



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA ADAPTABLE AL CHASIS DE UN VOLKSWAGEN ESCARABAJO DEL TALLER MECÁNICO “AUTOSTETIC AUTOMOTRIZ ROBERTH GAVILÁNES” EN LA CIUDAD DE AMBATO, ECUADOR”

AUTOR: Pablo Andrés Calvopiña Baird

TUTOR: Ing. Juan Francisco Correa Jácome, Ph.D.

AMBATO – ECUADOR

Septiembre - 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA ADAPTABLE AL CHASIS DE UN VOLKSWAGEN ESCARABAJO DEL TALLER MECÁNICO “AUTOSTETIC AUTOMOTRIZ ROBERTH GAVILÁNES” EN LA CIUDAD DE AMBATO, ECUADOR**”, desarrollado por el estudiante, **Pablo Andrés Calvopiña Baird**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804405916 estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2022


.....
Ing. Juan Francisco Correa Jácome, Ph.D.
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Pablo Andrés Calvopiña Baird** con C.I. 1804405916 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA ADAPTABLE AL CHASIS DE UN VOLKSWAGEN ESCARABAJO DEL TALLER MECÁNICO “AUTOSTETIC AUTOMOTRIZ ROBERTH GAVILÁNES” EN LA CIUDAD DE AMBATO, ECUADOR**”, así como también los análisis estadísticos, gráficos, cálculos realizados, resultados, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2022



.....
Pablo Andrés Calvopiña Baird
C.I. 1804405916
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en líneas patrimoniales de mi Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, septiembre 2022



.....
Pablo Andrés Calvopiña Baird
C.I. 1804405916
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto de Técnico, realizado por el estudiante Pablo Andrés Calvopiña Baird de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CARROCERÍA ADAPTABLE AL CHASIS DE UN VOLKSWAGEN ESCARABAJO DEL TALLER MECÁNICO “AUTOSTETIC AUTOMOTRIZ ROBERTH GAVILÁNES” EN LA CIUDAD DE AMBATO, ECUADOR”**.

Ambato, septiembre 2022

Por constancia firman:



.....
Ing. Diego Fernando Nuñez Nuñez, MSc
MIEMBRO CALIFICADOR



.....
Ing. Jorge Enrique López Velástegui Mg
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Todo el trabajo y esfuerzo para conseguir este logro se lo dedico a mis padres Pablo Felipe y María Lorena quienes fueron los primeros educadores en mi vida y el pilar fundamental para llegar a cumplir la meta, a mi hermana María Isabel por su acompañamiento en este viaje y el apoyo siempre mostrado.

A mi hija Emilia Maite, quien es el motor principal en mi vida y la persona que más amo en este mundo.

A todas las personas que siempre confiaron en mí y estuvieron presentes en todo momento.

Pablo Calvopiña.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios quien me dio la sabiduría y fortaleza para llegar a culminar esta etapa muy importante en mi vida.

A mis padres Pablo Felipe y María Lorena por su apoyo incondicional, que pese a todas las dificultades y obstáculos han estado siempre presentes.

A mi abuelo Hernán Vásconez quien fue la persona que estuvo presente en todo el desarrollo del proyecto.

A la Universidad Técnica de Ambato, a los docentes que impartieron sus conocimientos y experiencias tanto a mi como a mis compañeros; conjuntamente agradecer de manera especial a mi tutor el Ing. Juan Correa quien me brindó la ayuda necesaria para culminar de manera exitosa el presente trabajo.

Finalmente, agradecer a todas las personas que formaron parte de mi etapa estudiantil, que siempre han confiado en mí y me apoyaron para culminar con la meta propuesta.

Pablo Calvopiña

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. Hipótesis de Estudio.....	3
1.4. Identificación y operacionalización de variables	3
1.4.1. Variable independiente	3
1.4.2. Variable dependiente	4
1.5. Fundamentación teórica	5
1.5.1. Nacimiento del Volkswagen Escarabajo	5
1.6. Características técnicas del vehículo.....	6
1.6.1. Características del motor	7
1.6.2. Características del chasis	8

1.7.	Dimensiones del automotor.....	12
1.7.1.	Dimensiones exteriores	12
1.7.2.	Dimensiones interiores	13
1.8.	Sistema de frenado	14
1.9.	Función de la carrocería	15
1.9.1.	Componentes de la estructura de la carrocería	16
1.9.2.	Tipos de carrocería	17
1.10.	Equipos necesarios en el desmontaje y separación de elementos fijos	20
1.11.	Proceso de soldadura	27
1.11.1.	Tipo de soldadura utilizada en la investigación.....	27
1.11.2.	Tipos de electrodos	28
1.11.3.	Características de los revestimientos	29
1.12.	Restauración de automotores.....	30
1.12.1.	Oxidación del auto	30
1.12.2.	Pasos para la restauración de un vehículo	31
1.13.	Diseño de carrocería	31
1.13.1.	Parámetros de diseño	31
1.13.2.	Requerimientos de diseño.....	32
1.13.2.1.	Requerimientos funcionales.....	32
1.13.2.2.	Requerimientos intrínsecos.....	32
1.13.3.	Herramientas de computación	32
1.14.	Ingeniería asistida por computadora.....	32
1.14.1.	Ventajas del CAE.....	33
1.14.2.	Desventajas del CAE	33
1.15.	Método de análisis por elementos finitos (FEA).....	33
1.15.1.	¿Cómo funciona el método FEA?.....	34
1.15.2.	Elementos “beam”	34

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA	36
2.1. Diseño de la investigación	36
2.2. Alcance.....	36
2.3. Métodos.....	36
2.4. Población muestra	37
2.5. Procedimiento	37
2.6. Recursos	37
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3.1. Diseño de la estructura asistido por CAD	39
3.1.1. Proceso de modelado.....	39
3.2. Selección de alternativas	41
3.3. Materiales a utilizar en la estructura	44
3.4. Dimensiones y pesos de la carrocería adaptable	46
3.5. Determinación de cargas	46
3.5.1. Cargas a analizar.....	47
3.5.1.1. Simbología de las variables para cada una de las ecuaciones a ocupar ...	47
3.5.1.2. Determinación de cargas muertas	49
3.5.1.3. Determinación de cargas vivas	49
3.5.1.4. Determinación de cargas estáticas dinámicas	50
3.5.2. Combinación de cargas por el método LRFD	53
3.6. Análisis estructural.....	54
3.6.1. Mallado.....	55
3.6.2. Estudio de cargas.....	60
3.6.2.1. Carga de giro.....	60
3.6.2.2. Carga de frenado.....	64
3.6.2.3. Carga de aceleración brusca	68
3.6.2.4. Carga por resistencia al aire frontal	71

3.6.2.5.	Análisis de combinación crítica (Método LRFD).....	76
3.7.	Restauración de chasis y construcción de carrocería	80
3.7.1.	Sistema de soldadura	80
3.7.2.	Desintegración de chasis del vehículo.....	81
3.7.3.	Restauración de chasis.....	82
3.7.4.	Restauración de motor	83
3.7.5.	Restauración y montaje de caja de cambios	84
3.7.6.	Colocación de ruedas delanteras y traseras	85
3.7.7.	Armado de estructura delantera, colocación de capot y parabrisas.....	85
3.7.8.	Colocación de guardafanfos delanteros y tanque de gasolina.....	86
3.7.9.	Montaje de motor y armado de estructura trasera	87
3.7.10.	Recubrimiento de la estructura	88
3.7.11.	Adecuación de tablero y volante.....	89
3.7.12.	Proceso de masillado y lijado de la carrocería.....	89
3.7.13.	Pintado de carrocería	90
3.7.14.	Tapizado de asientos.....	91
3.7.15.	Construcción de guardachoques	92
3.7.16.	Instalación de sistema eléctrico	93
3.7.17.	Colocación de retrovisores tanto laterales como central	94
	CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
4.1.	CONCLUSIONES	96
4.2.	RECOMENDACIONES	97
	BIBLIOGRAFÍA.....	98
	ANEXOS.....	104
	Anexo A. Norma de fabricación INEN 2415.....	104
	Anexo B. Norma de calidad ASTM A500	117
	Anexo C. Norma NTE INEN 1323	122

Anexo D. Rangos para el factor de seguridad.....	135
Anexo E. Plano de estructura principal de la carrocería	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Variable independiente.	4
Tabla 2.- Variable dependiente.	4
Tabla 3.- Partes principales del motor [9].	7
Tabla 4.- Características técnicas del motor Volkswagen Escarabajo [16].	7
Tabla 5.- Partes del chasis de un Volkswagen Escarabajo [9].	9
Tabla 6.- Bastidor con tubos guía.	10
Tabla 7.- Datos técnicos del chasis de un Volkswagen Escarabajo [16].	11
Tabla 8.- Dimensiones exteriores del vehículo [19].	12
Tabla 9.- Dimensiones interiores del vehículo [19].	13
Tabla 10.- Partes de un sistema de frenado hidráulico [16].	15
Tabla 11.- Clasificación de las carrocerías de acuerdo a su chasis [24].	17
Tabla 12.- Clasificación de las carrocerías de acuerdo a cantidad de volúmenes [25].	18
Tabla 13.- Clasificación de las carrocerías de acuerdo a su número de puertas [24].	18
Tabla 14.- Clasificación de las carrocerías de acuerdo al tamaño de su cabina [24].	19
Tabla 15.- Clasificación de las carrocerías de acuerdo a su parte trasera [25].	19
Tabla 16.- Clasificación de las carrocerías de acuerdo a su elevación [24].	20
Tabla 17.- Herramienta: Sierra [26].	21
Tabla 18.- Herramienta: Despunteadora [26].	23
Tabla 19.- Herramienta: Taladro [26].	24
Tabla 20.- Herramienta: Amoladora [26].	25
Tabla 21.- Herramienta: Discos de corte y desbaste [26].	26
Tabla 22.- Herramienta: Martillo [26].	27
Tabla 23.- Electrodo AWS A5.1-69 y A5.5-69 [33].	29
Tabla 24.- Función de cada sustancia dentro del revestimiento [32].	30

Tabla 25.- Especificaciones del tubo estructural redondo [47].	41
Tabla 26.- Especificaciones del tubo estructural rectangular [48].	42
Tabla 27.- Especificaciones del tubo estructural cuadrado [49].	42
Tabla 28.- Especificaciones del perfil estructural “G” [50].	43
Tabla 29.- Elección de material.	44
Tabla 30.- Propiedades mecánicas del acero ASTM A36 [52].	45
Tabla 31.- Elección de material.	46
Tabla 32.- Dimensiones y pesos de la carrocería adaptable.	46
Tabla 33.- Determinación de la carga muerta de la carrocería.	49
Tabla 34.- Determinación de la carga viva de la carrocería.	49
Tabla 35.- Determinación de la carga de giro de la carrocería.	50
Tabla 36.- Determinación de la carga de frenado de la carrocería.	51
Tabla 37.- Determinación de la aceleración brusca de la carrocería.	52
Tabla 38.- Determinación de la carga por resistencia al aire frontal.	53
Tabla 39.- Combinación de cargas por el método LRFD.	53
Tabla 40.- Mallado 10 mm.	56
Tabla 41.- Mallado 20 mm.	56
Tabla 42.- Mallado 30 mm.	57
Tabla 43.- Análisis gráfico y numérico para cada longitud de mallado.	58
Tabla 44.- Análisis comparativo de esfuerzo para mallado.	59
Tabla 45.- Esfuerzos máximo y mínimo por carga de giro.	62
Tabla 46.- Esfuerzos por carga de giro sobre la estructura.	63
Tabla 47.- Esfuerzos máximo y mínimo por carga de frenado.	66
Tabla 48.- Esfuerzos por carga de frenado sobre la estructura.	67
Tabla 49.- Esfuerzos máximo y mínimo por carga de aceleración brusca.	70
Tabla 50.- Esfuerzos por carga de aceleración brusca sobre la estructura.	70
Tabla 51.- Esfuerzos máximo y mínimo por carga por resistencia al aire frontal.	74

Tabla 52.- Esfuerzos por carga de resistencia al aire frontal sobre la estructura.	75
Tabla 53.- Combinación número 3 por el método LRFD.	76
Tabla 54.- Esfuerzos máximo y mínimo por la combinación 3 del método LRFD. .	78
Tabla 55.- Esfuerzos por carga de la combinación número 3 sobre la estructura.	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Presentación del primer Escarabajo en el año 1938 [11].	5
Figura 2.- Producción a gran escala del Volkswagen Escarabajo [11].	6
Figura 3.- Esquema lateral y frontal del motor [9].	6
Figura 4.- Esquema del chasis [16].	8
Figura 5.- Distribución de cables y tuberías [16].	10
Figura 6.- Desacople de carrocería del chasis [16].	11
Figura 7.- Vista lateral y superior de la carrocería [18].	12
Figura 8.- Vista superior del chasis [16].	13
Figura 9.- Esquema del sistema de frenado hidráulico [16].	14
Figura 10.- Elementos externos de una carrocería [22].	16
Figura 11.- Elementos internos de una carrocería [23].	17
Figura 12.- Componentes de un cincel [26].	21
Figura 13.- Manta ignífuga [26].	22
Figura 14.- Juego de brocas [28].	23
Figura 15.- Soldadura por arco eléctrico [32].	28
Figura 16.- Pieza analizada por el método FEA [43].	34
Figura 17.- Ejemplo de sección transversal de un elemento “beam” [45].	35
Figura 18.- Bosquejo a mano alzada de la carrocería.	39
Figura 19.- Vista isométrica delantera del modelado de la carrocería.	40
Figura 20.- Vista isométrica trasera del modelado de la carrocería.	40
Figura 21.- Tubo estructural redondo [47].	41
Figura 22.- Tubo estructural rectangular [48].	41
Figura 23.- Tubo estructural cuadrado [49].	42
Figura 24.- Perfil estructural “G” [50].	43
Figura 25.- Estructura principal de la carrocería.	45
Figura 26.- Carrocería diseñada con elementos “beam”	54

Figura 27.- Nodos de la estructura.	54
Figura 28.- Asignación de material a cada elemento de la carrocería.	55
Figura 29.- Asignación de cargas para análisis de mallado.	55
Figura 30.- Esfuerzo (MPa) – Tamaño y Número de Elementos.....	59
Figura 31.- Nodos de la estructura.	60
Figura 32.- Aplicación de fuerzas para la carga de giro.	60
Figura 33.- Deformación total por carga de giro.	61
Figura 34.- Esfuerzo equivalente a carga de giro.....	61
Figura 35.- Esfuerzo – Valor (MPa) para carga de giro.....	63
Figura 36.- Aplicación de fuerzas para la carga la carga de frenado.....	64
Figura 37.- Deformación total por la carga de frenado.....	64
Figura 38.- Esfuerzo equivalente por la carga de frenado.	65
Figura 39.- Esfuerzo – Valor (MPa) para carga de frenado.....	67
Figura 40.- Aplicación de fuerzas para la carga de aceleración brusca.	68
Figura 41.- Deformación total por aceleración brusca.....	68
Figura 42.- Esfuerzo equivalente por aceleración brusca.	69
Figura 43.- Esfuerzo – Valor (MPa) para carga de aceleración brusca.	71
Figura 44.- Aplicación de fuerzas para la carga por resistencia al aire frontal.....	72
Figura 45.- Deformación total por carga de resistencia al aire frontal.	72
Figura 46.- Esfuerzo equivalente por carga de resistencia al aire frontal.	73
Figura 47.- Esfuerzo – Valor (MPa) para carga por resistencia al aire frontal.....	75
Figura 48.- Aplicación de fuerzas por la combinación 3 del método LRFD.	76
Figura 49.- Deformación total por la combinación número 3 del método LRFD. ...	77
Figura 50.- Esfuerzo máximo por la combinación número 3 del método LRFD.	77
Figura 51.- Esfuerzo – Valor (MPa) para carga por la combinación número 3.....	79
Figura 52.- Soldadora eléctrica Century.	80
Figura 53.- Vehículo Volkswagen a ser extraído su chasis.	81

