que se considerará el peso real del componente, se los considera ya que permitirá tener una aproximación lo más cercana a la realidad y poder observar el valor real en ese punto, puesto que es donde se obtiene mayor esfuerzo por los mismos componentes.

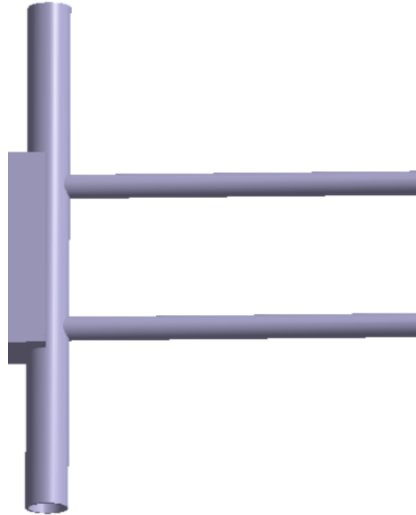
Análisis por cargas estáticas en SimSolid y Hypermesh en la estructura.

SimSolid

Para el siguiente análisis se tomó como punto de referencia a la parte trasera del chasis, específicamente en el par motor-caja de cambios, el cual presenta el mayor peso en cuanto a la estructura, ya que alberga esos componentes, se procede a ejecutar la simulación con ayuda de las herramientas en el panel de análisis lineal estructural de Simsolid.

Figura 53

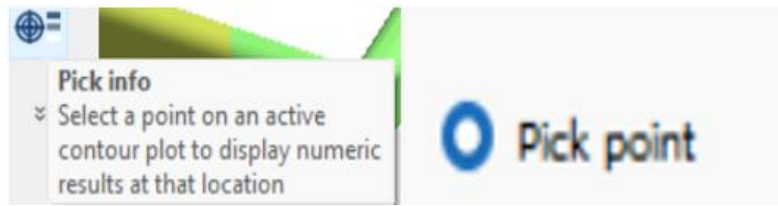
Elemento seleccionado para la realización de la simulación, donde se asienta la caja de cambios y motor.



Para ello se utilizará la herramienta “Pick Info” y posteriormente “Pick point” para poder observar el desplazamiento en dicha zona, puesto que se considerará el peso real del componente, el cual permitirá tener una aproximación más precisa a la realidad y poder observar el valor real en ese punto, puesto que es donde se obtiene mayor esfuerzo por los mismos componentes.

Figura 54

Herramientas para conocer el valor en determinado punto.



Evaluación estructural mediante Hypermesh

Hypermesh

Para iniciar con esta simulación se procede a hacer la misma carga de datos y de materiales con sus propiedades, esto servirá para obtener resultados similares entre los dos softwares de simulación y analizar si estos valores se encuentran dentro del rango admitido que permita corroborar el rediseño estructural.

Tabla 8

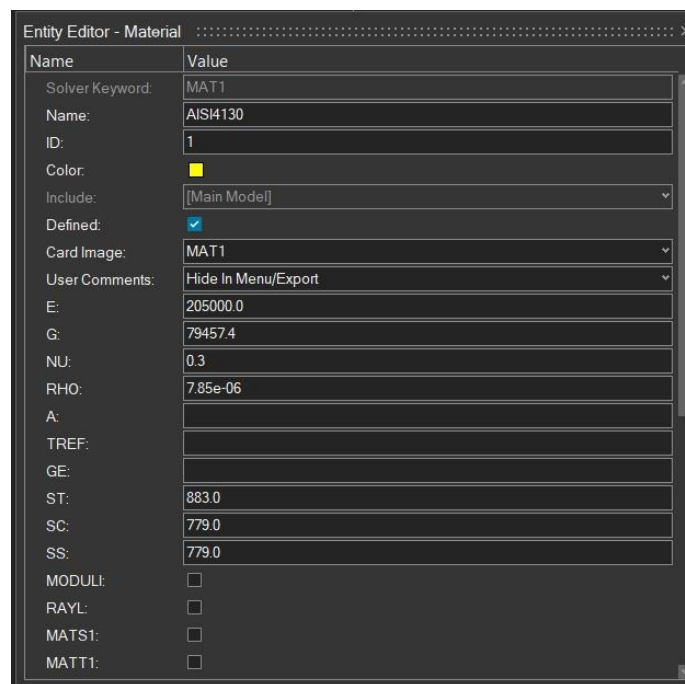
Conversión de unidades para la creación del material en hypermesh.

Propiedad	Valor original	Unidades originales	Valor convertido	Unidades HyperMesh
Módulo de elasticidad (E)	205 GPa	MPa	205 000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson (ν)	0.29	adimensional	0.29	-
Densidad (ρ)	7.85 g/cm ³	kg/m ³	7.85 × 10⁻⁶	kg/mm ³
Resistencia a tracción (UTS)	883 MPa	MPa	883	N/mm ²

Límite elástico (Tensile Yield)	779 MPa	MPa	779	N/mm ²
Límite compresivo	779 MPa	MPa	779	N/mm ²

Figura 55

Carga de material en Hypermesh, acero AISI 4130.



Posteriormente se importa el modelo 3D de la estructura que soporta los componentes antes mencionados, mediante los comandos “import”, una vez que el modelo se haya generado correctamente se empieza a trabajar con los comandos de la pestaña “3D” en este apartado se genera la malla a partir del solido que se importó previamente. En este caso se utilizará malla

cuadrada con tamaño de 10 mm ya que este es ideal para el análisis estructural, cuadrada ya que se quiere conocer la deformación de la estructura.

Figura 56

Creación de malla en hypermesh.

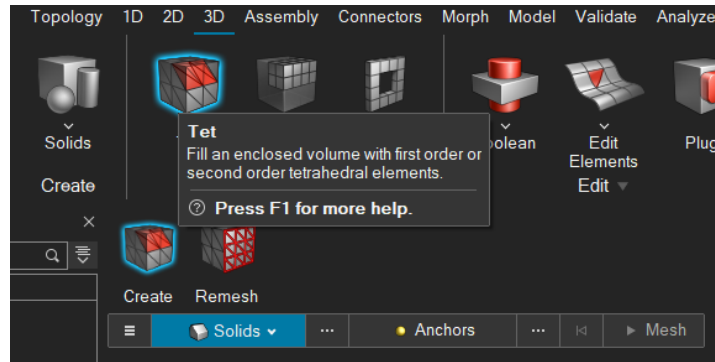
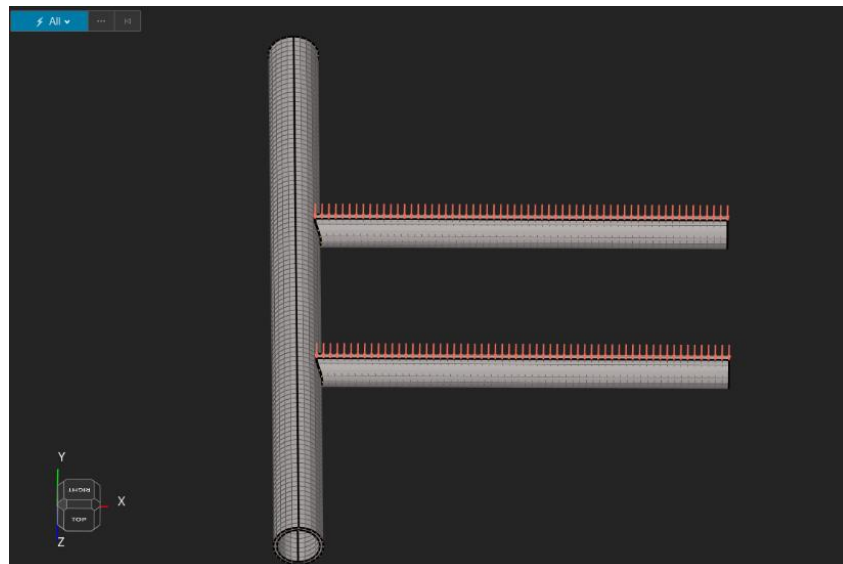


Figura 57

Importe de la geometría, como archivo fem.

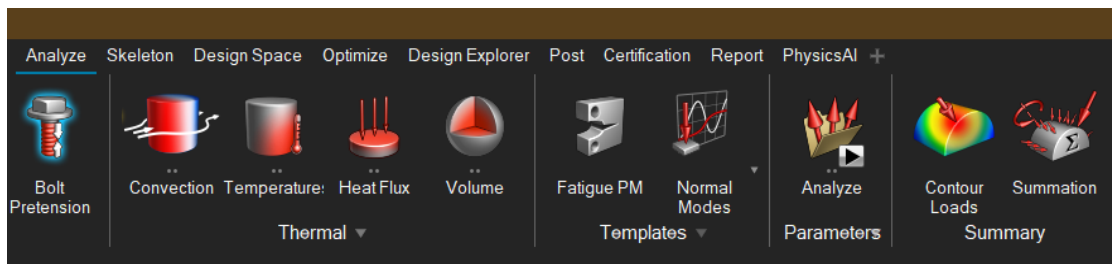


Una vez importada la geometría y verificado que la estructura se muestra correctamente en el entorno de trabajo, se ejecuta el análisis mediante el botón “Analyze”. Este comando es el encargado de procesar todas las condiciones previamente mencionadas: cargas, restricciones, materiales y malla, de esta manera genera una simulación estática inicial del modelo, para este estudio se utilizó malla cuadrada y de tamaño 10mm.

Al ser activado, el software realiza una verificación rápida para asegurarse de que las cargas estén aplicadas, existiendo las restricciones necesarias y que la malla sea válida. Posteriormente calculará las deformaciones, tensiones y desplazamientos resultantes lo cual se busca en esta comparación.

Figura 58

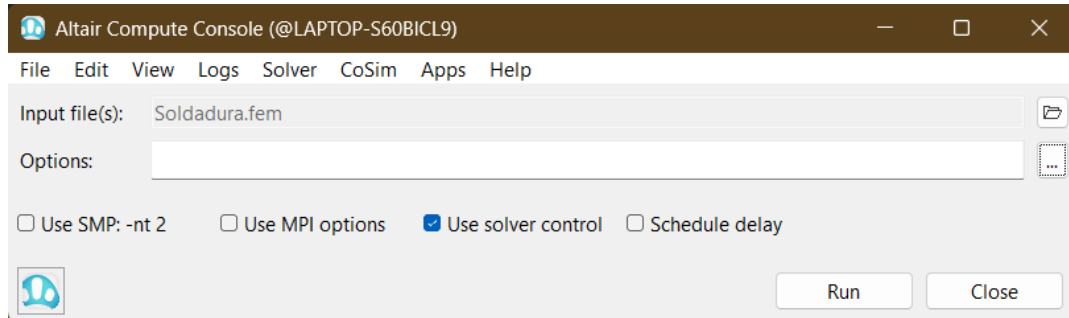
Pestaña de comandos en la cual se encuentra el apartado de “analyze”.