Figura 54.- Extracción de chasis.	81
Figura 55.- Chasis a ser restaurado.	82
Figura 56.- Restauración de chasis.	82
Figura 57.- Motor a ser restaurado.	84
Figura 58.- Montaje de caja de cambios.	84
Figura 59.- Chasis con vista a sus ruedas posteriores.	85
Figura 60.- Estructura delantera del vehículo.	85
Figura 61.- Colocación de capot y parabrisas.	86
Figura 62.- Colocación de guardafangos.	87
Figura 63.- Montaje de tanque de gasolina.	87
Figura 64.- Conformado de estructura de la parte trasera.	88
Figura 65.- Recubrimiento lateral y posterior.	88
Figura 66.- Colocación de volante y tablero.	89
Figura 67.- Masillado de la carrocería.	89
Figura 68.- Pintado de carrocería.	90
Figura 69.- Pintado de tablero y parabrisas.	90
Figura 70.- Asientos originales.	91
Figura 71.- Asientos tapizados.	91
Figura 72.- Adecuación de guardachoque delantero.	92
Figura 73.- Guardachoque trasero.	92
Figura 74.- Instalación de sistema eléctrico.	93
Figura 75.- Caja de fusibles para sistema eléctrico.	94
Figura 76.- Retrovisores laterales y central.	94
Figura 77.- Automotor totalmente terminado.	95

RESUMEN

El no contribuir a la contaminación ambiental por desechos metálicos, es uno de los factores por lo cual se llevó a cabo este proyecto mismo que al desarrollarlo, lo que se llegó a obtener, es que a un auto que ya ha perdido su valor tanto económico como atractivo, rescate estos atributos. El proyecto se basa en la restauración y recuperación de elementos que han sido desechados como chatarra. El presente trabajo inició con la inspección de daños a nivel visual de un automotor que tiene gran relevancia en todo el mundo como lo es el Volkswagen Escarabajo, para posteriormente elegir los elementos que tienen vida útil aún en el auto y sustituyendo los que ya no; se puso en funcionamiento el motor, se le retiró su carrocería original y se le acopló una totalmente nueva, la cual cuenta con todos los parámetros de seguridad y confort. La carrocería fue diseñada en 3D mediante un software especializado de ingeniería, el cual nos permitió incorporarle todos los detalles que ésta contiene, con el objetivo de facilitar su construcción. Para el proceso de simulación se priorizó el diseño de la estructura principal, por ello se comenzó modelándola, para posteriormente someterla a todas sus pruebas estructurales. La norma INEN NTE 1323 se utilizó para examinar el diseño bajo las combinaciones de cargas expuestas por el método LRFD. El desarrollo del trabajo permitió aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera en cuanto al funcionamiento de un motor y el diseño de estructuras.

Palabras clave: Volkswagen Escarabajo, Carrocería, Restauración, Análisis estructural, Software de Ingeniería.

ABSTRACT

Not contributing to environmental pollution due to metal waste is one of the factors for which this project was carried out, and when it was developed, what was obtained is that a car that has already lost its economic value. as attractive, rescue these attributes. The project is based on the restoration and recovery of elements that have been discarded as scrap. The present work began with the visual damage inspection of a car that has great relevance throughout the world such as the Volkswagen Beetle, to later choose the elements that still have a useful life in the car and replace those that no longer; the engine was put into operation, its original bodywork was removed and a completely new one was attached, which has all the safety and comfort parameters. The bodywork was designed in 3D using specialized engineering software, which allowed us to incorporate all the details it contains, with the aim of facilitating its construction. For the simulation process, the design of the main structure was prioritized, which is why it began with its modeling, to later submit it to all its structural tests. The INEN NTE 1323 standard was used to examine the design under the load combinations exposed by the LRFD method. The development of the work allowed to apply the knowledge acquired in the race regarding the operation of an engine and the design of structures.

Keywords: Volkswagen Beetle, Bodywork, Restoration, Structural analysis, Engineering Software.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

El diseño de carrocerías es una industria que se viene practicando desde mucho antes del año de 1855, sin embargo, esta época tuvo mayor relevancia, puesto que Karl Benz construyó un automóvil Benz [1], el cual constaba de un bastidor de tubo de acero y carrocería de madera, provocando así que la madera pase a segundo plano y el acero tome relevancia en la fabricación de automóviles. Para el año de 1895 las carrocerías más usadas eran las de tipo abiertas, ya que no eran tan potentes como para ser sobrecargadas [2], pero para el año de 1897 se inicia la fabricación de coches eléctricos [3], para lo cual la carrocería cambia a ser de tipo cerrada, protegiendo así al conductor y a sus ocupantes. En el año de 1927, se lanzó la primera carrocería construida en su totalidad por acero [4]. A partir de los años 30, las grandes compañías de autos adoptaron la chapa de acero como nuevo material para la construcción en conjunto con otros alternos, siendo esta una producción masiva.

Para el mundo del automovilismo el año de 1934 fue de gran importancia, ya que se empezaron a comercializar los primeros vehículos autoportantes, los cuales tenían como material de construcción las chapas de acero en su totalidad. El primer vehículo fue el Traction Avant, popular de la marca Citroën. Después con el paso tiempo, las marcas más reconocidas fueron mejorando día a día con ayuda de la tecnología, y hasta el día de hoy el diseño de las carrocerías se considera una habilidad de ingeniería muy importante dentro del mundo del automovilismo [1].

Como motivación de ver la realidad de varias familias, en el año 1938 Ferdinand Porsche decide crear un auto de marca Volkswagen que sea accesible al presupuesto de la mayoría de familias, ya que los únicos que podían tener acceso a un automóvil propio eran exclusivamente las personas de clase social alta. Es por eso que en ese mismo año sale a la luz el Volkswagen Escarabajo, con características especiales, como son la de economizar en cuanto a mantenimiento y su reducido consumo de combustible. Este vehículo fue tan popular a nivel mundial desde que fue lanzado al mercado, tanto así, que hubieron diferentes países que adaptaron centros de fabricación de este automóvil, siendo los más sobresalientes Alemania, Brasil y México [5].

Una de las características especiales con las que contaba el automotor, era la de su carrocería, dado que su fijación con el chasis era simple, pues contaba con algunos pernos desde su parte frontal hasta la trasera. Esto llamó la atención de miembros militares, por lo cual hicieron una adaptación de nuevas carrocerías reforzadas al bastidor original del proveedor de origen [6].

La adaptación de carrocerías alternas a bastidores se viene dando desde antes de la segunda Guerra Mundial, y en la actualidad se lo sigue realizando, además de que los principales materiales para ser fabricadas las carrocerías son el aluminio, el acero para aligerar el peso de los vehículos y el plástico en aquellas piezas como el tablero, paragolpes, etc. [7]. Día a día se pueden ver nuevas ideas plasmadas en la realidad alrededor del mundo, donde nuestro país no es la excepción. José Mejía, ambateño de nacimiento dijo que “En Ecuador se puede hacer una serie de actividades que propicien la calidad y de igual manera la creatividad, solo se necesita paciencia, pasión y honestidad”, esto lo mencionó después de realizar la transformación de un Chevrolet Optra 1.8 en limosina [8].

En Latacunga en el año 2015 un grupo de jóvenes estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas, tuvieron la idea de convertir un Volkswagen Escarabajo en limusina, sin alterar el diseño original de la carrocería, únicamente realizaron la adaptación de un alargamiento en la parte central de éste, lo que conllevó a realizar un cambio en su bastidor, idea que fue plasmada y llevada a cabo de la mejor manera. Además, realizaron un análisis en cuanto a resistencia y comprobaron que contaba con todas las seguridades necesarias para los usuarios que utilicen el automotor [9].

No obstante, existen más trabajos realizados a nivel nacional, y teniendo en cuenta el realce que tienen las carrocerías con techo retráctil, en Riobamba surgió la idea de modificar y adaptar la carrocería de un Suzuki Forza 1, este proceso consistió en disminuir la parte de los asientos traseros del automotor para que en ese lugar se pueda incorporar el sistema de techo corredizo, esta idea pudo ser hecha realidad en la ciudad de Ambato en un taller de auto lujos [10].

En sí, muchas ideas en diferentes países han sido plasmadas, y lo que se recalca es que la mayoría de estas modificaciones se han realizado en vehículos clásicos, es decir que ya tienen años de existencia y donde su fabricación ha culminado. Uno de ellos es el

Volkswagen Escarabajo que, debido a sus características de fijación, ha sido manejable de forma más sencilla, ya sea adaptándole una carrocería completamente nueva, o modificando la ya construida por su proveedor de origen [11].

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Diseñar y construir una carrocería adaptable al chasis de un Volkswagen Escarabajo, bajo parámetros automotrices, la cual cuente con todas las seguridades y comodidades para los usuarios que utilicen el automotor.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Utilizar un software de ingeniería asistida por computadora para diseñar la carrocería del vehículo.
- Investigar y seleccionar cuáles son los materiales óptimos para la carrocería, donde las variables fundamentales sean la accesibilidad y seguridad de la estructura.
- Realizar un análisis estructural de la carrocería, comprobando los índices de seguridad sugeridos por normas establecidas.
- Restaurar el chasis reemplazando las partes ya devastadas por unas nuevas.
- Construir y adaptar la carrocería al chasis utilizando el método de soldadura más apto.

1.3.Hipótesis de Estudio

El chasis de un Volkswagen Escarabajo puede ser adaptado a otro tipo de carrocería completamente seguro, donde se mantenga las condiciones técnicas del vehículo dadas por el proveedor de origen.

1.4.Identificación y operacionalización de variables

1.4.1. Variable independiente

Diseño de una carrocería que se adapte al chasis de un Volkswagen escarabajo.

Tabla 1.- Variable independiente.

Conceptualización	Categorías	Indicadores	Índice	Técnicas e instrumentos
La carrocería es la encargada de proporcionar la apariencia del auto a simple vista, a diferencia del chasis que es la estructura sobre la que se establece y da soporte a todas las piezas que forman el auto.	Inventario de elementos disponibles	Disponibilidad de elementos	Factibilidad de obtención	Dossier del proveedor.
	Diseño de estructura	Bosquejo de la carrocería a desarrollar	Cargas o efectos que no influya en los datos técnicos del motor.	Software especializado de ingeniería.

1.4.2. Variable dependiente

Propiedades de los materiales de la carrocería bajo parámetros de diseño automotriz.

Tabla 2.- Variable dependiente.

Conceptualización	Categorías	Indicadores	Índice	Técnicas e instrumentos
Comportamiento mecánico de un material frente a la aplicación de fuerzas o cargas, evaluadas por medio de normas establecidas dentro del país.	Peso de la estructura	Normativa seleccionada	Material elegido	Balanza
	Resistencia estructural	Fuerzas aplicadas	Climáticas, exteriores (choque)	Software de simulación.
	Tipo de unión	Soldadura	Métodos bajo norma con material de aporte	Normas, códigos de soldadura

1.5.Fundamentación teórica

1.5.1. Nacimiento del Volkswagen Escarabajo

La historia del popular Volkswagen Beetle o más conocido como Escarabajo comienza hace mucho antes de la Segunda Guerra Mundial, cuando la sociedad estaba en un plan de desarrollo y con el anhelo de tener un medio por el cual movilizarse, Ferdinand Porsche tuvo la idea de fabricar un auto que a nivel social sea accesible a la gran mayoría de las personas. Desde el año 1938 que fue lanzado al mercado tuvo gran acogida por sus conductores, dado que contaba con algunas características que encantaban, como lo son la economía al momento de mantenimiento, y el reducido consumo de combustible, por lo que fue denominado con el tiempo como “coche del pueblo” [7].



Figura 1.- Presentación del primer Escarabajo en el año 1938 [11].

Dado que el “Vocho”, denominación que tuvo el automóvil popularmente, tenía la facilidad de ser adaptable a algunas carrocerías, en los años posteriores a su lanzamiento, fue usado como vehículo para intervenciones militares. Una vez terminada la Guerra, la marca optó en fabricar más ejemplares de este modelo a gran escala, por lo que llegó a tener un prestigio y popularidad a nivel mundial muy bueno [12].

El auto nacido en Alemania, optó por tener más centros de fabricación a nivel mundial, por lo que llegó a países como Brasil, Sudáfrica y México, siendo este último, el país donde se fabricó las últimas unidades del distinguido modelo. Pues es el año 2003 donde se decide acabar con la elaboración de estos automóviles, dando paso al fin de una era fabulosa para la marca Volkswagen. A partir de aquí a nivel mundial y gracias a la buena acogida del ejemplar, nacen clubs de fans en diferentes países en honor al “Escarabajo”, que hasta el día de hoy mantienen la tradición [13].

Fueron exactamente 21.529.464 unidades las producidas, número que hace una verdadera referencia a la frase “coche idóneo”, pues es que más de veinte millones de personas adquirieron el automotor [14].



Figura 2.- Producción a gran escala del Volkswagen Escarabajo [11].

1.6. Características técnicas del vehículo

El Volkswagen Escarabajo se caracteriza por tener un motor en la parte posterior del vehículo de tipo bóxer conformada por 4 cilindros configurados de forma opuesta, refrigerado por medio de aire y con válvulas en la culata. Su alimentación es dada por un carburador Solex, su transmisión es por medio de una propulsión trasera y contiene una caja de cuatro velocidades, la cual puede llegar a tener un máximo de hasta 3700 rpm, con una cilindrada de 1.192 c.c. pudiendo llegar hasta los 120 km/h. Cada una de sus ruedas cuenta con suspensión independiente por medio de amortiguadores de fricción y barras de torsión, los cuales tienen un sistema de frenado por medio de tambores [15].

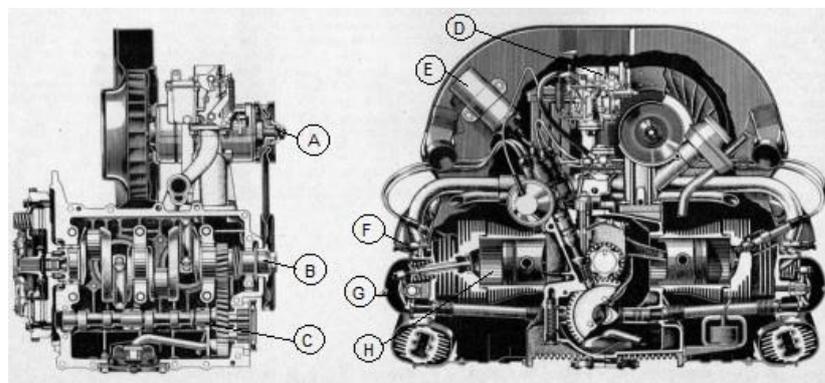


Figura 3.- Esquema lateral y frontal del motor [9].

La tabla 3 indica las partes principales de un motor de Volkswagen Escarabajo, haciendo referencia a la figura 3.

Tabla 3.- Partes principales del motor [9].

Denominación	Referencia
A	Alternador
B	Cigüeñal
C	Árbol de levas
D	Carburador
E	Encendido (Bobina)
F	Bujías
G	Válvulas
H	Cilindros

1.6.1. Características del motor

En la tabla 4 se da a conocer las especificaciones técnicas del motor dadas por el proveedor de origen, para tener en cuenta el rendimiento con el que contará el automotor.

Tabla 4.- Características técnicas del motor Volkswagen Escarabajo [16].

Características	Detalle
Modelo	1600 cc
Volumen	1192 cm^3
Número de cilindros	4
Carrera	64 mm
Relación de compresión	6:1
Calibre (Diámetro de cilindros)	77 mm
Orden de encendido	1 – 4 – 3 - 2
Refrigeración	Aire
Peso total	90 kg aprox.
Encendido	Por batería
Lubricación	Circulación de aceite bajo presión por bomba de engranaje
Momento de encendido	7.3° antes del punto muerto superior

1.6.2. Características del chasis

El chasis es el soporte fundamental de todo vehículo, pues tiene como tarea dotar de rigidez estructural al automotor, es decir debe soportar todo el conjunto de peso, entre carga que deba transportar el coche y pasajeros, por lo que tiene características como la de ser resistente, indeformable y rígido [17]. Por lo que se deben conocer algunas características esenciales acerca del chasis del Volkswagen Escarabajo:

- Contiene un bastidor en forma de túnel con soporte central, por donde pasan todas las cañerías.
- El eje delantero se encuentra atornillado al cabezal del bastidor.
- El motor y la caja de cambios se encuentran atornillados a la horquilla del bastidor.
- Cada rueda cuenta con suspensión independiente.
- Contiene amortiguadores telescópicos de doble efecto, los cuales están colocados en sus 4 ejes.
- Freno hidráulico (pie).
- Freno de mano mecánico accionado sobre las ruedas posteriores, mediante una bomba hidráulica.
- El rodillo con barras de acoplamiento se encuentra libre de engrase [17].



Figura 4.- Esquema del chasis [16].

La tabla 5 indica específicamente cada una de las partes que conforman el chasis de un VW Escarabajo, haciendo referencia al esquema de la figura 4.

Tabla 5.- Partes del chasis de un Volkswagen Escarabajo [9].

Denominación	Referencia
1	Cabeza del bastidor
2	Chapa de refuerzo
3	Soporte para cable de freno
4	Soporte delantero
5	Soporte para pedales
6	Piso
7	Túnel
8	Corredera de asiento
9	Chapa de cierre
10	Soporte para el gato
11	Soporte
12	Horquilla
13	Asiento para la batería
14	Asiento para calefacción
15	Soporte para freno de mano
16	Asiento para palanca de cambio

Las tuberías por las cuales se transportan los distintos fluidos principales del automotor, pasan por el túnel principal del bastidor, siendo las principales el cable del embrague, tubería de combustible, cable del acelerador, cable del freno de mano y los conductos de frenado, el cual, cuando el conductor acciona el pedal se distribuye a las 4 ruedas del vehículo [16].

A continuación, se especifica por medio de un esquema, como están distribuidos los distintos cables y tuberías con las que cuenta el vehículo.

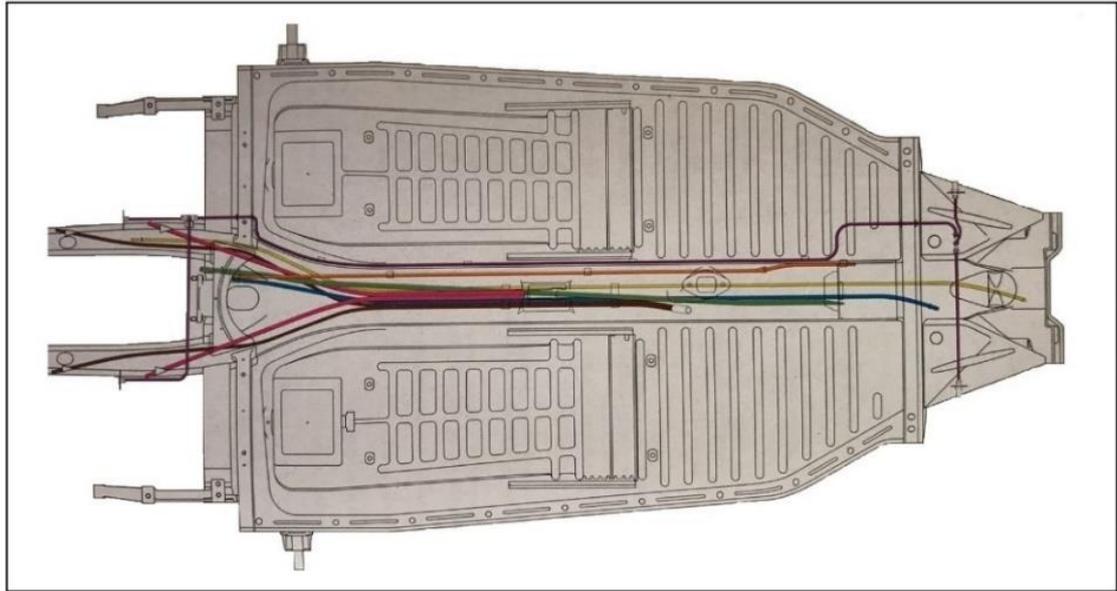


Figura 5.- Distribución de cables y tuberías [16].

En la tabla 6 se encuentra detallado por medio de código de colores los distintos conductos, la cual hace referencia a la figura 5.

Tabla 6.- Bastidor con tubos guía.

Referencia	Detalle
	Tubería de combustible
	Conductores de freno
	Tubo – Guía del cable obturador de aire
	Tubo – Guía de embrague
	Tubo – Guía del cable del acelerador
	Tubo – Guía del cable de freno de mano
	Tubo – Guía del cable de la válvula de calefacción

El método por el cual se puede separar la carrocería del chasis de un Volkswagen Escarabajo es relativamente sencillo, pues en la parte inferior existen pernos que cumplen la función de fijación. Una vez desatornillados todos los pernos desde la parte delantera hacia la posterior y con la ayuda de los equipos necesarios, se podrá separarlos haciendo un poco de presión sobre las bases principales. Dicha ventaja fue

tomada años atrás por entidades militares de Alemania para adaptarlos a diferentes carrocerías, con mucha más resistencia a agentes externos [7].

La figura 6 muestra de manera gráfica la forma correcta de cómo se realiza el desacoplamiento entre ellos:

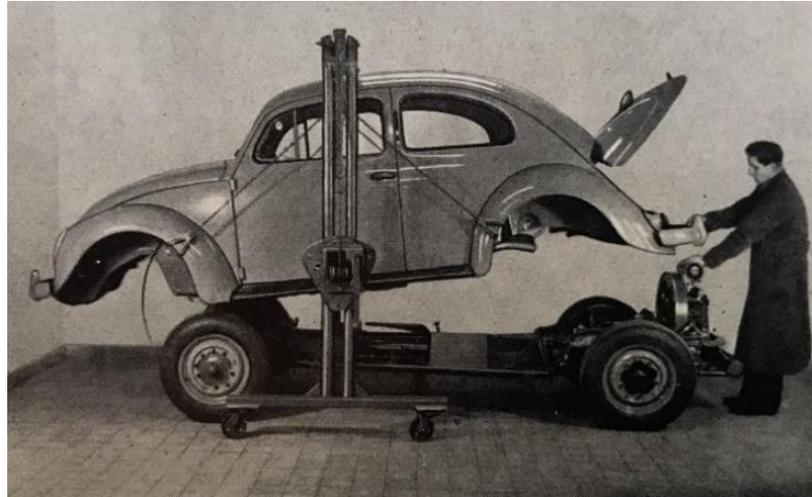


Figura 6.- Desacople de carrocería del chasis [16].

Los datos que se presentan en la tabla 7 son aquellos con los que de manera original cuenta el chasis. Estos se deben tomar en cuenta cuando se realice algún cambio en su estructura para que el comportamiento siga siendo relativamente el mismo al proporcionado por el fabricante.

Tabla 7.- Datos técnicos del chasis de un Volkswagen Escarabajo [16].

Denominación	Detalle
Batalla	2400 mm
Rado de viraje	Aproximadamente 5.5 m
Ancho de vía delantera	1305 mm
Convergencia	En peso a vacío de 2 a 4 mm
Ancho de vía trasera	1350 mm
Ruedas	4 J x 15
Presión de inflado	Neumáticos delanteros: 1.1 kg /cm ² o 11000 kg /m ² Neumáticos traseros: 1.7 kg /cm ² o 17000 kg /m ²

1.7. Dimensiones del automotor

Las dimensiones del vehículo están distribuidas en dos partes, las exteriores que comprenden lo que es la carrocería y altura exacta desde el piso, y las dimensiones interiores que comprende las medidas exactas del chasis.

1.7.1. Dimensiones exteriores

La figura 7 muestra las vistas lateral y superior del vehículo, las cuales exponen de manera detallada los puntos de referencia para indicar las medidas externas de la carrocería dadas por el proveedor de origen.

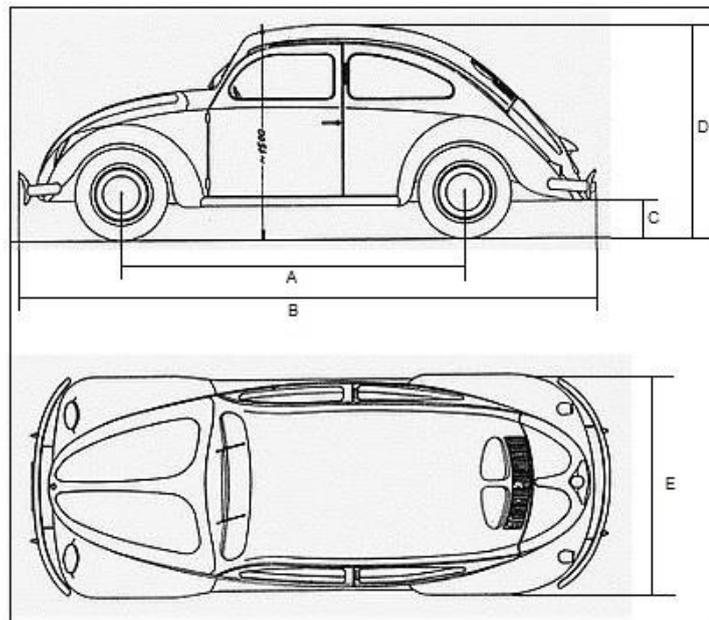


Figura 7.- Vista lateral y superior de la carrocería [18].

Por medio de la tabla 8, se dan a conocer las dimensiones de un Volkswagen Escarabajo, cada una de ellas expresadas en milímetros.

Tabla 8.- Dimensiones exteriores del vehículo [19].

Identificación	Detalle (mm)
A	2400
B	4070
C	150
D	1500
E	1550

1.7.2. Dimensiones interiores

La figura 8 detalla las dimensiones principales del bastidor de un Volkswagen Escarabajo, donde se toman en cuenta los puntos de apoyo de la carrocería y el lugar de anclaje de ésta.

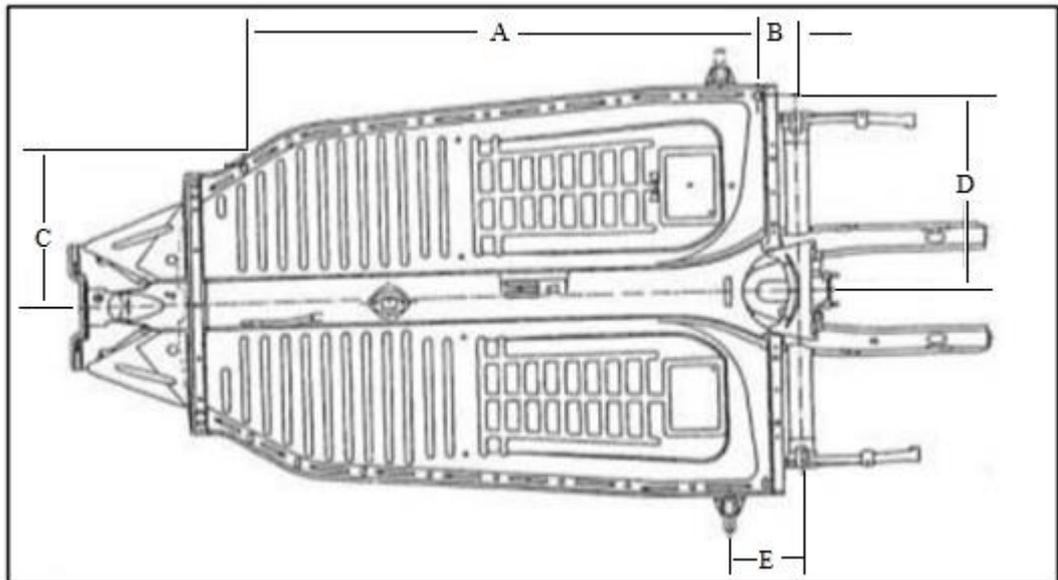


Figura 8.- Vista superior del chasis [16].

Por medio de la tabla 9, se dan a conocer las dimensiones del bastidor de un Volkswagen Escarabajo, cada una de ellas expresadas en milímetros, haciendo referencia a la figura 8.

Tabla 9.- Dimensiones interiores del vehículo [19].

Identificación	Detalle (mm)
A	1528.8 – 1529.2
B	104.5 – 105.5
C	402.5 – 403.5
D	582 – 583
E	204 - 205

1.8.Sistema de frenado

El Volkswagen Escarabajo tiene un sistema de frenado hidráulico, el cual está basado en la ley de Pascal, la cual menciona que “la presión aplicada sobre un líquido contenido en un comportamiento, se reparte uniformemente en todas las direcciones” [20].

Este sistema se compone principalmente de un cilindro principal, dentro del cual se producirá la presión hidráulica, seguido del depósito compensador, el cual es el encargado de mantener constante el volumen del líquido que se necesita para tener un buen funcionamiento; cuenta también con los cilindros de los frenos donde la presión producida en el cilindro principal, cumple con la función de empujar las zapatas contra los tambores de freno. Finalmente, las canalizaciones servirán como agente comunicador entre el cilindro principal y los cilindros de freno tanto de las ruedas, los tubos flexibles y sus respectivas armaduras las cuales se encuentran ubicadas entre las piezas móviles [16].