Al ejecutar la simulación se nos refleja una pestaña en la cual se encontró el botón “Run” el cual ejecutara el solver. Esto servirá para que el software realice los cálculos del análisis estático y produce los resultados de deformación, esfuerzos y desplazamientos. En otras palabras: “Analyze” prepara el paquete, y “Run” se encarga de abrirlo y hacer todos los cálculos.

Figura 59

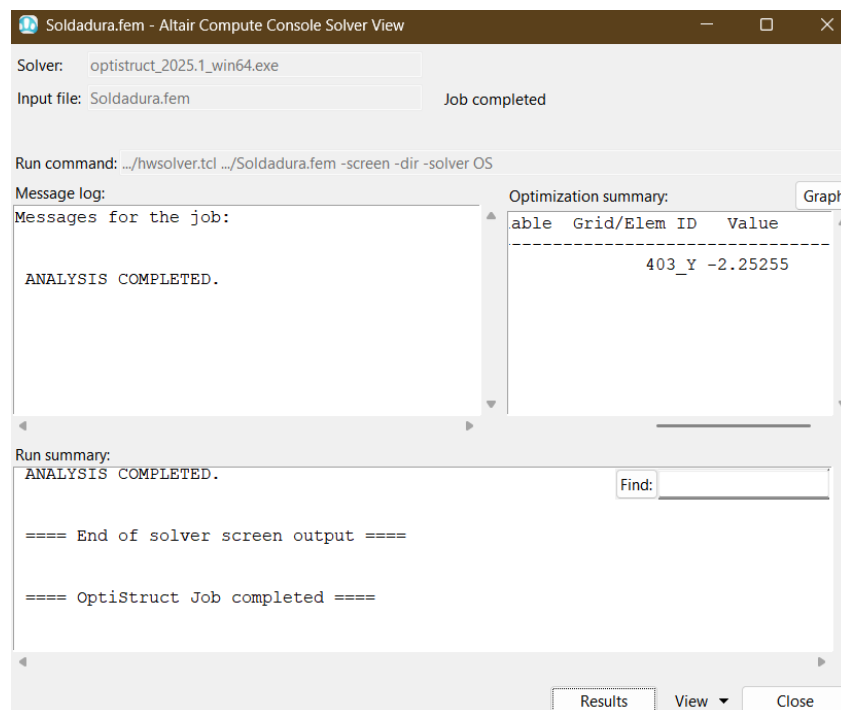
Ejecución de analyze y correr el solver.



En la siguiente pestaña se refleja el análisis y nos permite dar carga a los resultados, recalcar que se debe esperar a que el solver este completo para poder generar los resultados.

Figura 60

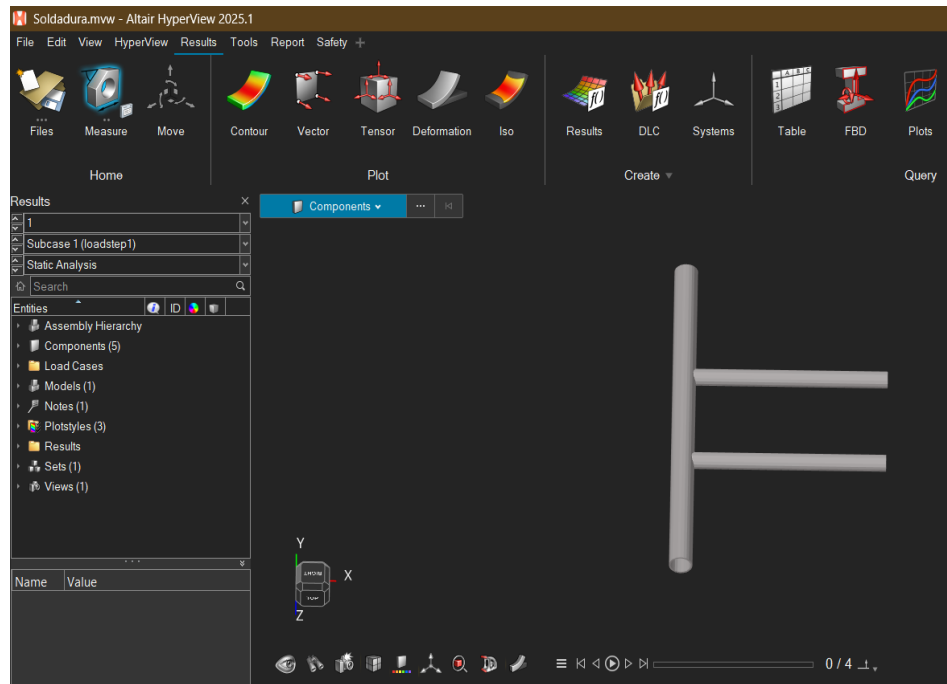
Inicio del solver y análisis completado.



Se refleja la estructura completa y con ello los resultados, para posteriormente generarse el análisis del elemento a estudiar.

Figura 61

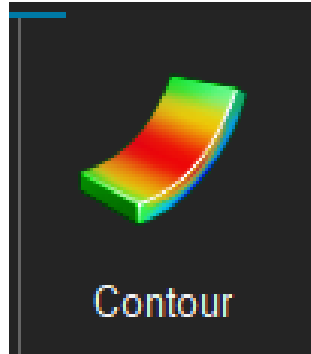
Previsualización de resultados de la estructura.



Para generarse el análisis completo se debe encontrar el botón “contour” el cual permitirá generar el análisis de desplazamiento.

Figura 62

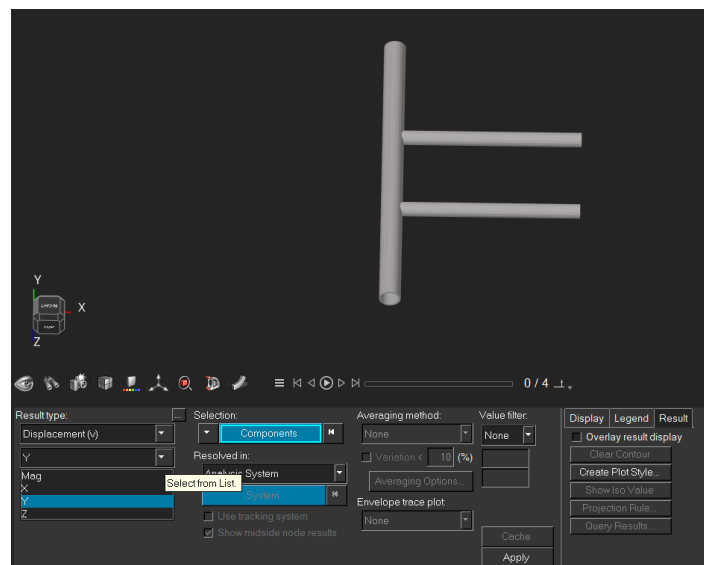
Opción “contour” para desplegarse la visualización y el inicio del análisis.



Se refleja el resultado y la estructura base a analizar, donde se señalará el tipo de desplazamiento en “Y”, por ende, negativas, ya que el tipo de fuerza aplicado es al eje y, por lo cual, el análisis se aplica de esta forma.

Figura 63

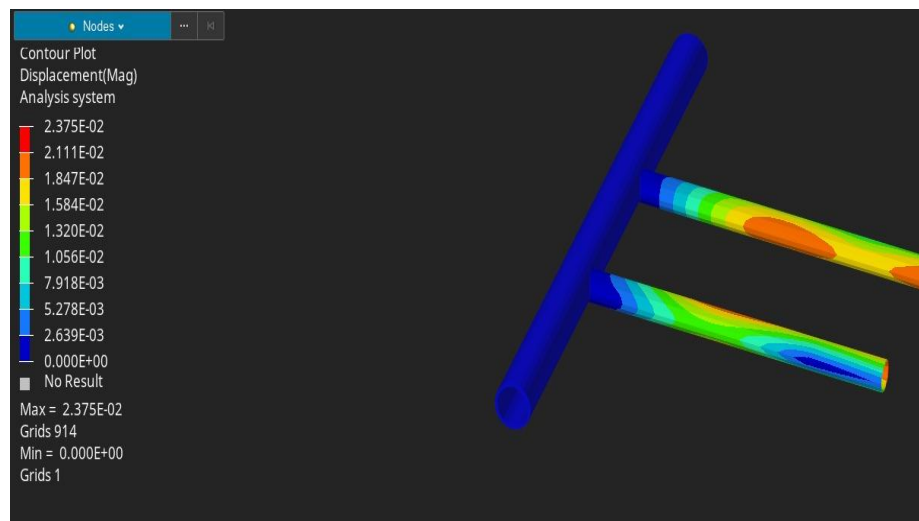
Carga de fuerzas en eje “Y” para conocer su desplazamiento.



Se obtiene el resultado, el cual es favorable y su sistema de análisis en base a las cargas, mallado correcto y tamaño del mismo, lo cual servirá para hacer la comparación real en cuanto a los datos obtenidos. Teniendo un valor de desplazamiento en y de: $2.103E-02$

Figura 64

Visualización del mapa de calor y valores obtenidos en la estructura.



Análisis de la posible adaptación estructural

Estado inicial y preparación del chasis

En el conjunto se pueden observar signos visibles de óxido superficial y acumulación de suciedad, por ello se lo considera el punto de partida para el proceso de la adaptación estructural. Se observa una configuración base típica del Volkswagen Beetle, la cual se utilizará como plataforma para recibir la carrocería del Porsche 356.

En la figura 65 se puede observar el chasis completo del Beetle en su estado original, incluyendo componentes clave como: túnel central, ejes y su transmisión. Este chasis será el

punto de partida para la adaptación brevemente descrita. Esta etapa es esencial para detectar daños ocultos, remover corrosión, y asegurar una superficie libre de contaminantes antes de cualquier intervención estructural.

Figura 65

Estado inicial del chasis Volkswagen Beetle.



Modificación estructural del túnel central para el rediseño del bastidor

Dentro del proceso de adaptación de la carrocería del Porsche 356 en estudio el modelo “Pre-A” al chasis del Volkswagen Beetle conocido también como “Tipo 1”, se encontró la necesidad mediante la búsqueda bibliográfica el ajustar la longitud del bastidor para lograr su integración entre chasis-carrocería. Pese a que ambas plataformas comparten similitud en su diseño de motor trasero y a su vez la estructura autoportante con su túnel central, existen diferencias dimensionales que se deben corregir para garantizar su ensamble correcto.

El chasis del Volkswagen Beetle cuenta con una longitud aproximada de 2 400 mm, en cambio la carrocería del Porsche 356, se adapta a una plataforma más corta, es decir, una longitud de bastidor cercana a los 2100 mm. Para ello, se realizó un corte de 30 cm que en pulgadas es 11,811, en su parte trasera del túnel, permitiendo de esta manera ajustar la longitud total a la medida requerida, sin alterar su altura ni mucho menos la geometría del túnel central.

Esta intervención permite que los puntos de anclaje no varíen, así como su voladizo trasero y se mantenga la estética y funcionalidad propias del modelo original.