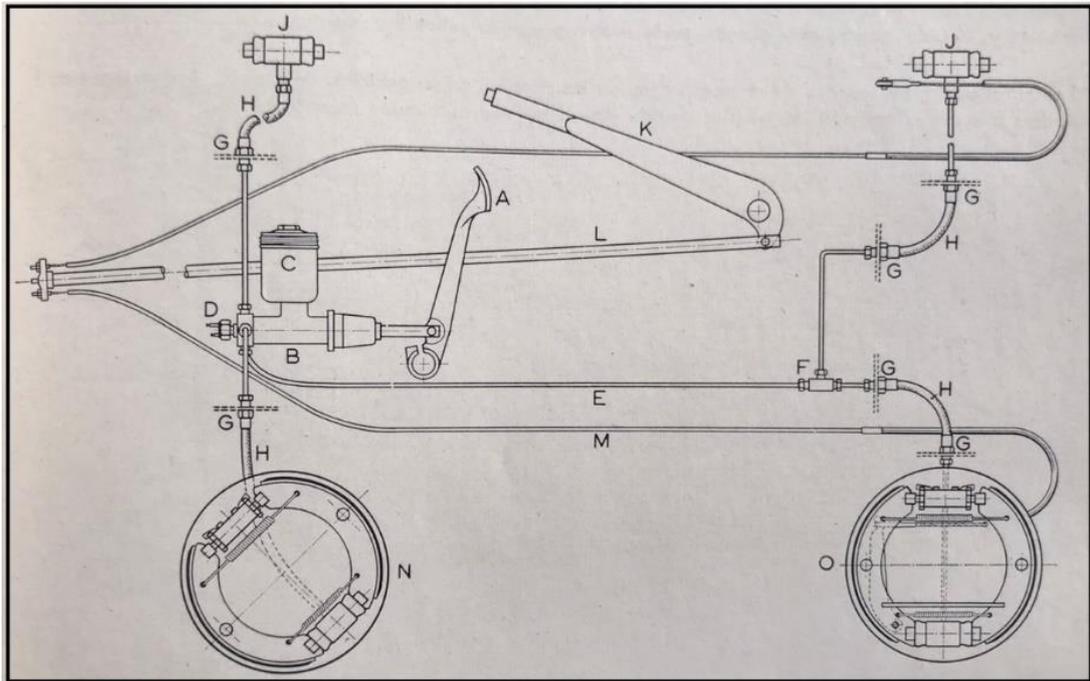


Figura 9.- Esquema del sistema de frenado hidráulico [16].

A través de la tabla 10, se exponen las partes por las cuales está formado el sistema de frenos hidráulicos, expuesto en la figura 9.

Tabla 10.- Partes de un sistema de frenado hidráulico [16].

Identificación	Detalle
A	Pedal del freno
B	Cilindro principal
C	Depósito compensador
D	Interruptor de la luz de pare
E	Tubería del freno
F	Conexión tipo T
G	Soporte para el tubo flexible
H	Tubo flexible
J	Cilindro de frenos de las ruedas
K	Freno de mano (Palanca)
L	Biela de mano del freno de mano
M	Tubo y guía del cable de freno de mano
N	Freno de las ruedas delanteras
O	Freno de las ruedas posteriores

1.9.Función de la carrocería

La carrocería es la estructura exterior de todo vehículo, por lo que es la que dota la apariencia de éste, tiene la función de albergar a los pasajeros y evitar que cualquier cuerpo se introduzca dentro. El confort y la seguridad son otros beneficios que nos brinda, por lo que ésta tiene que contar con diferentes características especiales, como son la elasticidad para absorber la inercia del vehículo, y rígida para protección tanto del conductor como de sus acompañantes. Varios son los análisis de materiales que se deben realizar para que tengan concordancia en cuanto a estas dos características y la estructura funcione con los valores adecuados [21].

Una de las características con las que debe contar una carrocería es la de tener una buena eficacia aerodinámica, pues así el vehículo contara con mayor velocidad con menos potencia y consumo. Hay que tener en cuenta que no debe pasar del peso adecuado [21].

1.9.1. Componentes de la estructura de la carrocería

Dentro de los componentes de la carrocería encontramos diferentes tipos de elementos, tanto a nivel externo como interno. En cuanto a los componentes externos que conforman la estructura encontramos algunos como [22]:

- Puertas
- Capot
- Faros
- Faros antiniebla
- Paragolpes
- Llantas
- Neumáticos
- Luna
- Asiento
- Tirador
- Faro trasero
- Paso de rueda
- Paragolpes trasero
- Retrovisor
- Intermitente

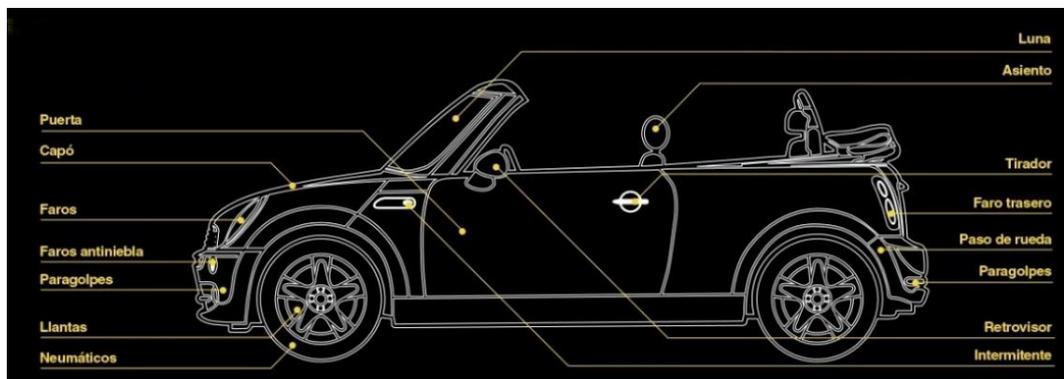


Figura 10.- Elementos externos de una carrocería [22].

En los elementos internos, encontramos [23]:

- Caja de cambios
- Dirección
- Zona rígida
- Zona deformable
- Maletero
- Suspensión
- Motor
- Embrague
- Asientos
- Acelerador
- Freno
- Tanque de gasolina

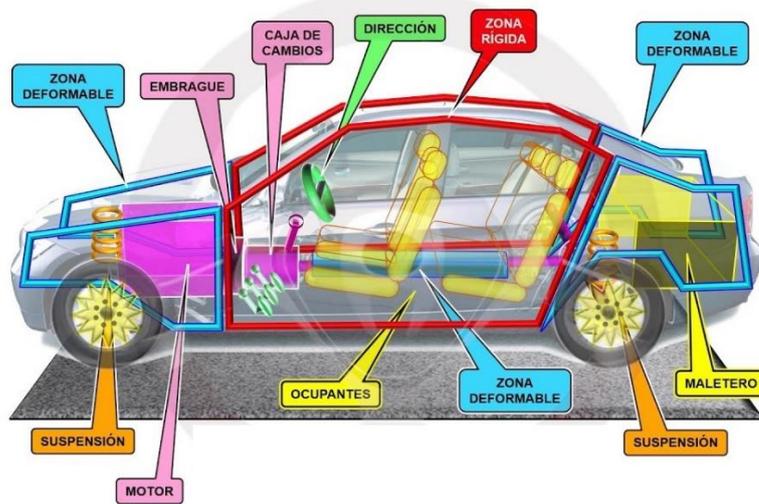


Figura 11.- Elementos internos de una carrocería [23].

1.9.2. Tipos de carrocería

Las carrocerías se clasifican de acuerdo a:

- Su chasis
- Cantidad de volúmenes
- Número de puertas
- Tamaño de su cabina
- Su parte trasera y
- Su elevación.

A continuación, se detallan cada una de ellas:

Tabla 11.- Clasificación de las carrocerías de acuerdo a su chasis [24].

Tipo	Detalle
Chasis independiente	El chasis o bastidor soporta todo el peso conjunto de la caja de cambios, motor y carga, siendo la carrocería una simple estructura que lo cubre, sin tener mayor función.
Chasis autoportante	Es aquella carrocería que está unida al chasis, donde la chapa externa del automotor soporta todo el peso de la estructura.

Tabla 12.- Clasificación de las carrocerías de acuerdo a cantidad de volúmenes [25].

Tipo	Detalle
Monovolumen	Es aquella donde se combina toda su estructura en una sola parte, es decir su cabina, cofre y maletero están compartiendo el mismo espacio.
Dos volúmenes	Se diferencian dos volúmenes, uno para el conductor y acompañantes además de su carga y el otro que sirve para el motor en conjunto con el capot.
Tres volúmenes	Cada espacio del automóvil tiene su propio espacio, están distribuidos en 3 volúmenes claramente vistos, uno para el motor, el segundo para los pasajeros y el último para el maletero.

Tabla 13.- Clasificación de las carrocerías de acuerdo a su número de puertas [24].

Tipo	Detalle
Tres puertas	Solo cuentan con puertas el conductor y su copiloto, para el asiento trasero se tienen que reclinar los asientos, teniendo en cuenta que ocupan el mismo lugar la cajuela con la cabina.
Cuatro puertas	Carrocería de tres volúmenes, donde tiene su propio espacio la cajuela, conductor y todos sus acompañantes tienen disponible una puerta.
Cinco puertas	Carrocería de dos volúmenes, donde cada pasajero tiene su puerta y existe una adicional para el maletero.

Tabla 14.- Clasificación de las carrocerías de acuerdo al tamaño de su cabina [24].

Tipo	Detalle
Compacto	Generalmente es una carrocería de dos volúmenes compuesta por tres puertas.
Coupé	Conocido por tener menor espacio para su maletero por el “corte” en su parte trasera.
Roaster	Se denominan así a las carrocerías descapotables en modelos cupés, es decir al aire libre.
Sedán	Modelo de carrocería donde sobresale su maletero en la parte trasera del automotor.
Berlina	Tiene semejanza con el sedán, diferenciándolo únicamente en sus dimensiones.
Familiar, touring	Carrocerías para autos de turismo donde el techo se conforma en parte recta en relación a las lunas traseras.

Tabla 15.- Clasificación de las carrocerías de acuerdo a su parte trasera [25].

Tipo	Detalle
Notchback	Modelo de tres volúmenes donde la cajuela es menos voluminosa en relación a los demás.
Hatchback	Modelos donde sobresale la relación que existe entre la aerodinámica y el espacio, generalmente están compuestos entre 3 o 5 puertas.
Liftback	Modelo parecido al hatchback, diferenciándolo en su parte trasera donde la quinta puerta esta inclinada fuertemente.
Fastback o sportback	Diseño de carrocería donde el techo se inclina levemente hacia la cola del automóvil.

Tabla 16.- Clasificación de las carrocerías de acuerdo a su elevación [24].

Tipo	Detalle
Todo terreno	Carrocerías compuestas por un chasis independiente, adaptable a cualquier superficie.
Camioneta	Modelo donde su parte posterior de carga está a aire libre, esta se encuentra detrás de la cabina principal.
Crossover	Carrocería compuesta por 3 o 5 puertas, que tiene similitud con los de turismo, con más o menos prestaciones off-road.

1.10. Equipos necesarios en el desmontaje y separación de elementos fijos

Existen diferentes tipos de herramientas y útiles de trabajo que cumplen la función de cortar, desmontar, montar, desoldar, entre otras, en la carrocería de un vehículo. En las tablas 17 a 22 se muestran algunas de las herramientas que se utilizan comúnmente en la industria automotriz para el desmontaje de elementos fijos [26].

- Sierra

Es la herramienta más común para realizar el trabajo de corte, puesto que debido a su facilidad de manejo o por su estructura resulta más eficaz en el cumplimiento de sus funciones.

Su estructura es presentada por una lámina de acero duro dentado que oscila entre los 0.8 mm a 2 mm de espesor, donde su dentadura presenta algunas formas: ondulado, cónico, triscado, entre otras [26].

La tabla 17 muestra los tipos de sierras que existen, en función de su forma y método de accionamiento.

Tabla 17.- Herramienta: Sierra [26].

Clasificación	Detalle
<p data-bbox="488 360 668 394">Sierra de arco</p> 	<p data-bbox="866 360 1390 674">Esta sierra está en función de su accionamiento manual. Hay que recalcar que la sierra de arco es una hoja de sierra montada sobre una especie de arco que se utiliza para cortar elementos de calibre pequeño.</p>
<p data-bbox="488 696 668 730">Sierra circular</p> 	<p data-bbox="866 696 1390 1055">Esta sierra está formada por un disco dentado, el cual cumple con la función de corte. Su accionamiento puede ser de dos maneras: neumática o eléctrica. Se utiliza generalmente donde la pieza en cuestión es totalmente plana, es decir no presenta desniveles.</p>
<p data-bbox="472 1106 684 1140">Sierra neumática</p> 	<p data-bbox="866 1106 1390 1290">También llamadas sierras de vaivén, son aquellas que funcionan por medio de aire comprimido para cumplir con su trabajo de corte.</p>

- Cincel

Un cincel es una herramienta fabricada en acero templado y forjado, el cual cumple su trabajo en los procesos de cincelado. Están comprendidos por 3 partes principales:

Cincel y sus partes



Figura 12.- Componentes de un cincel [26].

- Cabeza: Ubicada en la parte superior de la herramienta, la cual es de forma cónica, redondeada. Es aquí donde se golpea con el martillo.
- Cuerpo: Zona centro de la herramienta, donde se sujeta ésta. Comúnmente, está cubierta con un protector para evitar lesiones en la mano, al momento de ejecutar la función.
- Filo: Parte del cincel que entrará en contacto con la zona que necesita el corte. Dependiendo del trabajo que se vaya a realizar, esta puede optar entre ángulos y formas con la que se la maneje.

- Mantas ignífugas

Los diferentes procesos que implican el desmontaje de una carrocería, que involucran tareas como corte, están ligados a desprendimientos de chispas, las cuales pueden provocar un incendio, es por ello que se utilizan las mantas ignífugas, y con ello precautelar la integridad humana [27].

Otra de las principales funciones de estas herramientas es la de proteger las partes adyacentes donde se esté trabajando, con el fin de separar solo las piezas deseadas.



Figura 13.- Manta ignífuga [26].

- Despunteadora

La despunteadora es la herramienta eficaz para eliminar puntos de soldadura que mantiene fijos a dos elementos, ya que por medio de su funcionamiento los elimina. Comúnmente, funcionan con aire comprimido a una presión de 6 bar y aproximadamente rotan a 1600 rpm. Entre sus ventajas es que no deja rastro de material una vez terminado el proceso, así como no produce daño alguno sobre la pieza en la que se va a realizar el montaje de recambio [26].

Tabla 18.- Herramienta: Despunteadora [26].