Proceso de limpieza

Este primer paso es fundamental ya que garantizará una correcta adaptación estructural del chasis el cual se encuentra destinado a recibir una carrocería distinta, como es la del Porsche 356. Para ello se debe realizar una limpieza exhaustiva de la estructura base. En las siguientes imágenes se documenta este proceso, paso a paso, el cual resulta crucial no solo para eliminar impurezas, óxidos y contaminantes, sino que a su vez también permite obtener una mejor la calidad en las soldaduras, así como los tratamientos anticorrosivos a lo que será sometida y en gran parte mantener la integridad de la estructura.

Figura 66

Limpieza del chasis estudiado, bastidor de un Volkswagen Beetle como recurso complementario.



Nota: (1) Ardua limpieza del chasis para evitar corrosión y factibilidad en la suelda para la adaptación (2) Herramientas para la limpieza de chasis: Cepillo de alambre con adaptación a amoladora (3) Mediante la herramienta amoladora con ayuda de disco lija se pudo lograr la limpieza del bastidor, dándonos como resultados una superficie lisa y sin óxidos. (4) Aplicación de desoxidante en la superficie para eliminar el óxido, permitirá que la humedad y el oxígeno no actúe en el chasis, evitando la corrosión del acero. (5) Aplicación de fondo anticorrosivo, Evitando posible oxidación y deterioro.

Reforzamiento estructural del túnel

Luego de realizar el corte de 30 cm en el túnel central para la adaptación como parte del proceso de reducción de la longitud del chasis, limpieza profunda y aplicación de fondo anticorrosivo, se procedió a realizar un refuerzo mediante soldadura, con el fin de restituir la continuidad mecánica y la integridad del bastidor. Asegurando a la vez que el chasis mantenga la

rigidez necesaria para soportar las cargas antes mencionadas en la simulación, las cuales por alcance dentro del proyecto se llevaran a cabo en un futuro estudio.

Figura 67

Refuerzo estructural posterior al corte y limpieza.



Proceso de Ensamblaje

Construcción de travesaños de refuerzo

La construcción de refuerzo de travesaños es una de las tareas más importantes en la adaptación de un chasis, ya que estos elementos son como los pilares que soportan una carrocería. Se recurrió a un tubo de acero inoxidable con forma rectangular de 2x2, que da la posibilidad de incrementar la resistencia y la durabilidad según los resultados obtenidos en la simulación.

Las medidas del travesaño fueron vueltos a calcular en bases de las requisitas estructurales del diseño con los pasos siguientes:

- Travesaño completo: 1400 mm
- Segmento A: 1005 mm
- Segmento B: 350 mm

Debido a que el tubo parte a 0° , para obtener un doblez exacto hubo que hacer un corte tipo "v" que permite las inclinaciones necesarias. Como resultado se pudo hacer un giro total de 12° en el tubo. Este ángulo se repartió de la misma forma a los dos segmentos, resultando:

- Ángulo en segmento A: 6°
- Ángulo en segmento B: 6°

El travesaño final tuvo que ser incorporado como parte de la construcción del chasis configurado por la adaptación, aumentando así la rigidez y la estabilidad del vehículo para un alto rendimiento automotriz.

Figura 68

Implementación de los travesaños de refuerzo



Implementación de costillares

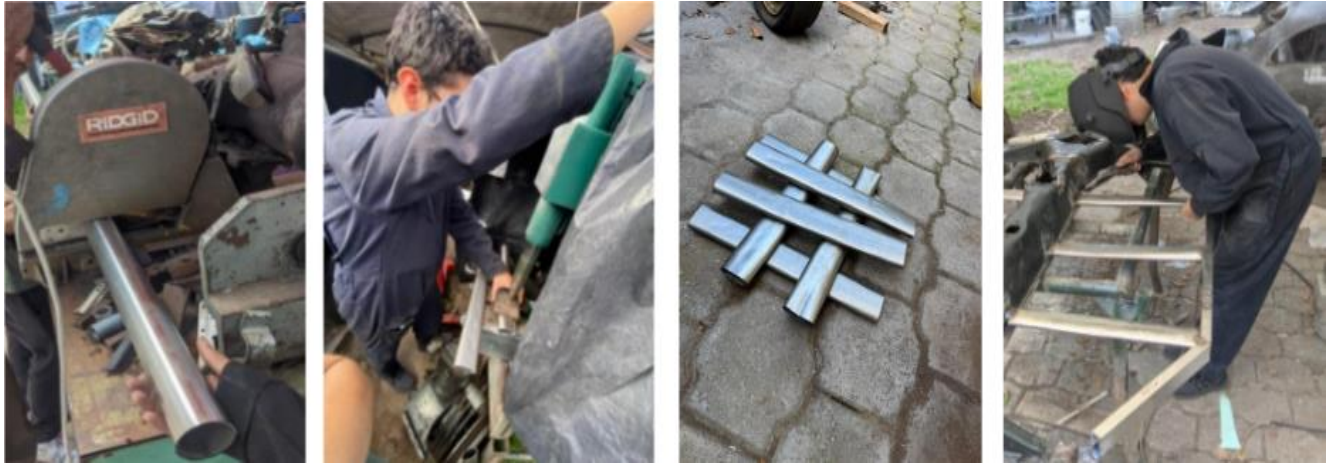
Una vez que se encuentra preparada la base estructural del chasis, se procedió a realizar su incorporación con costillares transversales, en la cual, su función principal es incrementar la rigidez del bastidor y proporcionar soporte adicional a los componentes interiores, como es de los pasajeros y demás componentes. Esta etapa es clave en el proceso de rediseño estructural, ya que sustituirá la debilidad que tiene el piso original del Beetle, adaptada a la estructura.

En su fabricación se utilizaron tubos redondos de acero inoxidable de 450 mm de longitud que fue el resultado obtenido del proceso de diseño, los cuales fueron sometidos a un proceso conocido como es el prensado. Lo cual consistía en aplanar dos superficies opuestas de cada tubo con una prensa hidráulica, generando una sección rectangular más estable y que sea compatible con la geometría del bastidor. Fueron elaboraron un total de seis costillares con dimensiones uniformes como se observa en la figura 46 para mantener la simetría estructural y facilitar el montaje.

Posterior al prensado de los tubos, fueron posicionados y soldados mediante puntos de suelda sobre el bastidor, también, se respeta un espaciado de 15 mm entre ellos. Esta separación se lleva a cabo en el nuevo diseño del piso y de esta manera se genera una mejor distribución de cargas internas, permitiendo una distribución homogénea en cuanto a peso y una mejor integración con otros elementos.

Figura 69

Implementación de 6 costillares en el chasis, 3 a cada lado.



Elaboración de pisos

Se llevó a cabo la fabricación del piso estructural con la función principal de base para el prototipo de chasis. Este proceso inició con la obtención precisa de las dimensiones, tomando como referencia los travesaños de refuerzo, los cuales fueron realizados en aluminio y adaptados a la geometría específica del chasis. Gracias a la medición detallada y al uso adecuado de herramientas de corte, se logró un ensamblaje preciso y una fijación segura de todos los componentes.

Uso de rebordeadora

Se empleó una rebordeadora para conformar la plancha de aluminio en la zona designada, con el objetivo de incrementar su rigidez estructural y resistencia mecánica. Esta operación resulta fundamental, ya que dicha área soportará el peso de los ocupantes y otros componentes críticos, por lo que es esencial garantizar su integridad y capacidad de carga.

Figura 70

Proceso de rebordeado y conformado de la plancha de aluminio, asegurando mayor rigidez y soporte en la estructura del chasis.



Puntos de acople para pisos

Se implementaron puntos de acoplamiento para el piso, uno por cada lateral, con dimensiones de 4 cm, conformados en forma de “L” (2 cm por lado) para permitir la fijación en ambas caras por igual.

Proporcionando soporte tanto al chasis como al piso, con ayuda de los puntos de acoplamiento que fueron ubicados estratégicamente, se procedió a la instalación de los apoyos mediante remaches distribuidos alrededor de la estructura, asegurando así una correcta unión, siendo confiable para la estructura.

Figura 71

Puntos de acoplamiento en los laterales, los cuales serán fijados con remaches para garantizar una unión segura entre el piso y el chasis.



Fijación y acoplamiento de pisos

Una vez realizados los puntos de acoplamiento, se procedió a la fijación utilizando remaches en las ubicaciones previamente definidas en el chasis. Se aplicó un sellador más conocido como Sikaflex sobre las uniones luego de acoplar la estructura, es decir en el posible espacio de filtración. El uso de Sikaflex es fundamental en este tipo de aplicaciones, ya que proporcionará una barrera hermética previniendo posible filtración de agua, polvo y demás contaminantes hacia el interior del chasis.

Mediante la correcta aplicación de este sellador o silicona se evitará la formación de óxido y corrosión, lo cual también incrementará la durabilidad y la vida útil de la estructura. En sistemas de piso, la posible presencia de humedad puede comprometer la integridad del material.

Figura 72

Aplicación de remaches y el sellador Sikaflex en las uniones, asegurando la protección contra filtraciones y generando mayor durabilidad estructural.



Pruebas iniciales de adaptación del chasis con la carrocería del Porsche 356

Luego de haberse llevado a cabo las fases previas como fueron la limpieza, restauración y preparación estructural del chasis, se procede a la etapa del acoplamiento de la carrocería elaborada en fibra de vidrio del Porsche 356 modelo Pre-A sobre la plataforma del Volkswagen Beetle modificada. Este paso será sumamente importante dentro del desarrollo del proyecto, ya que es el encargado de determinar la compatibilidad física entre ambos conjuntos estructurales de los que se ha llevado hablando en todo el proceso, permitiendo que se asegure que el bastidor pueda recibir la carrocería de manera con ayuda de los pasos antes mencionados, entre ellos el rediseño CAD y la simulación estructural.

Durante el proceso de adaptación, fueron definidos los puntos de apoyo y de contacto directo entre la carrocería y el chasis. Entre ellos los principales puntos de acople se destacan:

- Travesaños laterales, que actuaran como canales de sujeción estructural donde apoya el borde inferior de la carrocería.
- El túnel central, que encaja en la estructura inferior de la carrocería y garantiza la alineación longitudinal del conjunto.
- La parte trasera del bastidor recibe la curvatura del suelo trasero del Porsche 356 y permite establecer un acople limpio en la zona del motor.

Se usaron cuerdas para obtener guías alineadas sobre el eje central del túnel, lo cual asegure que la carrocería se posicione simétricamente respecto al chasis. Su correcta alineación entre estos 2 elementos permitió verificar a su vez la ubicación final de los paneles de piso, aquellos deberán reposar firmemente sobre los costillares y anclarse de forma lateral a los travesaños.

Esta distribución aseguró que el piso estructural tenga una base sólida y sea compatible con la geometría de la carrocería, ayudando a mantener la rigidez estructural y facilitando su integración.

Figura 73

Posible logro de la adaptación de chasis con su carrocería.