Imagen	Detalle
<p data-bbox="461 360 715 394">Broca de despuntar</p> 	<p data-bbox="884 376 1390 465">Es aquella herramienta que está en contacto con las uniones a separar.</p>
<p data-bbox="405 508 770 542">Despunteadora con regulador</p> 	<p data-bbox="884 618 1390 707">Se caracteriza por tener un regulador y así controlar el proceso de despuntado.</p>
<p data-bbox="453 826 724 860">Profundidad de corte</p> 	<p data-bbox="884 842 1390 1043">Se indica cual es la profundidad a cortar en este tipo de despunteadora, por lo cual su uso es más adecuado que un taladro estándar.</p>

- Taladro

El taladro es comúnmente utilizado para la separación de puntos de soldadura, así como el de realizar orificios en las chapas. Tales acciones con el fin de separar elementos que permanecen unidos. Existen algunos tipos en cuanto a su accionamiento, la tabla 19 indica los diferentes modelos [26].

Como acople principal de los taladros se utilizan brocas, éstas de diferente numeración, en cuanto a su necesidad.



Figura 14.- Juego de brocas [28].

Tabla 19.- Herramienta: Taladro [26].

Clasificación	Detalle
<p data-bbox="469 360 687 394">Taladro eléctrico</p> 	<p data-bbox="868 506 1390 595">Su accionamiento está en función de la corriente disponible a nivel local.</p>
<p data-bbox="456 763 700 797">Taladro neumático</p> 	<p data-bbox="868 864 1390 1010">Su accionamiento está en relación con aire comprimido el cual se lo lleva a cabo por medio de un compresor.</p>
<p data-bbox="475 1135 681 1169">Taladro manual</p> 	<p data-bbox="868 1207 1390 1408">Cuando no existe la disponibilidad de luz eléctrica, el taladro manual es la mejor opción para realizar trabajos, por medio de la fuerza ejercida manualmente.</p>

- Amoladora

Es utilizada principalmente como herramienta para corte, así como para el proceso de desbastado de ciertas superficies de elementos en la carrocería, por ello es considerada una de las herramientas más versátiles del mercado. La amoladora se utiliza para eliminar la superficie hasta llegar a los puntos de unión [29].

La tabla 20 indica los diferentes tipos de amoladora que existen en el mercado.

Tabla 20.- Herramienta: Amoladora [26].

Clasificación	Detalle
<p data-bbox="470 360 687 394">Amoladora recta</p> 	<p data-bbox="868 360 1390 667">Se caracteriza por tener el espacio para colocación del disco en la parte superior de la herramienta, dado que, una vez insertado el disco, se distingue una forma perpendicular entre la herramienta y el disco.</p>
<p data-bbox="435 696 722 730">Amoladora neumática</p> 	<p data-bbox="868 696 1390 1003">Su funcionamiento es igual a la amoladora recta, nada más que su accionamiento generalmente es producido por medio de un compresor, el cual abastece a la máquina de aire comprimido.</p>
<p data-bbox="427 1039 730 1072">Amoladora inalámbrica</p> 	<p data-bbox="868 1099 1390 1350">La característica principal de una amoladora inalámbrica es que funciona por medio de una batería recargable, la cual deja de lado el uso de cables para su uso.</p>

- Discos de corte y desbaste

Existen dos tipos de discos para insertar en la amoladora: la de desbaste y la de corte, y la función de estos depende del trabajo que se vaya a realizar.

Es de mayor relevancia el uso de protección personal cuando se trabaje con este tipo de herramientas, puesto que las lesiones que puede causar en personas llegan a ser muy graves [30].

Las medidas que se deben tomar en consideración, son las siguientes.

- Uso de guantes
- Uso de gafas protectoras

- Uso de casco para contraer el ruido
- Uso de mascarilla.

Tabla 21.- Herramienta: Discos de corte y desbaste [26].

Clasificación	Detalle
<p data-bbox="443 495 676 524">Disco de desbaste</p> 	<p data-bbox="826 566 1391 707">Su estructura está diseñada para un movimiento circular con escasas vibraciones.</p> <p data-bbox="826 730 1391 875">Son útiles para igualar los cordones de soldadura, así como para desbastarlos hasta llegar al punto de eliminarlos.</p>
<p data-bbox="464 972 655 1001">Disco de corte</p> 	<p data-bbox="826 1077 1391 1162">Son ocupados para alisar y moldear superficies duras.</p> <p data-bbox="826 1184 1391 1330">Su elaboración está en base a materiales como aluminio, diamante sintético, hierro, granate, esmeril, entre otros.</p>

- Martillo

Existen ocasiones donde un golpe es necesario en el proceso de separación. En especial cuando se realizan procesos de cizallado o para las partes finales del trabajo, cuando se engatillan dos elementos, se necesita la ayuda de un martillo.

La tabla 22 muestra los diferentes martillos que existen, en función del trabajo que realizan.

Tabla 22.- Herramienta: Martillo [26].

Clasificación	Detalle
<p>Martillo de golpeo</p> 	<p>Este martillo se ocupa comúnmente con ayuda de un cincel, y se utiliza para procesos donde se necesite movimiento fuerte.</p>
<p>Martillo de acabado</p> 	<p>Este tipo es más específico, pues en su estructura muestra formas especiales en su cabeza, y con acabado superficial bastante fino, para con ello conservar el material a ser tratado, y con ello no dejar huellas.</p>

1.11. Proceso de soldadura

Este es un proceso que busca la fijación de dos o más piezas para un material en específico, ya sea metálico o termoplástico. Esto se logra a través de la coalescencia, es decir la fusión, donde las piezas se sueldan fundiéndose, se puede agregar un material como metal o plástico para formar un baño de soldadura, el cual al enfriarse formará una unión fija llamada cordón [31].

1.11.1. Tipo de soldadura utilizada en la investigación

- Soldadura por arco eléctrico

Este tipo de soldadura es una de las más conocidas, esta utiliza una corriente continua o alterna que permite derretir metales, su proceso varía dependiendo de la fuente de

energía, el tipo de electrodos, y el uso de un determinado gas, o de algún otro material que pueda alterar la interacción de los componentes.

Este tipo se basa principalmente en el sometimiento de dos conductores que se encuentran en contacto a una diferencia de potencial, por lo cual se establece un tipo de corriente eléctrica entre los dos [32].

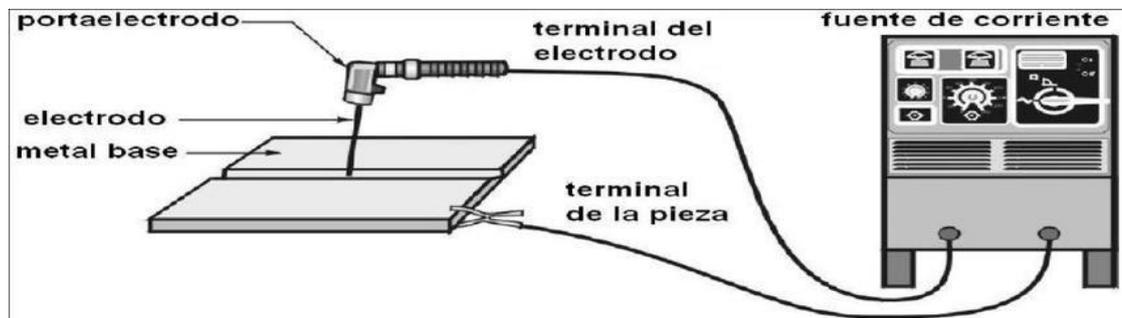


Figura 15.- Soldadura por arco eléctrico [32].

1.11.2. Tipos de electrodos

Para la soldadura es importante conocer los tipos de electrodos para poder elegir el mejor y más adecuado para las piezas de metal que serán soldadas.

Encontramos dos tipos de electrodos, los desnudos y recubiertos o revestidos. Los electrodos desnudos no protegen a los materiales fundidos contra los gases como el oxígeno y el nitrógeno, y por lo tanto la calidad de soldadura es inferior, este tipo de electrodos se usan solo en cordones secundarios y en cargas estáticas. En cuanto a los electrodos revestidos, son los más usados para soldaduras metálicas, se encuentran protegidos con un revestimiento de distintas sustancias, que protegen al metal fundido de los gases de la atmósfera y además estabilizan al arco eléctrico [31].

Los electrodos revestidos se encuentran clasificados en 5 tipos, que son:

- Electrodo celulósico
- Electrodos de rutilo
- Electrodos de ácido
- Electrodos básicos

Para los electrodos desnudos no se tiene una clasificación.

Tabla 23.- Electrodo AWS A5.1-69 y A5.5-69 [33].

a. La letra E antepuesta a las cuatro o cinco cifras identifica a los electrodos aptos para soldadura por arco.	
b. Los primeros dos números de los cuatro o los tres números de los cinco indican resistencia mínima a la tracción.	
• E60XX	60000 psi mínimo
• E70XX	70000 psi mínimo
• E110XX	70000 psi mínimo
c. El próximo dígito indica las posiciones posibles de la soldadura	
• EXX1X	Todas las posiciones
• EXX2X	Plana y horizontal
d. La letra con número final indica la aleación aproximada del metal depositado por la soldadura.	
• A1	0.5 % Mo
• B1	0.5 % Cr; 0.5 % Mo
• B2	1.25 % Cr; 0.5 % Mo
• B3	2.25 % Cr; 1 % Mo
• B4	2 % Cr; 0.5 % Mo
• B5	0.5 % Cr; 1 % Mo
• C1	2.5 % Ni
• C2	3.25 % Ni
• C3	1 % Ni; 0.35 % Mo; 0.15 % Cr
• D1 y D2	0.25 – 0.45 % Mo; 1.75 % Mn
• G	0.5 % ≤ Ni; 0.3 % ≤ Cr; 0.2% ≤ Mo; 0.1 % ≤ V; 1 % ≤ Mn (sólo un elemento de la lista)

1.11.3. Características de los revestimientos

Dentro de la clasificación de los electrodos recubiertos, existen algunos materiales que se utilizan para este proceso. Los compuestos pueden ser metalúrgicos, minerales y orgánicos, dentro de los cuales podemos nombrar a ferroaleaciones como el

manganeso y titanio; así también se utilizan óxidos de manganeso, de titanio, entre otras. Como aglutinante se suelen emplear silicatos alcalinos solubles [32].

Cada sustancia utilizada en el revestimiento cumple con una función específica, la tabla 24 indica cada una de ellas.

Tabla 24.- Función de cada sustancia dentro del revestimiento [32].

Sustancia	Función
Carbonato Cálcico	Gas protector
Dolomita	Gas protector
Silicato potásico	Estabiliza el arco aglomerante
Óxido de hierro	Forma escoria y aleante
Óxido de manganeso	Forma escoria y aleante
Mica	Facilitar la extrusión
Arcilla	Facilitar la extrusión
Titanio potásico	Estabiliza el arco
Celulosa	Gas protector
Polvo de hierro	Mejorar la velocidad de deposición

Los electrodos en cuanto al tipo de revestimiento se clasifican como:

- Ácidos: Se componen principalmente de feldespato y óxido de hierro.
- Rutilos: Su principal componente es el óxido de titanio.
- Básicos: Se componen de tres componentes en igual proporción: carbonato cálcico, espato de flúor y óxido de titanio.
- Celulósico: Esta básicamente compuesto de celulosa como formador de gas protector y rutilo [34].

1.12. Restauración de automotores

1.12.1. Oxidación del auto

Los vehículos no solamente se oxidan por la humedad, roces o golpes, sino también por los años y la falta de mantenimiento del mismo. Debido a que los autos tienen piezas elaboradas en acero, son propensos a oxidarse con tan solo estar en contacto con el agua o aire, produciendo así una catálisis. Posterior a ello se produce la

corrosión, donde las superficies afectadas por el óxido se erosionan y carcomen, volviéndose cada vez más delgadas. Para poder evitar las oxidaciones y corrosiones es necesario los mantenimientos, en especial en aquellos lugares ocultos donde pueda existir humedad para así evitar daños en la carrocería [35].

1.12.2. Pasos para la restauración de un vehículo

Para poder restaurar un auto antiguo o que ya no se encuentre en uso, es necesario tener en cuenta algunos aspectos como su edad y condición, y seguir algunos pasos básicos como:

- Desmantelamiento del auto para acceder de forma fácil a todas las partes.
- Reconstrucción del motor en caso de ser un auto de colección y su restauración sea viable.
- Reconstrucción del tren de transmisión y lubricado adecuado.
- Restauración de la estructura, removiendo el óxido, reparando las partes corroídas y sin deformaciones o curvas producidas por choques.
- Inspección de suspensión por desgaste y en caso de estar corroída, reconstruirla.
- Reconstrucción de componentes eléctricos como el alternador, la batería, etc.
- Restauración del cuerpo, en caso de ser un auto de metal se deberá optar por soldar parches nuevos de metal en las zonas rotas u oxidadas.
- Restauración del cromo, eliminando la oxidación.
- Restauración del panel y revisión del cableado para asegurar el funcionamiento.
- Reconstrucción de los componentes de metal antes de rearmar el auto.
- Reemplazo del tapiz desgastado de asientos, techo y puertas si es necesario.
- Restauración del vidrio de las ventanas y el parabrisas [36].

1.13. Diseño de carrocería

1.13.1. Parámetros de diseño

Diseño se llama al proceso creado para llegar a cubrir una necesidad referente a un problema, el cual al llevarlo a la realidad tiene gran relevancia en la sociedad. Lo que un diseño estructural busca es que su propuesta de diseño no falle en ningún momento, y su vida útil sea duradera, por lo que debe contar con características principales como ser segura, útil y funcional [37].

1.13.2. Requerimientos de diseño

Para diseñar, el punto de partida es el de conocer los requerimientos del objeto a diseñar. Existen dos tipos de requerimientos, los que son propios del objeto mismo y los de la función del objeto [37].

1.13.2.1. Requerimientos funcionales

Los requerimientos funcionales son propios de su destino o finalidad, estos están previos al objeto a diseñar. Tomando en cuenta que no todas las veces los requerimientos funcionales tiene que ver con el semblante utilitario.

Un semblante que no es muy advertido en estos requerimientos es el de que deben ser cumplidos por la estructura, sin importar la solución que se adopte para ella [37].

1.13.2.2. Requerimientos intrínsecos

Los requerimientos intrínsecos son propios de la estructura misma y nacen con ella. Hay que recalcar que no es automática la existencia de la estructura, por lo que se considera es el inicio de todo el proceso, la cual incluirá las decisiones más importantes. Por lo que una estructura debe cumplir con condiciones principales de resistir, limitar deformaciones, perdurar y, antes de nada, debe existir [37].

1.13.3. Herramientas de computación

Para el diseño propio de la estructura se utiliza un software CAD (por sus siglas en español: Dibujo Asistido por Computadora), el cual comprende todo el proceso de modelado tanto bidimensional como tridimensional, donde se obtiene un análisis real y exacto de cómo reaccionarán los materiales ante el diseño a construirse. El software de análisis estudiará cada una de las propiedades mecánicas que se le otorgue al material y las cargas que se le aplique a la estructura [38].