Resultados

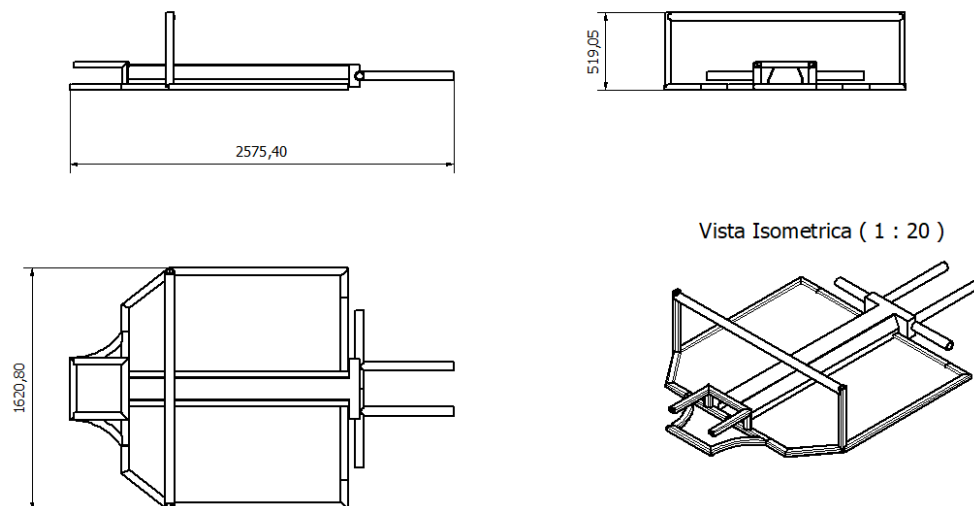
1. Caracterización del chasis original del Volkswagen Beetle

Se llevó a cabo un análisis dimensional del chasis del Volkswagen Beetle tipo 1, el cual sirvió como la base estructural para esta adaptación. Fueron identificadas las características geométricas generales, siendo estas, longitud total aproximada de 2600 mm, el ancho entre ejes y la disposición del túnel central, que actúa como el eje estructural principal del chasis estudiado.

También se registraron las propiedades del material base del chasis original, correspondiente a acero al carbono laminado. El análisis evidenció zonas críticas de deformaciones acumuladas en el piso estructural por lo cual se genera el rediseño en esta estructura alemana.

Figura 74

Obtención del plano isométrico escala 1:20 del Volkswagen Beetle.



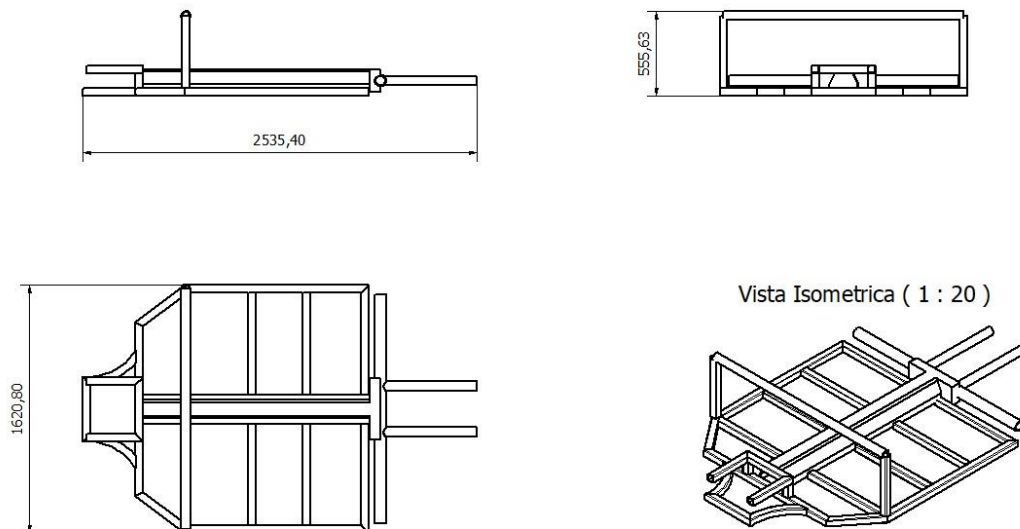
2. Rediseño estructural del chasis para la adaptación de la carrocería del Porsche 356

Teniendo como base las dimensiones y requerimientos estructurales del Porsche 356 modelo Pre-A, se desarrolló un modelo CAD completo del chasis, utilizando herramientas de diseño asistido por computadora. Este rediseño implicó su reducción de forma longitudinal con respecto al bastidor en 300 mm, así también la incorporación de elementos necesarios y analizados anteriormente, como fueron los costillares transversales y travesaños.

El modelado tridimensional permitió ajustar geometrías y asegurar la compatibilidad de forma dimensional con la carrocería. Se tomaron en cuenta parámetros funcionales como es la distribución de cargas suspendidas y sobre todo la alineación del túnel central. Este modelo sirvió de base directa para el siguiente paso, la simulación.

Figura 75

Rediseño de chasis para el Porsche 356, añadiendo costillares.



3. Identificación de cargas suspendidas y no suspendidas

Fueron aplicaron cargas reales de los componentes suspendidos, tales como el peso del tanque de combustible lleno (490.5 N), los pasajeros (784.8 N) cada uno, el motor (1962 N) y la caja de cambios o transmisión (1471.5 N).

Tabla 9

Identificación de cargas suspendidas y no suspendidas

Masa suspendida	Masa no suspendida
La masa suspendida es la que incluye a todas las partes del vehículo que están siendo soportadas por la suspensión. La masa suspendida es aquella que integra todos los elementos cuyo peso es soportado por el bastidor del vehículo	Es aquella que se compone por el peso de los componentes que no son soportados por la suspensión. Aquellas partes tienen contacto directo con el suelo y que reaccionan inmediatamente a las irregularidades del terreno.

Con esta información se decidió realizar un análisis estático enfocado a la masa suspendida debido al siguiente criterio. Según lo sugiere Tyan, H.S. et al. (2003).

Entre las cargas utilizadas fueron: carrocería, tanque de gasolina, pasajeros, motor y su caja de cambios. La información fue recopilada mediante catálogos automobíle catalogue TM de autos desde 1945.

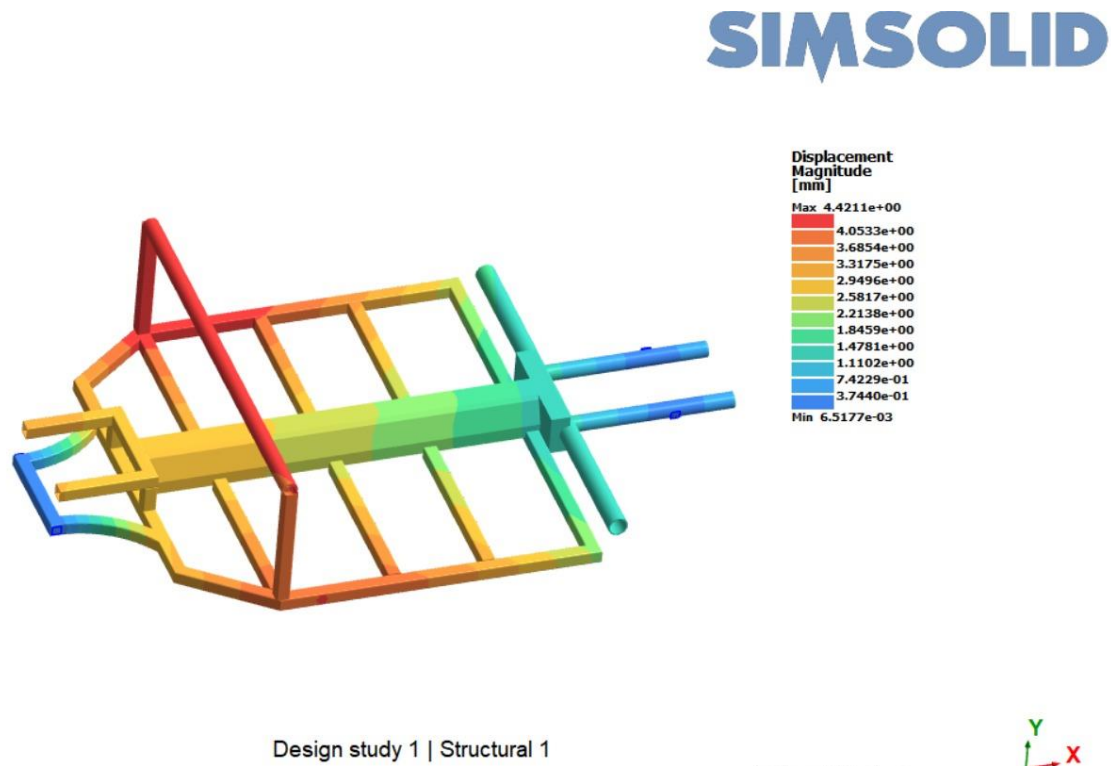
4. Simulación estructural bajo cargas estáticas en SimSolid y Hypermesh

Resultados de deformación obtenidos en Simsolid.

La imagen presenta el resultado de la simulación estructural global del chasis en SimSolid, donde se obtuvo un desplazamiento máximo aproximado de 4,42 mm, localizado en las zonas más alejadas de los puntos de restricción, principalmente en la región frontal y en los elementos superiores del chasis.

Figura 76

Simulación Global en SimSolid



Estos valores indican que el chasis presenta una respuesta estructural estable bajo las cargas aplicadas, manteniéndose dentro de un rango de deformación compatible con un comportamiento elástico, lo que permite evaluar de manera confiable la rigidez global del

conjunto en esta etapa de análisis preliminar. Se acepta un desplazamiento < 5 mm en componentes estructurales no críticos

En estructuras automotrices, es considerado aceptable un desplazamiento inferior a 5 mm en componentes estructurales no críticos (como bastidores o refuerzos intermedios), siempre y cuando no interfiera con partes móviles y no comprometa el ensamblaje de la carrocería. Este criterio es consistente con resultados técnicos de análisis similares, en los cuales se obtuvieron desplazamientos máximos de alrededor de 4.477 mm (Jat et al., 2015) y de aproximadamente 4.36 mm como promedio en diseño de bastidor (Sentano & Rahadjian, 2022).

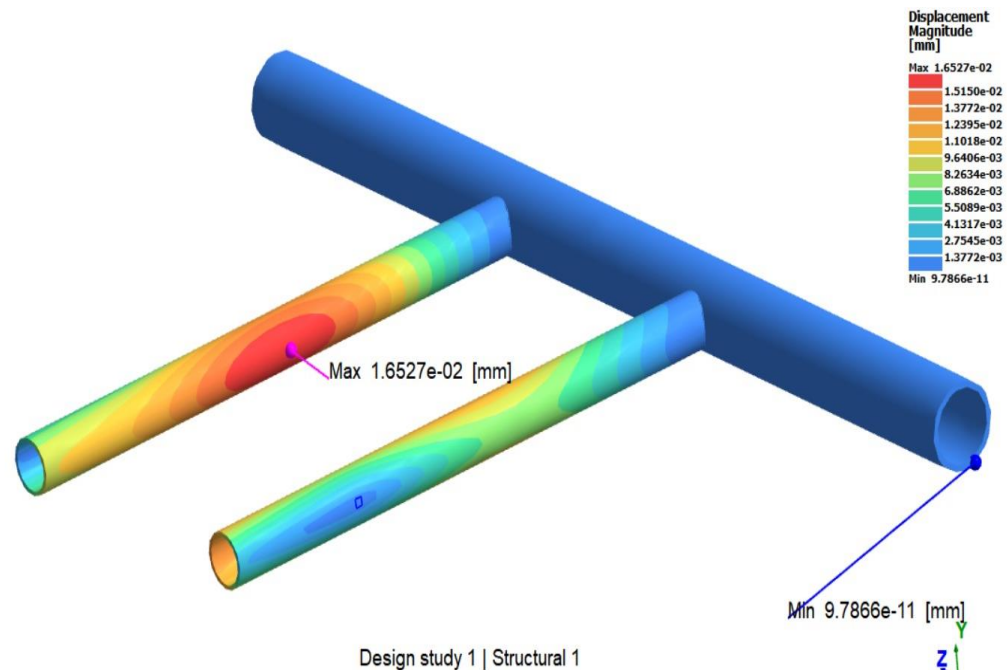
Posteriormente se realizó el despiece en la zona con mayor esfuerzo: conjunto motor-caja de cambios. En la cual se encontraron valores permisibles los cuales servirán para su posterior comparación de softwares en la misma zona.

Resultado de deformación en SimSolid-Despiece

El valor máximo obtenido de deformación fue de $1,652E-02$ mm mientras que el desplazamiento mínimo registrado alcanzó $9.7866E-11$. Estos resultados reflejan una tendencia similar a la observada en el análisis realizado en SimSolid. Especialmente en las zonas donde se concentran los esfuerzos generados por el conjunto motor-caja de cambios.”

Figura 77

Valor obtenido en la zona señalada correspondiente a la zona señalada (caja-motor).



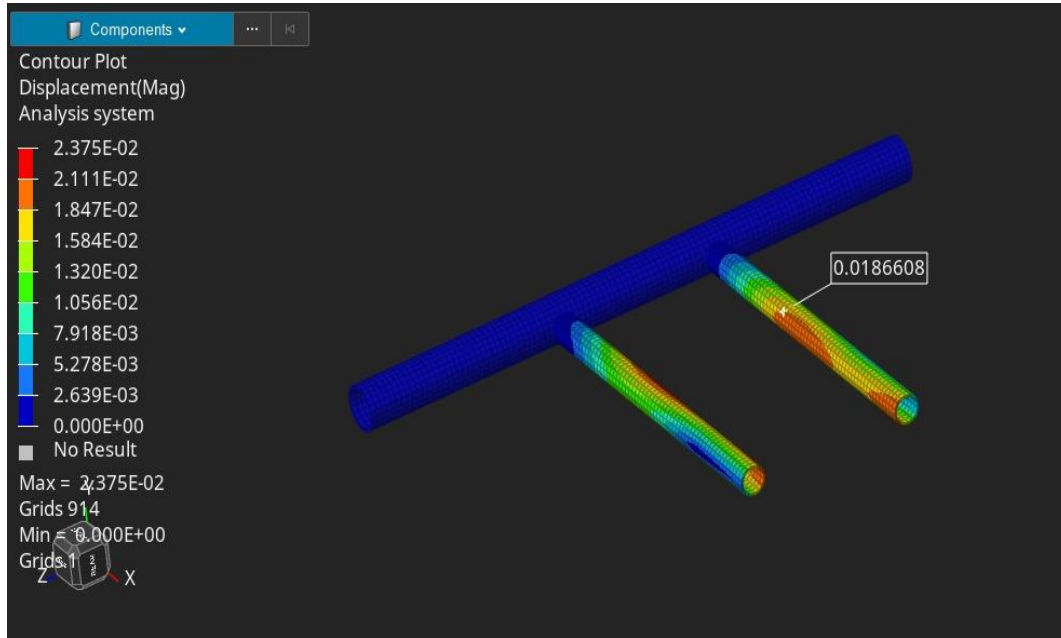
Resultados de deformación obtenidos en Hypermesh- Despiece

En el análisis realizado en HyperMesh se obtuvieron los valores de desplazamiento correspondientes al sistema ya sometido a las cargas definidas. La figura 78 muestra el resultado del desplazamiento representada mediante una escala de colores la cual permite identificar con claridad las zonas de mayor y menor desplazamiento.

El valor máximo obtenido de deformación fue de $2.375 \text{ E-}02 \text{ mm}$ mientras que el desplazamiento mínimo registrado $0.000 \text{ E+}00$. Se procedió a tomar el mismo punto de esfuerzo que en Simsolid el cual refleja un valor de $1.866 \text{ E-}02$ para tener concordancia entre los dos softwares y que el análisis sea puntual. Estos resultados reflejan una tendencia similar a la observada en el análisis realizado en SimSolid. Especialmente en las zonas donde se concentran los esfuerzos generados por el conjunto motor-caja de cambios.”

Figura 78

Resultados del desplazamiento y el análisis ya terminado con los valores y su gama de colores.



Escala de colores

La escala de colores empleada en los resultados del análisis permite representar de manera visual la magnitud del desplazamiento presente en la estructura. Esta escala se organiza de forma progresiva, desde los valores mínimos hasta los máximos, facilitando la identificación de las zonas con mayor y menor respuesta estructural frente a las cargas aplicadas.

Los colores de mayor intensidad, como el rojo, indican las regiones donde se presentan los desplazamientos máximos, correspondientes a las zonas más críticas del modelo. Los tonos cercanos, como el naranja, representan desplazamientos elevados, aunque ligeramente inferiores al valor máximo. Los colores intermedios, como el amarillo y el verde claro, señalan áreas con desplazamientos moderados y medio-bajos, reflejando un comportamiento estructural estable bajo las condiciones de carga analizadas.

Finalmente, los tonos fríos, como el verde intenso, cian y azul, corresponden a las zonas con desplazamientos bajos o muy bajos, incluyendo aquellas cercanas al valor mínimo. Estas regiones presentan una mínima sollicitación mecánica, indicando que el efecto de las cargas es reducido en dichas áreas. Esta escala de colores permite interpretar de forma clara y directa la distribución del desplazamiento en la estructura, contribuyendo a una evaluación precisa del comportamiento del modelo analizado.

Una vez finalizado el análisis en los 2 softwares y determinado los desplazamientos máximos se puede determinar mediante la fórmula de error porcentual si el rediseño esta correctamente diseñado.

El error porcentual sería el siguiente:

$$\textbf{Error porcentual} : \frac{E - T}{T} \times 100\%$$

$$\textbf{Error: } \frac{0.0165 - 0.0186}{0.0186} \times 100\%$$

$$\textbf{Error: } \frac{0.0021}{0.0186} \times 100\%$$

$$\textbf{Error: } 0,1129 \times 100\%$$

$$\% \textbf{ error: } 11.29 \%$$

De acuerdo con Ramos Guayllaguamán (2025), al comparar resultados de análisis por elementos finitos, errores dentro del rango de 10 % a 15 % se consideran aceptables para validar un modelo numérico estructural.

5. Posible acople estructural entre chasis y carrocería.

Se lograron las primeras pruebas iniciales de la carrocería del Porsche 356 sobre el chasis rediseñado, para este proceso, se verificó su correcta alineación longitudinal, su coincidencia en puntos de anclaje y el contacto que debe de tener entre la base de la carrocería y el chasis.

También, sirvió como eje de referencia el túnel central, mientras que a la vez los costillares fueron quienes distribuyen adecuadamente las cargas dentro del chasis, ya que son los puntos donde se apoyaran los futuros pasajeros.

Logrando así un posible acoplamiento acorde a lo esperado para dar inicio a las pruebas, lo que aseguró que este conjunto mantuviera la rigidez necesaria y la geometría adecuada para llevar a cabo la adaptación con ayuda de las herramientas antes mencionadas lo cual ayudara a predecir si es viable evitando posibles errores, evitando tiempos perdidos, material e incluso una fractura en la estructura al no tener un estudio previo.

Figura 79

Inicio de las pruebas iniciales de la adaptación



Fuente: (Jara,2024)

Figura 80

Pruebas iniciales adaptación.



Discusión de resultados

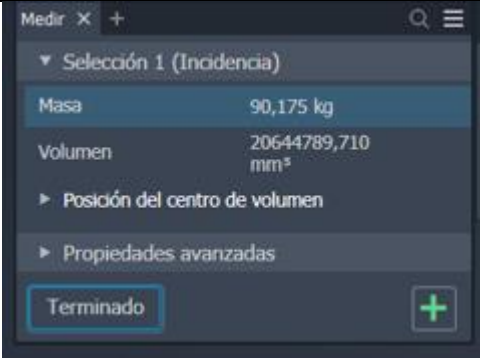
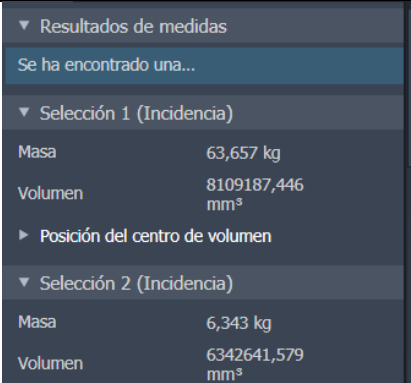
Rediseño

Durante el proceso de rediseño del chasis en CAD se vio la necesidad inicialmente de incrementar unos costillares transversales, 3 a cada lado, que fueron ubicados en el piso estructural debido a la disminución de 400 mm, lo cual provoco el retiro de la lámina original de 0.7 mm que hacía su vez de elemento estructural, durante el proceso de diseño y simulación se verifico que estos nuevos refuerzos sean adecuados. Se considero una mejor distribución de esfuerzos, frente a cargas generadas por el peso de los ocupantes, con un estimado de 80 kg por persona (equivalente a 784.8 N).