1.14. Ingeniería asistida por computadora

La ingeniería asistida por ordenador CAE (por sus siglas en inglés: Computer Aided Engineering) es una herramienta utilizada por usuarios que se dedican al análisis de forma virtual de productos de ingeniería con el objetivo de que sus diseños sean mejores para secciones muy diversas. Sus principales funciones son las de simular,

validar y optimizar productos de acuerdo a los resultados que exponga el programa de manera numérica [39].

Con la ayuda de un computador, los usuarios pueden realizar diversos análisis como, por ejemplo: análisis dinámicos, estáticos, análisis de fluidos, electromagnéticos, térmicos, acústicos, entre otros. Estos con la finalidad de brindar algunos beneficios como el aumento de la productividad, reducción en el tiempo de elaboración de proyectos, ayuda en la identificación de soluciones y facilidad en la detección de fallas.

Este proceso comprende tres etapas principales:

- Preprocesamiento: El profesional modela la geometría o llamada también representación del sistema, la cual comprende las propiedades físicas del diseño, cargas aplicadas o las limitaciones que esta tenga.
- Resolución: El modelo es resuelto bajo el método matemático adecuado.
- Postprocesamiento: Los resultados expuestos son presentados al ingeniero para su revisión y análisis [40].

1.14.1. Ventajas del CAE

- Aumento de la productividad
- Detección de errores en un tiempo oportuno
- Facilidad en el diseño
- Obtención de producto de calidad y económico
- Exactitud en la fabricación.

1.14.2. Desventajas del CAE

- La tecnología en la actualidad ha abierto camino a nuevos desarrollos, pero esto implica contar con un software y hardware especializado y calificados para el trabajo, lo que puede implicar un mayor costo en su adquisición [41].

1.15. Método de análisis por elementos finitos (FEA)

Este método que se realiza por medio de un computador se utiliza principalmente en el campo de la industria para analizar y mejorar la calidad de proyectos y productos.

Este método se caracteriza por predecir cual será la reacción de un producto frente a fenómenos externos como las fuerzas, el calor, la vibración, flujo de fluidos entre

otros. La simulación llevada a cabo tiene la finalidad de comprobar si un producto se desgastará, se romperá o funcionará normalmente como fue programado [42].

1.15.1. ¿Cómo funciona el método FEA?

La pieza o geometría a analizar es sometida a cargas y restricciones, es subdividida en partes mucho más pequeñas, a los cuales se les denomina “elementos”, los cuales son los que representan el continuo dominio del problema a resolver. Las ecuaciones matemáticas permiten predecir de manera efectiva cual va a ser el comportamiento de los miles de elementos, el computador realiza una suma de todas las partes pequeñas para predecir el comportamiento en conjunto real [42].

Entre los análisis que realiza este método podemos nombrar algunos:

- Vibración mecánica
- Flujo de fluidos
- Movimiento
- Esfuerzo mecánico
- Fatiga
- Transferencia de calor

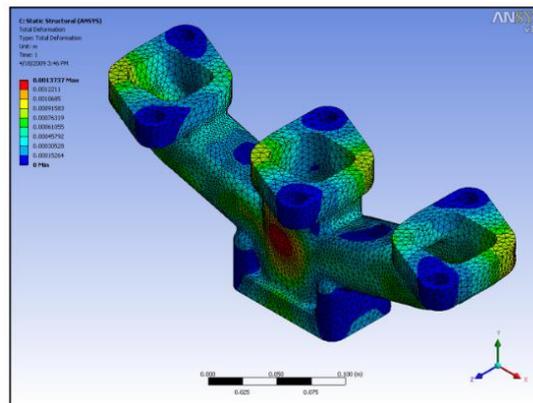


Figura 16.- Pieza analizada por el método FEA [43].

1.15.2. Elementos “beam”

Los elementos “beam” son utilizados por medio del software ANSYS para crear una idealización unidimensional matemática de una estructura 3D. Se caracterizan por ofrecer eficientes soluciones de manera computacional, esto comparándolo con elementos sólidos o de vaciado. En cuanto al análisis no lineal, estos elementos otorgan

sólidas capacidades y significativas mejoras en la definición, el análisis y la visualización de datos entre diferentes sectores [44].

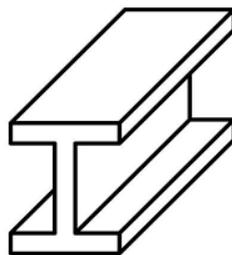
Los elementos “beam” o también conocidos como elementos viga, son aquellos que trabajan a flexión, donde cada nodo presenta 6 grados de libertad, 3 rotacionales y 3 desplazamientos. Las deformaciones que experimentan estos elementos son axial, transversal y angular. Una vez creada la geometría de la estructura a analizar, es esencial designar el área de sección transversal.

Para un buen análisis de estos elementos es necesario cumplir con ciertas condiciones:

- Debe ser uniforme la sección transversal de la viga
- La viga debe ser relativamente larga y angosta con respecto a su peralte
- La viga debe ser recta
- La inestabilidad no debe ser un factor de fallo en ningún lugar de la viga
- Las cargas y reacciones deben aplicarse de manera perpendicular al eje de la viga
- El material de la viga debe ser homogéneo
- El módulo de elasticidad de cada material debe ser igual tanto a compresión como a tensión [44].

Los elementos “beam” se pueden clasificar en tres: vigas lineales, cuadráticas y cúbicas.

Los dos primeros tipos de vigas son deformables por cizallamiento y mantienen presentes las deformaciones axiales finitas, por este motivo, se recomienda utilizar para modelar vigas robustas y delgadas. Mientras que las vigas cúbicas no tienen en cuenta la flexibilidad al corte, por ello asumen un pequeño esfuerzo axial, aunque las grandes rotaciones y desplazamientos se consideran válidos en las vigas, es por esto que son adecuadas para vigas delgadas [45].



Elemento Beam

Figura 17.- Ejemplo de sección transversal de un elemento “beam” [45].

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1.Diseño de la investigación

Dado que el objetivo del estudio es diseñar una estructura adaptable al chasis de un Volkswagen escarabajo, bajo los parámetros automotrices, la cual cuente con todas las seguridades y comodidades para los usuarios que lo utilicen; se recurrió a un diseño experimental ya que las diferentes condiciones o niveles de la variable independiente se asignarán a un experimento.

La investigación estará basada en la norma INEN NTE 1323 referente a la construcción de carrocerías para autobuses y automóviles, la cual permite someter el diseño a factores externos y así comprobar el comportamiento que tendrá el diseño frente a estos.

De acuerdo a Majors James Brickell, “la investigación experimental, es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas, qué variables hay que manipular, de qué manera, cuántas veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza predefinido la necesidad de una presunta relación de causa-efecto” [46].

2.2. Alcance

Dado que el proyecto busca el acoplamiento de un diseño nuevo de una carrocería, al chasis de un automóvil ya estandarizado, el alcance que se va a realizar es correlacional, el cual va a comprender el estudio de una estructura adaptable, bajo las condiciones climáticas y cargas o fuerzas aplicadas al que va a estar expuesta.

2.3.Métodos

El método que utilizaremos en nuestra investigación será el empírico, dado que, mediante este método, realizaremos el proceso de observación, medición y experimentación de la realidad a la que queremos llegar.

2.4.Población muestra

La población de estudio estará determinada por un vehículo, el cual está ubicado en el taller mecánico “AUTOSTETIC AUTOMOTRIZ ROBERTH GAVILÁNES”, donde los empleados de dicho centro de restauración serán quienes constatarán de manera presencial la restauración del vehículo en estudio; así como los clientes que asistirán al mismo en el período de tiempo dispuesto para la investigación.

2.5.Procedimiento

- El proyecto partirá desde conocer la estructura principal de chasis de un Volkswagen Escarabajo, sus dimensiones y piezas adaptables.
- Para el diseño de la carrocería se utilizará un software especializado en diseño de piezas y ensambles.
- Creado ya el diseño, se lo confeccionará por medio de estructura de hierro en combinación de otras partes realizadas de diferente material.
- El material se lo adquirirá de acuerdo a lo presupuestado en el medio comercial de la ciudad.
- La norma por la que estará regida el proyecto en ejecución es la INEN NTE 1323 referida a carrocerías de automóviles y carrocerías de buses, la cual establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses para todas sus modalidades.
- Una vez terminada la carrocería se la adaptará al chasis del automóvil, realizando todo el proceso de soldado donde se requiera, con tecnología especializada.

2.6.Recursos

Humanos

- Investigador
- Tutor

Materiales

- Equipos tecnológicos
- Software especializado de Ingeniería

- Herramientas mecánicas
- Suministros de oficina
- Plataforma Zoom
- Paquete office
- Impresora

Institucionales

- Biblioteca virtual

Económicos

- Propietario del taller mecánico “Autostetic Automotriz Roberth Gavilanes”

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.Diseño de la estructura asistido por CAD

El diseño partió de una idea, o comúnmente llamada prototipo, por lo que para realizar el bosquejo de la carrocería se tomó en cuenta que el aspecto debe ser retro, y conservar su aspecto de un automóvil clásico.

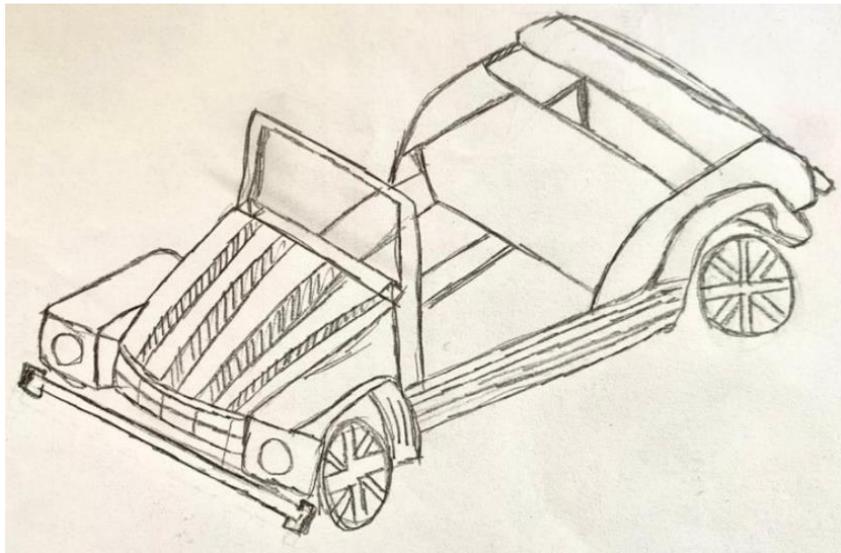


Figura 18.- Bosquejo a mano alzada de la carrocería.

3.1.1. Proceso de modelado

Para este proceso se cuenta con las medidas originales del chasis del vehículo Volkswagen Escarabajo, expuestas en la tabla 9, con ello se pudo dar las medidas necesarias a cada parte de la carrocería, tomando principalmente en cuenta la estética y seguridad de ésta.

Las figuras 19 y 20 muestran el modelado de la carrocería en el software especializado de ingeniería para su parte exterior, tanto delantera como trasera; la misma que deberá ser compacta y segura para las personas que lo vayan a utilizar.

La compuerta trasera, está fabricada para que una de sus funciones sea permitir el acceso de aire exterior al motor, dado que éste necesita de refrigeración para evitar su excesivo calentamiento.

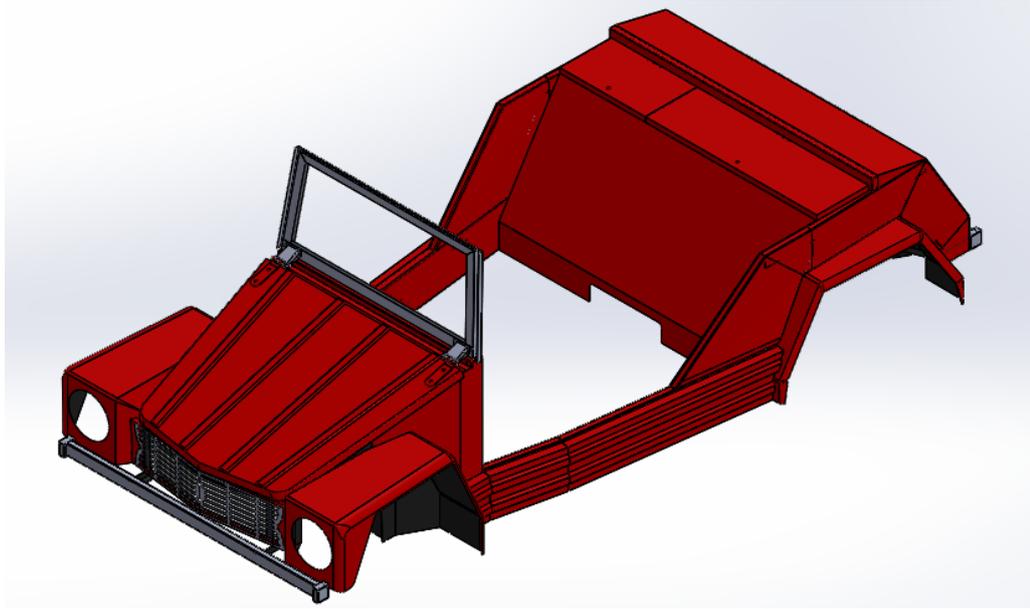


Figura 19.- Vista isométrica delantera del modelado de la carrocería.

La carrocería cuenta con todos los acoples para ser montada sobre el chasis del vehículo, así como con las comodidades necesarias para que hasta un máximo de 5 personas ingresen y puedan poner sus pertenencias en la parte trasera del vehículo.

Así también el espacio destinado en la parte trasera para la caja de cambios y motor cuenta con la distancia suficiente para poder montarlo y desmontarlo fácilmente.

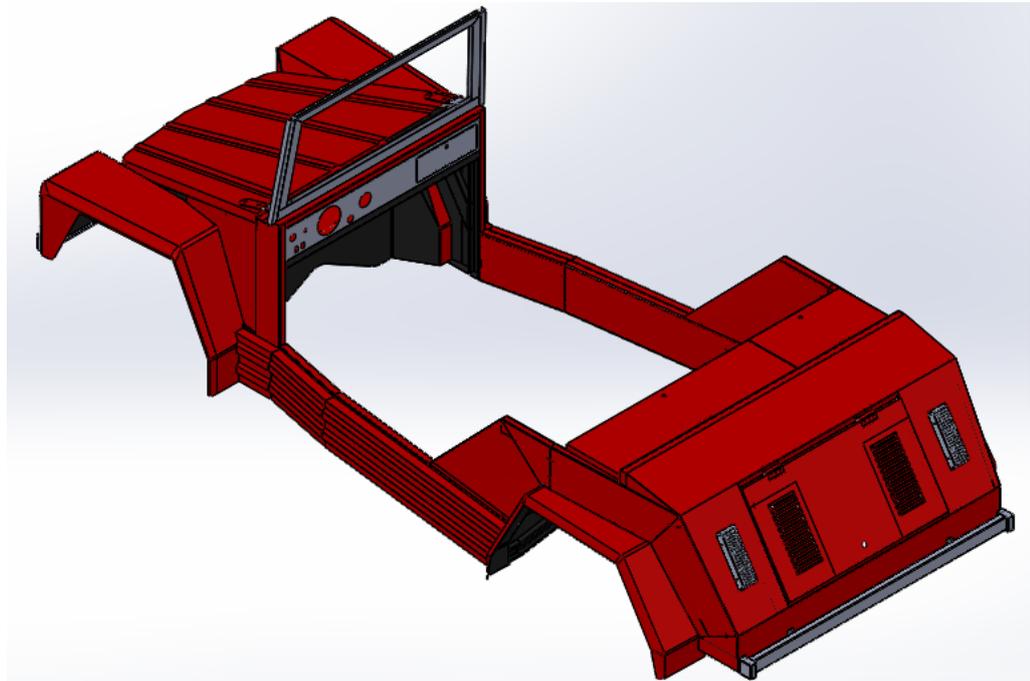


Figura 20.- Vista isométrica trasera del modelado de la carrocería.