En la tabla 10 se muestran los valores en cuanto a pesos del chasis original Beetle frente a el rediseño estructural Porsche 356

Tabla 10

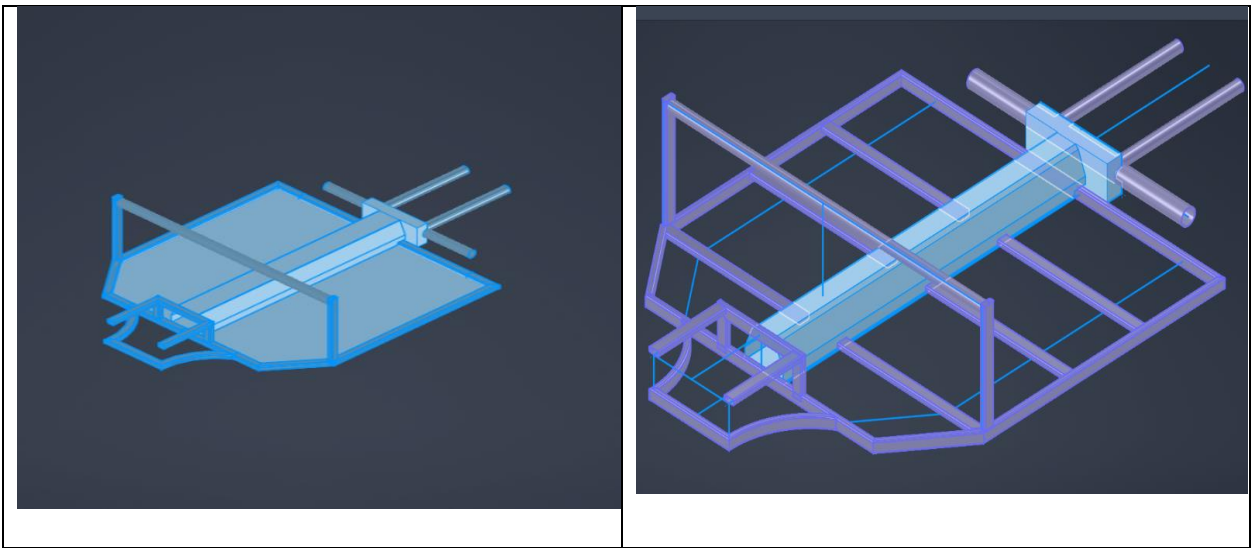
Diferencia de pesos del chasis original Beetle frente a el rediseño estructural Porsche 356

 Medir X + ▼ Selección 1 (Incidencia) <table><tr><td>Masa</td><td>90,175 kg</td></tr><tr><td>Volumen</td><td>20644789,710 mm³</td></tr></table> ► Posición del centro de volumen ► Propiedades avanzadas Terminado	Masa	90,175 kg	Volumen	20644789,710 mm³	 ▼ Resultados de medidas Se ha encontrado una... ▼ Selección 1 (Incidencia) <table><tr><td>Masa</td><td>63,657 kg</td></tr><tr><td>Volumen</td><td>8109187,446 mm³</td></tr></table> ► Posición del centro de volumen ▼ Selección 2 (Incidencia) <table><tr><td>Masa</td><td>6,343 kg</td></tr><tr><td>Volumen</td><td>6342641,579 mm³</td></tr></table>	Masa	63,657 kg	Volumen	8109187,446 mm³	Masa	6,343 kg	Volumen	6342641,579 mm³
Masa	90,175 kg												
Volumen	20644789,710 mm³												
Masa	63,657 kg												
Volumen	8109187,446 mm³												
Masa	6,343 kg												
Volumen	6342641,579 mm³												

En la tabla 10 se muestra el chasis original del Beetle frente a el rediseño estructural con los costillares ya añadidos.

Tabla 11

Diseño original Beetle y rediseño estructural Porsche 356.



Valores de las cargas suspendidas y no suspendidas que soporta el chasis a través de una revisión bibliográfica.

Para identificar los valores de las cargas suspendidas y no suspendidas, se generó la búsqueda que permitió conocer qué tipo de cargas serían las más recomendadas para este estudio, teniendo en cuenta que:

“La masa suspendida del Porsche 356 representa aproximadamente entre el 88 % y el 92 % del peso total del vehículo, mientras que la masa no suspendida corresponde al 8–12 %, valores que concuerdan con los rangos típicos reportados en la literatura de dinámica vehicular para automóviles deportivos ligeros de arquitectura clásica.

Tabla 12

Identificación de masas suspendidas en kg Transformadas a Newton.

Elemento	Masa (kg)	Fuerza (N)
Carrocería (fibra de vidrio + puertas)	80	784.8
Tanque de gasolina (lleno)	53	519.93
Pasajero izquierdo	80	784.8
Pasajero derecho	80	784.8
Motor	200	1.962
Caja de cambios	150	1471.5

$$m \text{ suspendida} = 784.8 + 519.93 + 784.8 + 784.8 + 1962 + 1471.5$$

$$m \text{ suspendida} \approx 6307.8 \text{ N}$$

Masa no suspendida

La definición de qué componentes pertenecen a la masa no suspendida proviene de textos clásicos de dinámica vehicular: Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics. Define la masa no suspendida como: Ruedas, neumáticos, frenos montados en rueda, maza (wheel hub), mangueta (steering knuckle) y partes de la suspensión directamente unidas a la rueda.

Tabla 13

Identificación de masas no suspendidas en kg Transformadas a Newton.

Componente	Masa mínima (kg)	Peso mínimo (N)
Ruedas + neumáticos + llantas	36	353
Maza de rueda + rodamientos + mangueta	16	157
Frenos completos	12	118
Suspensión ligada a la rueda	12	118
Total masa no suspendida mínima	76	746

Masa no suspendida promedio:

$$m \text{ no suspendida} \approx 76 \text{ kg}$$

Peso equivalente:

$$m \text{ no suspendida} = 76 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$m \text{ no suspendida} \approx 745.6 \text{ N}$$

Redondeando:

$$m_{no\ suspendida} \approx 746\text{ N}$$

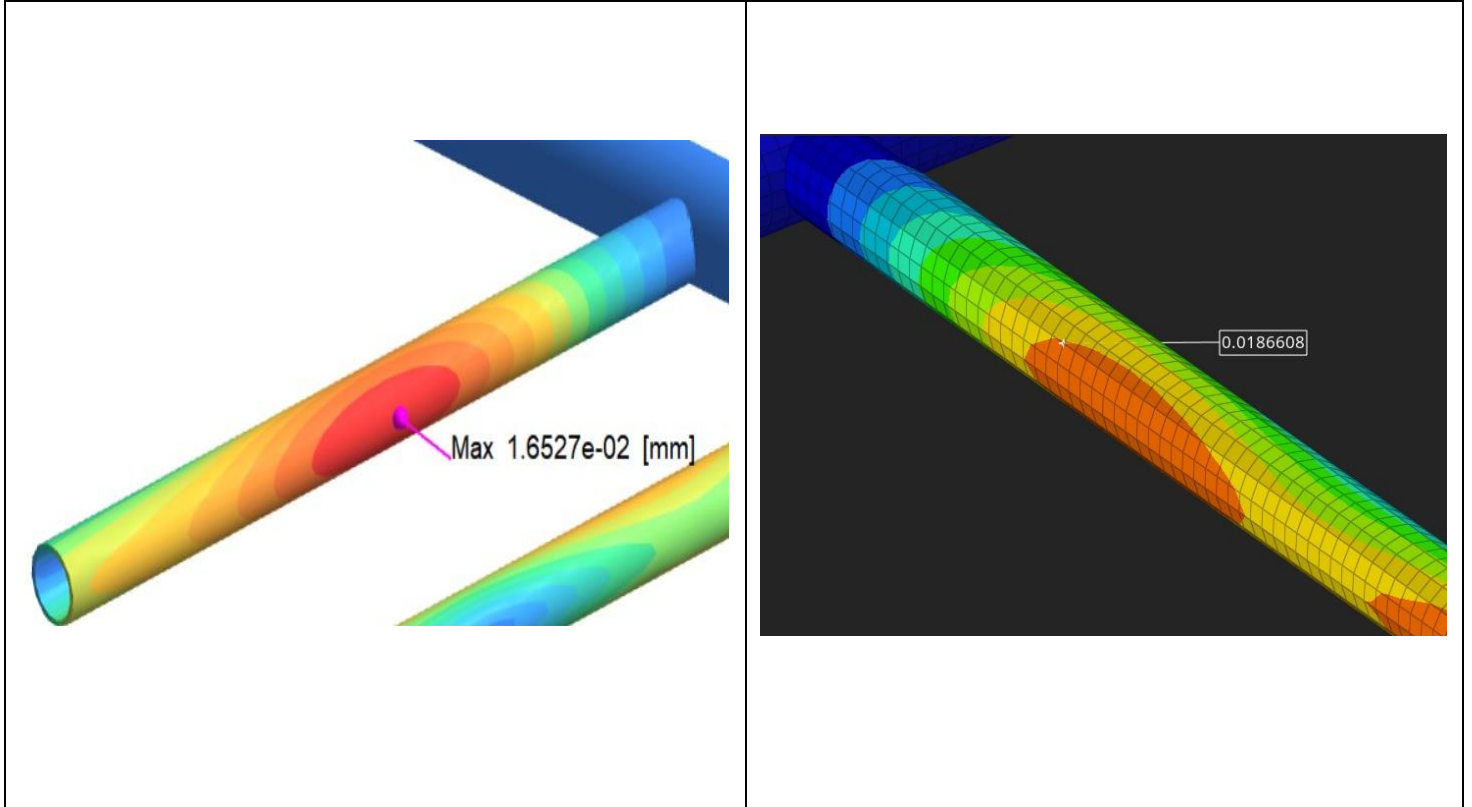
“La clasificación de las masas suspendidas y no suspendidas, así como los rangos porcentuales empleados, se fundamentan en la literatura clásica de dinámica vehicular, particularmente en los trabajos de Gillespie (1992), Milliken & Milliken (1995) y Dixon (1996), quienes establecen que la masa no suspendida en vehículos de pasajeros y deportivos ligeros suele encontrarse entre el 8 % y el 15 % del peso total del vehículo.”

Hypermesh y Simsolid

Para el desarrollo del análisis estructural se recurrió a SimSolid y HyperMesh, ya que ambos ofrecen enfoques complementarios dentro del campo de la simulación. Mientras SimSolid permite una evaluación rápida del comportamiento global del modelo a partir de su capacidad para trabajar con geometrías complejas sin requerir una malla tradicional, hyperMesh aporta un control detallado del mallado y de las condiciones del análisis, para analizar con precisión la respuesta estructural.

Tabla 14

Diferencias de softwares: SimSolid y Hypermesh



- Ramos Guayllagumán (2025) errores dentro del rango de 10 % a 15 % se consideran aceptables para validar un modelo numérico estructural.
- Estudios similares reportan desplazamientos de 4.477 mm (Jat et al., 2015).
- Valores promedio reportados de ≈ 4.36 mm (Sentano & Rahadjian, 2022).
- Utilizar ambos programas permitió contrastar resultados, verificar la coherencia del modelo y asegurar que las conclusiones estén sustentadas desde dos metodologías de simulación distintas, pero mutuamente reforzadas.