3.2. Selección de alternativas

El primer paso para la selección del material para realizar la estructura es analizar la disponibilidad de los mismos a nivel nacional, para lo cual se han elegido 4 materiales principales.

- Tubo estructural redondo

Aleación de hierro y carbón, utilizado especialmente en estructuras pesadas donde sus necesidades más relevantes son el de ser resistentes a temperaturas muy altas y a la corrosión [47].



Figura 21.- Tubo estructural redondo [47].

Tabla 25.- Especificaciones del tubo estructural redondo [47].

Especificaciones generales	
1.	Largo de 6 metros
2.	Recubrimiento galvanizado o negro
3.	Norma de fabricación INEN 2415
4.	Norma de calidad ASTM A500
5.	Espesores desde 1.5 a 6 mm

- Tubo estructural rectangular

Los tubos estructurales de forma rectangular son fabricados de hierro y se caracterizan especialmente por el ahorro en cuanto a material de aporte que éstos necesitan para su unión en el proceso de soldadura, así como la facilidad de instalación que tienen [48].



Figura 22.- Tubo estructural rectangular [48].

Tabla 26.- Especificaciones del tubo estructural rectangular [48].

Especificaciones generales	
1.	Largo de 6 metros
2.	Recubrimiento galvanizado o negro
3.	Espesores desde 1.5 a 6 mm
4.	Norma de calidad ASTM A500

- Tubo estructural cuadrado

Aleación de hierro y carbón, especialmente usado en estructuras pesadas las cuales requieren tener resistencia a temperaturas extremas y a la corrosión. Se caracteriza por tener mayor peso, tenacidad, resistencia a la corrosión, maquinabilidad, así como facilidad para soldar [49].



Figura 23.- Tubo estructural cuadrado [49].

Tabla 27.- Especificaciones del tubo estructural cuadrado [49].

Especificaciones generales	
1.	Largo de 6 metros
2.	Recubrimiento galvanizado o negro
3.	Espesores desde 1.5 a 6 mm
4.	Norma de fabricación INEN 2415
5.	Norma de calidad ASTM A500

- Perfil estructural “G”

Las correas “G” son perfiles de acero, los cuales han sido laminados en caliente. Usado generalmente para estructuras como cubiertas y galpones, soporte de vigas, techos, losas y columnas [50].



Figura 24.- Perfil estructural “G” [50].

Tabla 28.- Especificaciones del perfil estructural “G” [50].

Especificaciones generales	
1.	Largo de 6 metros y medidas especiales
2.	Norma de calidad ASTM A36
3.	Espesores desde 2 a 12 mm
4.	Acabado en acero galvanizado y negro
5.	Norma INEN 1623

Para seleccionar el material adecuado para la construcción de la estructura de la carrocería se realizó una tabla de criterios ponderados bajo diferentes conceptos, los cuales se los detalla a continuación:

- **Calidad:** En la elección del material, el control de calidad obviará la insatisfacción tanto del constructor como del usuario y junto con ello evitará riesgos y pérdidas tanto humanas como económicas [51].
- **Durabilidad:** A todos los materiales durante un tiempo determinado se les necesita dar un mantenimiento adecuado, lo cual implica un gasto, es por ello que se deberá tomar en consideración para el futuro.
- **Disponibilidad:** En ocasiones el transporte de material puede resultar riesgoso, así como costoso, por lo que un alcance cercano del material influirá en la elección del mismo.
- **Apariencia:** Cuando se elige un material para construcción de cualquier estructura, hay que estudiar la manera en la que interactuará con los demás materiales, ya que será un trabajo en conjunto y que a la vista será agradable.
- **Eficacia:** Al momento de elegir materiales, es necesario saber la función que van a cumplir, sin relegar el aspecto decorativo.

- **Costo:** El material mientras mejor es, más cuesta, por lo que hay que hacer una relación que se acople en cuanto a eficiencia-costo [51].
- **Propiedades mecánicas:** Son aquellas que determinan el comportamiento del material bajo la acción de fuerzas externas.

Para la elección del material se designó los siguientes números para las siguientes consideraciones, en cuanto a los criterios a evaluar:

- 1: Malo
- 2: Regular
- 3: Bueno

Tabla 29.- Elección de material.

Criterios	Tubo estructural redondo	Tubo estructural rectangular	Tubo estructural cuadrado	Perfil estructural “G”
Calidad	3	3	3	3
Durabilidad	2	2	2	2
Disponibilidad	3	3	3	3
Apariencia	2	2	1	3
Eficacia	3	2	2	3
Costo	2	1	1	3
Propiedades Mecánicas	3	3	3	2
Total	18	16	15	19

La tabla 29 muestra que el Perfil estructural “G” es la mejor opción para la construcción de la estructura de la carrocería, la cual toma en cuenta criterios principales de construcción.

3.3.Materiales a utilizar en la estructura

Las propiedades mecánicas del acero de calidad ASTM A36, material utilizado para el diseño principal de la estructura de la carrocería, se encuentran expuestas en la tabla

30, dichos valores y unidades serán con los que se trabajará en el software de análisis, para las distintas simulaciones.

Tabla 30.- Propiedades mecánicas del acero ASTM A36 [52].

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	7850	kg/m ³
Módulo de Young	210	GPa
Coefficiente de Poisson	0.3	-
Esfuerzo a la fluencia en tensión	250	MPa
Esfuerzo a la fluencia en compresión	250	MPa
Esfuerzo último a tensión	400	MPa
Esfuerzo último a compresión	400	MPa

Una vez elegido el material principal de construcción, se modela la estructura mediante el software especializado, tomando en cuenta las dimensiones principales del chasis en estudio. La figura 25 muestra la estructura principal de la carrocería, la cual será recubierta posteriormente.

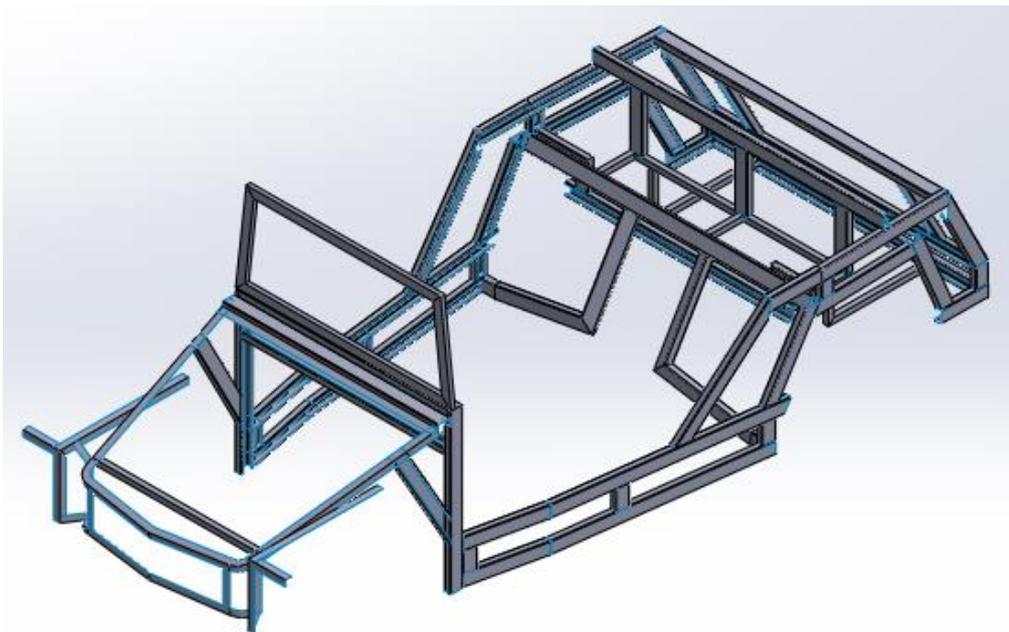


Figura 25.- Estructura principal de la carrocería.

Las medidas y espesores de cada elemento elegido para la estructura, se expone en la tabla 31. La estructura principal fue diseñada con correa “G” mientras que en la parte frontal de la carrocería sobresale la estructura realizada con ángulo, el tubo estructural cuadrado se lo utilizó para la estructura de soporte de la batería y cajuela. El recubrimiento de la estructura fue diseñado con plancha de tol.

Tabla 31.- Elección de material.

Material	Dimensión	Unidad
Correa “G”	60x30x10x2	mm
Ángulo	30x30x3	mm
Tubo estructural cuadrado	25x25x2	mm
Plancha de tol	1.2	mm

3.4.Dimensiones y pesos de la carrocería adaptable

Los valores de peso y dimensiones que se tienen como resultado de la construcción de la carrocería adaptable al chasis de un Volkswagen Escarabajo, están expuestos en la tabla 32, dichas medidas fueron extraídas del software computacional.

Tabla 32.- Dimensiones y pesos de la carrocería adaptable.

Característica	Valor	Unidad
Largo	3616	mm
Ancho	1722	mm
Altura	1218	mm
Altura sobre el piso	150	mm
Batalla	2400	mm
Peso en vacío	649	kg
Carga total admisible	1027	kg

3.5.Determinación de cargas

La norma NTE INEN 1323, se la utilizará para la simulación computacional de la estructura principal. Su cálculo de combinación de cargas fue elegido ya que el país

no cuenta con normas o estándares establecidos para la construcción de carrocerías de vehículos que han sido fabricados de forma particular.

Dicha norma expone las siguientes definiciones:

- Carga de aceleración brusca: Fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo.
- Carga de frenado: Fuerza generada por el frenado del vehículo.
- Carga de giro: Fuerza generada por el giro de un vehículo.
- Carga por resistencia del aire frontal: Fuerza del aire que actúa sobre un área correspondiente a la proyección de la carrocería en un plano perpendicular a su eje longitudinal.
- Carga muerta: Peso total de la carrocería en condiciones operativas, es decir la carrocería terminada incluida todos sus accesorios.
- Carga viva: Carga por ocupación considerada como distribuida uniformemente en los elementos estructurales de la carrocería [53].

3.5.1. Cargas a analizar

Para comenzar con la combinación de cargas que expone la norma, es necesario conocer el valor de diferentes cargas que se presentan dentro de la carrocería del vehículo, las cuales son: carga muerta, carga viva, carga de frenado, carga de aceleración brusca, carga de giro y carga por resistencia al aire frontal [53].

3.5.1.1. Simbología de las variables para cada una de las ecuaciones a ocupar

Cada ecuación cuenta con diferentes variables, las cuales van a determinar diferentes valores para su posterior estudio. A continuación, se detallan cada una de ellas:

M : Carga muerta (N)

P_v : Peso en vacío de la carrocería adaptable (kg)

g : gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

V : Carga viva (N)

P_p : Peso promedio por persona (kg)

N_o : Número de ocupantes

G : Carga de giro (N)

M_t : Masa total (kg)

v : Velocidad de giro de la carrocería adaptable (m/s)

r : Radio de giro de la carrocería (m)

F : Carga de frenado (N)

V_0 : Velocidad inicial de la carrocería (m/s)

V_f : Velocidad final de la carrocería (m/s)

Δ_d : Desplazamiento (m)

a : Aceleración (m/s^2)

t : Tiempo (s)

A_b : Carga de aceleración brusca (N)

R_{af} : Carga por resistencia del aire (N)

C_x : Coeficiente por resistencia de aire frontal

δ : Densidad del aire (kg/m^3)

A_f : Área correspondiente a la proyección de la carrocería en un plano perpendicular a su eje longitudinal (m^2)

V_a : Velocidad del aire (m/s)

F_s : Factor de seguridad

S_y : Límite de fluencia (MPa)

σ' : Esfuerzo de Von-Mises (MPa)

C : Combinación (N)

3.5.1.2. Determinación de cargas muertas

La carga muerta se determina por medio del peso en vacío de la carrocería adaptable expuesta en la tabla 33, misma que fue obtenida mediante la suma de todos los elementos que conforman la estructura.

$$M = P_v \times g$$

Ecuación 1

Tabla 33.- Determinación de la carga muerta de la carrocería.

Paso	Solución
1.	$M = P_v \times g$ $M = 649 (kg) \times 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$ $M = \mathbf{6366.69 (N)}$

3.5.1.3. Determinación de cargas vivas

El valor de la carga viva está en función del número de ocupantes que van a estar dentro de la carrocería, y el peso promedio de cada uno de ellas. Teniendo en cuenta que son 5 el número máximo de ocupantes distribuidos dos en la parte delantera (piloto y copiloto) y tres en la parte trasera (acompañantes), se realiza el cálculo, teniendo como referencia el valor de 70 kg como promedio de cada persona, este valor expuesto en la norma NTE INEN 1323 [53].

$$V = P_p \times N_o \times g$$

Ecuación 2

Tabla 34.- Determinación de la carga viva de la carrocería.

Paso	Solución
1.	$V = P_p \times N_o \times g$ $V = 70(kg) \times 5 \times 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$ $V = \mathbf{3433.5 (N)}$

3.5.1.4. Determinación de cargas estáticas dinámicas

- **Carga de giro**

La carga de giro es calculada con la velocidad de giro de la carrocería adaptable y el radio de giro de ésta, para lo cual vamos a tomar como referencia el valor de 50 km/h (13.89 m/s), siendo la velocidad máxima dispuesta por la ANT (por sus siglas en español: Agencia Nacional de Tránsito) para circular los vehículos dentro de la ciudad; para el radio de giro vamos a tomar lo dispuesto por el proveedor de origen dado en la ficha técnica del Volkswagen Escarabajo [54], dado que la medida de la batalla no va a variar por las medidas originales del chasis.

$$G = M_t \times \frac{v^2}{r} \quad \text{Ecuación 3}$$

Tabla 35.- Determinación de la carga de giro de la carrocería.

Paso	Solución
1.	$G = M_t \times \frac{v^2}{r}$ $G = 1027 \text{ (kg)} \times \frac{(13.89 \left(\frac{m}{s}\right))^2}{5.5 \text{ (m)}}$ $G = 36025.68 \text{ (N)}$

- **Carga de frenado**

Para realizar este cálculo, se toma como velocidad inicial a la dispuesta por la ANT, quien estipula que 50 km/h es la velocidad máxima a la cual se puede circular dentro de la ciudad, y tomaremos el valor de 0 km/h a la velocidad final, dado que el vehículo se detendrá por completo a lo largo de 4 segundos, este tiempo determinado por pruebas realizadas en el automotor.

$$F = M_t \times a \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\Delta_d = V_o \times t \quad \text{Ecuación 5}$$

$$a = \frac{(V_f^2 - V_o^2)}{2\Delta_d} \quad \text{Ecuación 6}$$

Tabla 36.- Determinación de la carga de frenado de la carrocería.