Tabla 15

Diferencias de softwares: SimSolid y Hypermesh

SimSolid	Hypermesh
• Al trabajar directamente sobre el sólido, el tiempo de análisis dependió principalmente de la definición de cargas, restricciones y material, optimizando el flujo de simulación en etapas preliminares. • La eliminación total del proceso de mallado redujo drásticamente el tiempo computacional, permitiendo obtener resultados de deformación en aproximadamente 10 minutos desde la importación del modelo. • La eficiencia en tiempo permitió realizar evaluaciones rápidas del comportamiento global, facilitando iteraciones de diseño sin un costo computacional elevado.	• El proceso de mallado representó la mayor contribución al incremento del tiempo computacional, ya que la generación, verificación y corrección de la malla demandaron una etapa previa extensa. • La malla cuadrangular de 10 mm, aunque adecuada para análisis estáticos preliminares, implicó un mayor número de elementos y, por ende, un aumento significativo del tiempo de cálculo (≈ 1 hora). • El control detallado del mallado mejoró la estabilidad numérica y la calidad de los resultados, pero estableció un compromiso directo entre precisión y costo computacional,

especialmente frente a soluciones sin
mallado como SimSolid.

- Los valores de deformación obtenidos en ambos análisis, $1,65 \text{ E-02}$ en SimSolid y 1.86 E-02 mm en HyperMesh, pudieron evidenciar un comportamiento coherente en el larguero asociado al conjunto motor–caja de cambios en los dos softwares. Esta zona fue identificada como el punto crítico del rediseño, lo que reforzó la confiabilidad de los resultados obtenidos.

La diferencia entre las deformaciones es mínima y se mantiene dentro de un rango que no compromete el desempeño estructural del componente. El larguero presenta una deformación moderada y controlada bajo las cargas que están siendo aplicadas, sin indicios de una falla estructural inminente, en concordancia con lo establecido por Sentano y Rahadjian (2022).

Se pueden concluir que ambos análisis convergen en una misma conclusión: el larguero opera dentro de un margen de deformación aceptable. Por lo que, ambas plataformas de simulación fortalecen la validez del estudio y permite afirmar que la tendencia del modelo estructural es confiable.

Conclusiones

- Se logró diseñar de manera virtual el prototipo de chasis automotriz tomando como referencia la plataforma del Volkswagen Beetle y sus planos originales, el cual fue adaptado dimensional y estructuralmente para permitir su integración con la carrocería del Porsche 356. El modelado realizado en Autodesk Inventor con ayuda de sus planos originales permitió definir con precisión la geometría del chasis y sus puntos críticos. teniendo en cuenta incrementar unos costillares transversales, 3 a cada lado, que fueron ubicados en el piso estructural debido a la disminución de 400 mm, lo cual provoco el retiro de la lámina original de 0.7 mm que hacía su vez de elemento estructural, durante el proceso de diseño y simulación se verifico que estos nuevos refuerzos sean adecuados.
- Con la revisión bibliográfica, fue posible identificar y definir de forma adecuada las cargas suspendidas y no suspendidas que actúan sobre el chasis, en la cual en masas suspendidas se encontró un valor total aproximado de 6307.8 N y en no suspendidas de 746 N. Al tener presente estos se optaron por cargas suspendidas en base a la diferencia porcentual de 88% frente al 12% entre cargas, estos valores resultaron coherentes con los datos reportados en la literatura técnica y constituyeron una base confiable para el desarrollo del análisis estructural.
- Los resultados de desplazamiento obtenidos en ambos softwares presentaron una alta coherencia, identificando de manera consistente al larguero asociado al conjunto motor–caja de cambios como la zona más solicitada estructuralmente.

- El análisis estructural bajo cargas estáticas permitió caracterizar el comportamiento mecánico del chasis rediseñado. Los resultados mostraron que la deformación máxima global fue de 4,42 mm, manteniéndose dentro del rango admisible (inferior a 5 mm). A nivel de componentes, se registraron deformaciones de 0,0165 mm en SimSolid y 0,0186 mm en HyperMesh, ambas dentro del régimen elástico del material. La diferencia entre resultados correspondió a un error porcentual de 11,29 %, valor que se encuentra por debajo del 15 % considerado aceptable en la evaluación de estructuras mecánicas como chasis.
- Finalmente, el análisis de adaptación del chasis a la carrocería del Porsche 356, mediante la revisión de planos y verificación en los dos softwares SimSolid y Hypermesh, con la ayuda del valor porcentual y entrando dentro de los rangos permisibles, se demostró que el prototipo diseñado es viable desde el punto de vista estructural. Esta concordancia permite afirmar que la tendencia del comportamiento estructural del prototipo es adecuada para las condiciones de carga evaluadas.

Recomendaciones

- Se aconseja considerar la sustitución de materiales, como aceros de alta resistencia y aleaciones más ligeras, para mejorar la relación resistencia-peso del chasis.
- Se recomienda considerar la sustitución de materiales, como aceros de alta resistencia y aleaciones más ligeras, con el fin de mejorar la relación peso-potencia.
- Se recomienda realizar ensayos no destructivos, específicamente mediante líquidos penetrantes según la norma ISO 3452, para evaluar la calidad y continuidad de las soldaduras del chasis.

- Se aconseja desarrollar estudios adicionales de análisis modal y dinámico para evaluar el comportamiento del chasis frente a vibraciones y cargas cíclicas, lo que permitiría predecir su desempeño bajo condiciones reales de conducción

Referencia bibliográfica

1. 1692609 *Engineer To Win Carroll Smith*. (2024). Pdfkeys.com.
<https://pdfkeys.com/download/1692609-Engineer-To-Win-Carroll-Smith>
2. *A review on welding techniques: properties, characterisations and engineering applications* - Amrita Vishwa Vidyapeetham. (2024, June 6). Amrita Vishwa Vidyapeetham. <https://www.amrita.edu/publication/a-review-on-welding-techniques-properties-characterisations-and-engineering-applications/>
3. Ashok Kumar Perka, John, M., Udaya Bhat Kuruveri, & Menezes, P. L. (2022). Advanced High-Strength Steels for Automotive Applications: Arc and Laser Welding Process, Properties, and Challenges. *Metals*, 12(6), 1051–1051.
<https://doi.org/10.3390/met12061051>
4. Babu, K., Vijaya Prakash, R., Purna, B., & Sekhar, C. (2022). Fatigue Analysis Of An Off-Highway Vehicle Chassis Rear Rail Structure Using Finite Element Approach. *International Journal of Current Science*, 12, 2250–1770.
<https://rjpn.org/ijcspub/papers/IJCSP22C1270.pdf>
5. Batista, J., & De, M. (2022). Truck Chassis Design and Analysis. *Científica*, 26(1), 1–10. <https://www.redalyc.org/journal/614/61472342007/>
6. Budzik, M. K., Wolfahrt, M., Reis, P., Kozłowski, M., Sena-Cruz, J., Papadakis, L., Nasr Saleh, M., Machalicka, K. V., Teixeira de Freitas, S., & Vassilopoulos, A. P. (2021).

Testing mechanical performance of adhesively bonded composite joints in engineering applications: an overview. *The Journal of Adhesion*, 1–77.

<https://doi.org/10.1080/00218464.2021.1953479>

7. Cavazzuti, M., Baldini, A., Bertocchi, E., Costi, D., Torricelli, E., & Moruzzi, P. (2010).

High performance automotive chassis design: a topology optimization based approach. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 44(1), 45–56.

<https://doi.org/10.1007/s00158-010-0578-7>

8. Centea, D., Singh, I., Yakout, M., Boer, J., & Elbestawi, M. (2020). Opportunities and

Challenges in Integrating Additive Manufacturing in the SEPT Learning Factory. *Procedia Manufacturing*, 45, 108–113.

<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.080> 4

9. Chauhan, S., Senthilkumaran Varatharajan, & Deodatta Shende. (2021). Effect of

Welding Consumables on Static and Dynamic Properties of Representative Welded Joints for Chassis Structure. *SAE Technical Papers on CD-ROM/SAE Technical Paper Series*.

<https://doi.org/10.4271/2021-26-0259>

10. Club, P. (2020, January 28). *Book Reviews: “Porsche 964” and “The Porsche 356: A Restorer’s Guide to Authenticity”* | *Porsche Club of America*. Pca.org.

<https://www.pca.org/news/book-reviews-porsche-964-the-porsche-356-a-restorers-guide-to-authenticity>

11. Contreras Urgiles, R. W., Jaramillo Andrade, C. A., & Pizarro Barrera, E. J. (2023).

Propuesta metodológica para el diseño y análisis de un monocasco Formula

Student. *Ingenius*, 30, 42–53. <https://doi.org/10.17163/ings.n30.2023.04>

12. Cumbicus, A. (2021). Optimización de tamaño de un chasis tubular para un vehículo eléctrico biplaza. Universidad del Azuay. Obtenido de <https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/87603>
13. Czerwinski, F. (2021). Current Trends in Automotive Lightweighting Strategies and Materials. *Materials*, 14(21), 6631–6631. <https://doi.org/10.3390/ma14216631>
14. De, C., & Mecánica, I. (n.d.). *UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO PARA UN CHASIS SHELL ECO-MARATHON*. Retrieved October 21, 2024, from <https://repositorio.utec.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12815/176/Carri%F3n%20LuyaTesis.pdf?sequence=1>
15. Espinoza, & Xavier, S. (2021). Optimización topológica de un chasis tubular para vehículo eléctrico biplaza. *Uazuay.edu.ec*. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10946>
16. Evangelos Ch Tsirogiannis. (2015, January 1). *Design of an efficient and lightweight chassis, suitable for an electric car*. https://www.researchgate.net/publication/313475487_Design_of_an_efficient_and_lightweight_chassis_suitable_for_an_electric_car
17. Garofano, A., Acanfora, V., Fittipaldi, F., & Riccio, A. (2023). On the Use of a Hybrid Metallic-Composite Design to Increase Mechanical Performance of an Automotive Chassis. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 32(9), 3853–3870. <https://doi.org/10.1007/s11665-023-08206-8>
18. González, E., Andrés, M., & David, H. (2019). Aplicación del método de diseño para manufactura y ensamblaje al chasis de un vehículo de tracción humana de tres ruedas tipo

recumbent como alternativa de transporte en la ciudad de Montería. *Entre Ciencia E Ingeniería*, 13(25), 35–44. <https://doi.org/10.31908/19098367.4012>

19. Ibrahim, A. M., Ali, A. M., & Kamel, H. (2023). Design optimization and production of a small-scale semi-trailer chassis for testing. *Journal of Engineering and Applied Science*, 70(1). <https://doi.org/10.1186/s44147-023-00201-z>
20. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*. (2024). World Scientific Publishing.
https://www.worldscientific.com/toc/ijssd/0/0?srsltid=AfmBOor9pHgr4zD7Hf52rJw_cpDOUvduIy0oLIKOxmKci-s3r1Mvnu7a
21. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*. (2024). World Scientific Publishing.
https://www.worldscientific.com/toc/ijssd/0/0?srsltid=AfmBOor9pHgr4zD7Hf52rJw_cpDOUvduIy0oLIKOxmKci-s3r1Mvnu7a
22. ISO 857-1:1998 Welding and allied processes — Vocabulary — Par... (2019). Retrieved October 22, 2024, from Une.org website: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/iso?c=021099>
23. J Patache, Moreta, B., J Pancha, & Pozo, R. (2024). Design and Construction of a Chassis for a Single-seat Electric Prototype. *ESPOCH Congresses the Ecuadorian Journal of S T E a M*. <https://doi.org/10.18502/espoch.v3i3.16612>
24. Khan, F., Hossain, N., Mim, J. J., Rahman, S. M., Iqbal, Md. J., Billah, M., & Chowdhury, M. A. (2024). Advances of composite materials in automobile applications – A review. *Journal of Engineering Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.02.017>

25. Kumar, R., Rajesh H, & Mayur Shimpi. (2019). Performance Evaluation of Chassis System for Converted Hybrid Electric Vehicle. *SAE Technical Papers on CD-ROM/SAE Technical Paper Series*. <https://doi.org/10.4271/2019-26-0260>
26. Leffingwell, R. (2017, September 19). *Porsche 70 Years*. The Quarto Group. <https://www.quarto.com/books/9780760347256/porsche-70-years>
27. Lirio, A., & Torres, M. (2024). Diseño y construcción de un chasis en fibra de carbono para un karting eléctrico bajo normativa internacional para la carrera de Ingeniería Automotriz. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/21559>
28. Luque, P., Mántaras, D. A., Álvaro Maradona, Rocés, J., Sánchez, L., Castejón, L., & Malón, H. (2020). Multi-Objective Evolutionary Design of an Electric Vehicle Chassis. *Sensors*, 20(13), 3633–3633. <https://doi.org/10.3390/s20133633>
29. M Cavazzuti, L Splendi, L D'Agostino, Torricelli, E., & Baldini, A. (2012). Structural optimization of automotive chassis: theory, set up, design. *Problèmes Inverses, Contrôle et Optimisation de Formes 2012*. https://www.researchgate.net/publication/261749964_Structural_optimization_of_automotive_chassis_theory_set_up_design
30. Martínez-Peral, F. J., Héctor Migallón, Borrell-Méndez, J., Martínez-Rach, M., & Pérez-Vidal, C. (2024). Manipulation order optimization in industrial pick-and-place operations: application to textile and leather industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 133(1-2), 987–1010. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-13436-8>

31. Mesías Heriberto Freire-Quintanilla, Sócrates Miguel Aquino-Arroba, & Martínez-Flores, S. F. (2022). Análisis de Impacto Frontal, Lateral y Posterior de un Chasis Tubular Tipo Formula Sae, para Determinar los Niveles de Seguridad. *Polo Del Conocimiento*, 7(1), 1233–1259.
<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3540/html>
32. Montoya, E. G., Salazar, A. V., & Romero, A. (2023). Diseño del chasis de un vehículo eléctrico para la II Competencia Nacional de Vehículos de Tracción Eléctrica. *Revista CINTEX*, 27(1), 1–18. <https://doi.org/10.33131/24222208.385>
33. Navas, A. (2019). Comportamiento experimental a Áexión de losas de puentes de concreto, reforzadas externamente con CFRP. *Revista de ingeniería*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/441/44170541007.pdf>
34. Nguyen, T. Q. (2019). Finite Element Analysis in Automobile Chassis Design. *Applied Mechanics and Materials*, 889, 461–468.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.889.461>
35. Olivos, J., & Saavedra, J. (2024). Estudio de factibilidad técnica para la fabricación de carrocerías Porsche 356 en el Ecuador. Universidad SEK. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/5413>
36. Omidiji, B. V., Daniyan, A. A., Owolabi, H. A., Oluwasegun, K. M., Daniel, E., & Fabunmi, O. E. (2024). STRUCTURAL ANALYSIS OF A LIGHTWEIGHT ELECTRIC VEHICLE CHASSIS. *MATTER International Journal of Science and Technology*, 10, 139–154. <https://doi.org/10.20319/mijst.2024.10.139154>

37. Phani, K. (2024). *Welding Processes in Advanced Manufacturing* Crimson Publishers
Integrative Journal of Conference Proceedings.
<https://doi.org/10.31031/ICP.2024.03.000572>
38. Quinchuela, J., Molina, J., & Peralta, D. (2023). Comparación de resultados entre
Hypermesh y Simsolid aplicados en la simulación estructural en un elevador de coches.
Springernature link. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-69228-4_48
39. Remache, Á., Leguísamo, J., & Tamayo, E. (2019). Análisis topológico mediante el
Método de Elementos Finitos del chasis de una motocicleta de competencia. *Enfoque
UTE*, 10(3), 81–97. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n3.454>
40. Shiozaki, T., Hira, T., & Yoshitake, A. (2006). FE-based Fatigue Life Prediction
Techniques for Welded Automotive Structures. *SAE Technical Paper Series*.
<https://doi.org/10.4271/2006-01-0980>
41. Shravan C, N. Radhika, Kumar, D., & B. Sivasailam. (2023). A review on welding
techniques: properties, characterisations and engineering applications. *Advances in
Materials and Processing Technologies*, 1–56.
<https://doi.org/10.1080/2374068x.2023.2186638>
42. Simulation Tools and Techniques. (2023). *SpringerLink*. <https://doi.org/10.1007-978-3-031-57523-5>
43. Singh, V. P., Kumar, A., Meena, C. S., & Dwivedi, G. (2024, April 29). *Energy Efficient
Vehicles: Technologies and Challenges*. <https://doi.org/10.1201/978100346455>
44. Soomro, I. A., Srinivasa Rao Pedapati, & Mokhtar Awang. (2021). A review of advances
in resistance spot welding of automotive sheet steels: emerging methods to improve joint

- mechanical performance. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 118(5-6), 1335–1366. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08002-5>
45. Tisza, M. (2020). Three Generations of Advanced High Strength Steels in the Automotive Industry. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 81–94. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9529-5_7
46. UNIVERSIDAD DEL AZUAY FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA ESCUELA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ. (n.d.). Retrieved October 21, 2024, from <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/12340/1/17867.pdf>
47. Vierhout, G., Roper, S., Li, D., Pamwar, M., Sangha, B., & Kim, I. Y. (2019). Multi-Material Topology Optimization as a Concept Generation and Design Tool. *SAE Technical Paper Series*. <https://doi.org/10.4271/2019-01-1095>
48. Vol. 16 No. 3 (2024) | *International Journal of Vehicle Structures and Systems*. (2024). Yanthrika.com. <https://yanthrika.com/eja/index.php/ijvss/issue/view/153>
49. Vega, G., Mancilla, E., Conte, D., & Choque, J. (2022). Simulación por eventos discretos: aplicación en un proyecto de automatización industrial. *Revista de Jornadas académicas*. Obtenido de <https://revistas.unlp.edu.ar/JAIIO/article/view/18352>
50. Hagerty. (2024, Marzo 15). The classic car market in 2024: Trends and predictions. *Hagerty Insider*. <https://www.google.com/search?q=https://www.hagerty.com/media/market-trends/classic-car-market-trends-2024/>
51. Academia Xray. (2025). Chasis de Auto: La base fundamental de tu vehículo. <https://academiaxray.cl/blog/chasis-de-auto/>

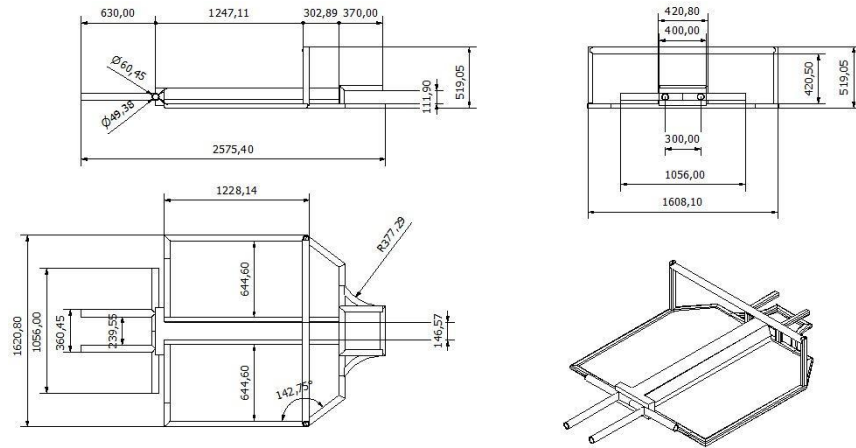
52. Faicán Vasquez, J. G. (2018). Análisis estructural del comportamiento del chasis de un semirremolque de dos pisos construido por la empresa “Carrocerías Faicán”, para el transporte de pallets con botellas de agua [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16831/1/UPS-CT008119.pdf>
53. Parra, J. A., & Ríos Linares, R. A. (2013). Comportamiento estático y modal del chasis de un ómnibus modernizado. *Ingeniería Mecánica*, 16(2), 164-167.
<https://www.redalyc.org/pdf/2251/225129325008.pdf>
54. Borja Robalino, R. S., & Morocho Rojas, P. S. (2017). Análisis estructural mediante el método de elementos finitos del chasis del vehículo formula SAE eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca 2017 [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15081>
55. Quinchuela Paucar, J. C. (2024). Diseño mediante simulación estructural en el estado estable de un elevador tipo basculante para vehículos livianos de hasta 1.4 toneladas [Tesis de maestría, Universidad Internacional SEK]. Disponible en:
<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4071/1/Juan%20Carlos%20Quinchuela%20Paucar.pdf>
56. INEN. (2024). Inspección de Vehículos Automotores bajo Reglamentos Técnicos INEN. [Página web]. Recuperado de <https://www.normalizacion.gob.ec/inspeccion-de-vehiculos-automotores-bajo-reglamentos-tecnicos-inen/>
57. Aguirre, L. (2020). *Análisis estructural de bastidor en vehículo tipo utilitario* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)]. Disponible en:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52814>

58. Duarte, C. (2021). *Análisis estructural de un bastidor para vehículo eléctrico mediante simulación FEM* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33680>
59. Fernández, R., Bravo, A., & Álvarez, M. (2019). Simulación estructural de bastidores automotrices. *Revista Ingeniería Mecánica Aplicada*, 11(2), 42–50. Disponible en: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/IMA/article/view/2724>
60. Lizarazo, J. (2021). *Diseño y análisis del chasis de un ATV para terrenos irregulares* [Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/25631>
61. Martínez, J., & Salinas, D. (2020). Evaluación estructural de bastidores mediante MEF en vehículos modificados. *Revista Técnica Automotriz*, 17(3), 34–45. Disponible en: <https://revistas.unemi.edu.ec/index.php/tecnicautomotriz/article/view/1629>
62. Pérez, E. (2020). *Criterios de deformación aceptable en estructuras automotrices* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid]. Disponible en: <https://oa.upm.es/65431/>
63. Ramírez, S. (2019). *Optimización estructural de chasis tubular para buggy de bajo peso* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/74480>

Anexos

Anexo 1

Medidas completas Volkswagen Beetle



Anexo 2

Medidas completas Porsche 356