Paso	Solución
1.	$\Delta_d = V_o \times t$ $\Delta_d = 13.89 \left(\frac{m}{s}\right) \times 4(s)$ $\Delta_d = 55.56 (m)$
2.	$a = \frac{(V_f^2 - V_o^2)}{2\Delta_d}$ $a = \frac{(0^2 - (13.89 m/s)^2)}{2 \times 55.56 (m)}$ $a = -1.74 \left(\frac{m}{s^2}\right)$
3.	$F = M_t \times a$ $F = 1027(kg) \times \left(-1.74 \left(\frac{m}{s^2}\right)\right)$ $F = 1786.9 (N)$

- **Carga de aceleración brusca**

Para el cálculo de la aceleración brusca, partiremos con una velocidad igual a 0 km/h dado que parte del reposo, y como velocidad final la de 50 km/h, ésta dispuesta como máxima dentro de los límites de la ciudad por la ANT. El desplazamiento es la distancia recorrida durante 13 segundos, tiempo medido por el vehículo para llegar a 50 km/h comenzando éste en reposo.

$$A_b = M_t \times a \tag{Ecuación 7}$$

$$\Delta_d = V_f \times t \tag{Ecuación 8}$$

Tabla 37.- Determinación de la aceleración brusca de la carrocería.

Paso	Solución
1.	$\Delta_d = V_f \times t$ $\Delta_d = 13.89 \left(\frac{m}{s}\right) \times 13(s)$ $\Delta_d = 180.57 (m)$
2.	$a = \frac{(V_f^2 - V_o^2)}{2\Delta_d}$ $a = \frac{\left(\left(13.89 \frac{m}{s}\right)^2 - 0^2\right)}{2 \times 180.57 (m)}$ $a = 0.534 \left(\frac{m}{s^2}\right)$
3.	$A_b = M_t \times a$ $A_b = 1027(kg) * \left(0.534 \left(\frac{m}{s^2}\right)\right)$ $A_b = 548.41 (N)$

- **Carga por resistencia al aire frontal**

Para el cálculo de la carga por resistencia al aire frontal, se utilizó un coeficiente de resistencia al aire frontal de 0.38, especificado por pruebas antes realizadas del Volkswagen Escarabajo [55]. La densidad del aire en la zona 3 del país tiene por promedio 1.18 kg/m^3 y para el área que corresponde a la proyección de la carrocería en un plano perpendicular a su eje longitudinal se utilizó el software donde se modeló la carrocería, dándonos este un valor de 1.16 m^2 . El valor de la velocidad del aire especificado se encuentra en la Norma NTE 1323 [53].

$$R_{af} = \frac{C_x * \delta * A_f * V_a^2}{2}$$

Ecuación 9

Tabla 38.- Determinación de la carga por resistencia al aire frontal.

Paso	Solución
1.	$R_{af} = \frac{C_x * \delta * A_f * V_a^2}{2}$ $R_{af} = \frac{(0.38) * (1.18 \frac{kg^3}{m}) * (1.16 m^2) * (25 \frac{m}{s})^2}{2}$ $R_{af} = 162.55 (N)$

3.5.2. Combinación de cargas por el método LRFD

El método LRFD (por sus siglas en inglés: Load and Resistance factor desing) se utiliza para el diseño de estructuras fabricadas de acero, y permite realizar el cálculo de cargas, las cuales al ser combinadas simulan el comportamiento que obtendrá la carrocería del vehículo, funcionando en condiciones extremas.

La Norma INEN 1323 expone las fórmulas mediante el método antes mencionado, en la tabla 39 se presentan los valores por cada combinación, siendo el valor más alto entre ellos el que formará parte del estudio de la carrocería.

Tabla 39.- Combinación de cargas por el método LRFD.

No.	Fórmula	Valor	Unidad
1.	1.4M + V	12346.8	N
2.	1.2M + 1.6V + 0.5G	31146.36	N
3.	1.2M + 0.5V + 1.6G	66997.75	N
4.	1.2M + 1.6F + 0.8Raf	10629	N
5.	1.2M + 0.5V + 0.5F + 1.3Raf	10461.54	N
6.	1.2M + 1.5Ab + 0.5V	10179.39	N
7.	0.9M – 1.3Raf	5518.70	N
8.	0.9M + 1.3Raf	5941.33	N

3.6. Análisis estructural

Para cada uno de los análisis estructurales, el diseño principal de la estructura se lo realizó en el modelador CAD, propio del software de análisis. Dicha estructura se trabajó como un elemento “beam”, misma que tiene las dimensiones originales en milímetros.

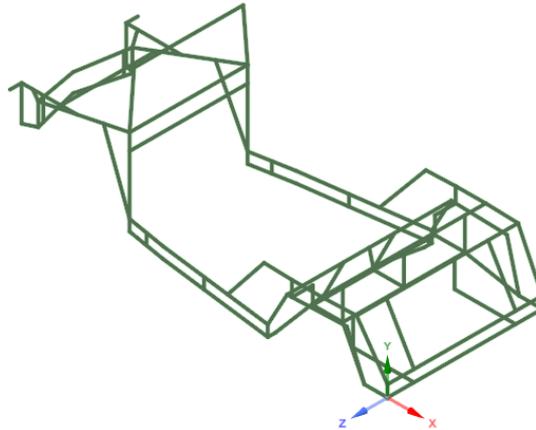


Figura 26.- Carrocería diseñada con elementos “beam”.

Para simular que la carrocería se encuentra totalmente soldada y fija, los vértices fueron unidos en su totalidad por medio del comando “share”, haciendo que se trate como una sola estructura a todo el armazón, la figura 27 muestra los vértices existentes, que en su totalidad fueron 98.

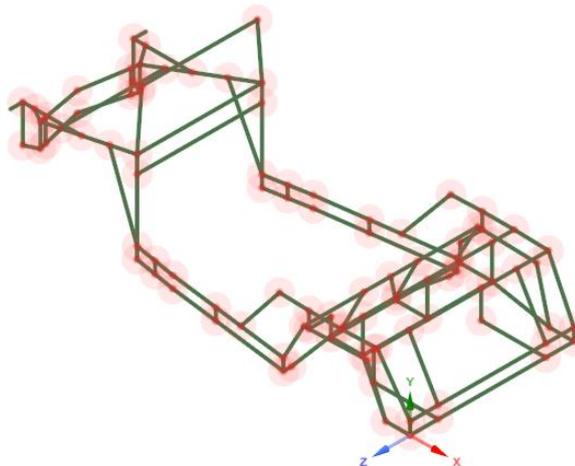


Figura 27.- Nodos de la estructura.

A cada línea se le otorgó un perfil, cada una de ellas con la sección transversal elegida anteriormente, tubo estructural cuadrado, ángulos y canales, éstos con las medidas antes determinadas y con la intención de simplificar el análisis; este proceso se encuentra ilustrado en la figura 28.

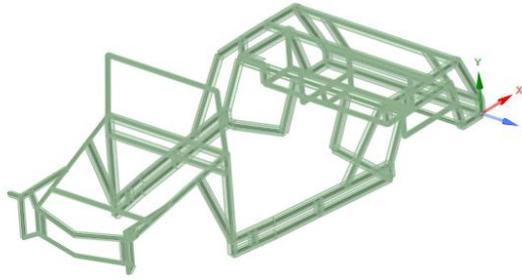


Figura 28.- Asignación de material a cada elemento de la carrocería.

3.6.1. Mallado

El mallado en el método de elementos finitos es un enfoque numérico el cual resuelve diferentes EDP (por sus siglas en español: Ecuación Diferencial Parcial) por medio de aproximaciones antes definidas en subdominios no traslapados, éstas llamadas elementos, las cuales en conjunto forman el dominio total donde se busca una solución al problema gobernado por las EDP.

Para el mallado de la estructura se hizo un análisis entre tres valores: 10 mm, 20 mm y 30 mm, con ayuda de la opción “Edge Sizing”, para así determinar la mejor opción y con ello obtener una serie de valores reales en cuanto al funcionamiento de la estructura. Para ello se ocupó como ejemplo a la carga de frenado, por lo que se simuló el esfuerzo equivalente de Von-Mises para los tres valores. De las tablas 40 a la 42 se muestran de forma gráfica la diferencia entre los tres tipos de mallado, así como los elementos y nodos que tienen cada uno.

La figura 29 muestra los puntos fijos de color azul y representados por las letras “C” y “D” y los lugares donde fueron colocadas las cargas de color rojo y representadas por las letras “A” y “B”, siendo 1786 N la fuerza aplicada para el análisis, misma generada por la ecuación 4 y expuesta en la tabla 36.

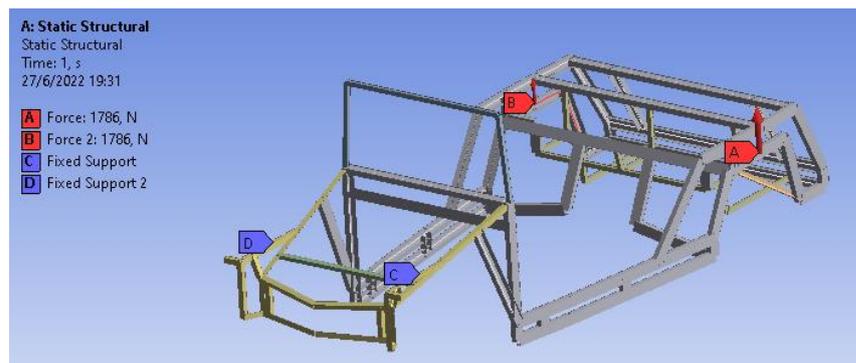


Figura 29.- Asignación de cargas para análisis de mallado.

Tabla 40.- Mallado 10 mm.

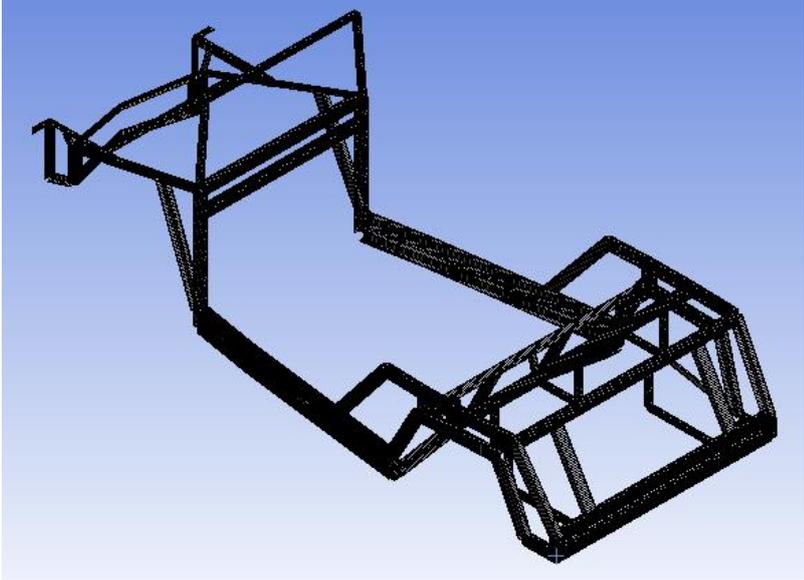
Milímetros	Gráficos	
10		
	Elementos: 8479	Nodos: 4260

Tabla 41.- Mallado 20 mm.

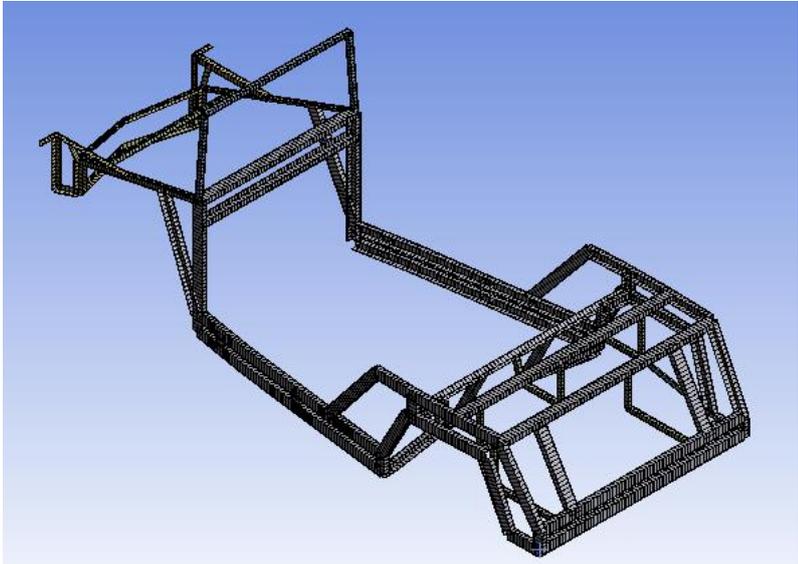
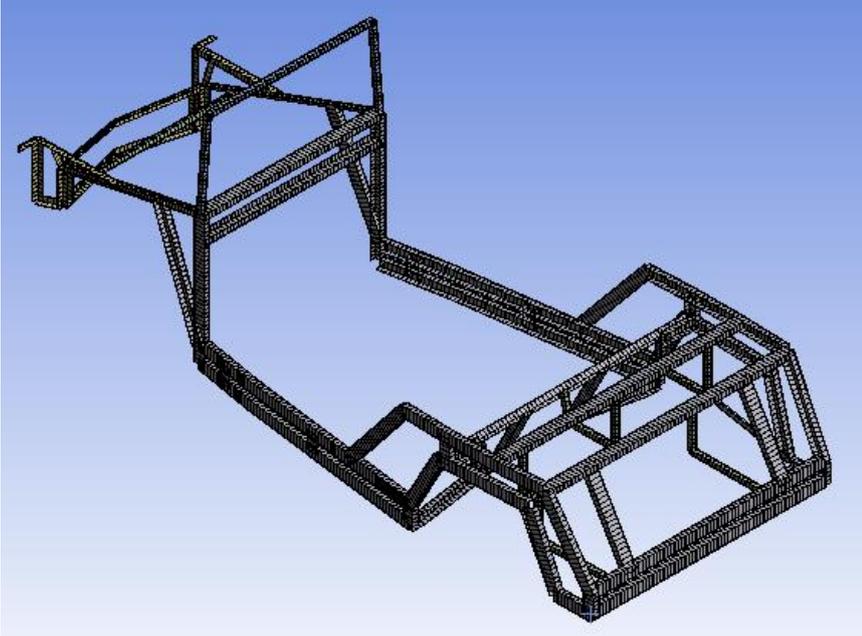
Milímetros	Gráficos	
20		
	Elementos: 4229	Nodos: 2135

Tabla 42.- Mallado 30 mm.

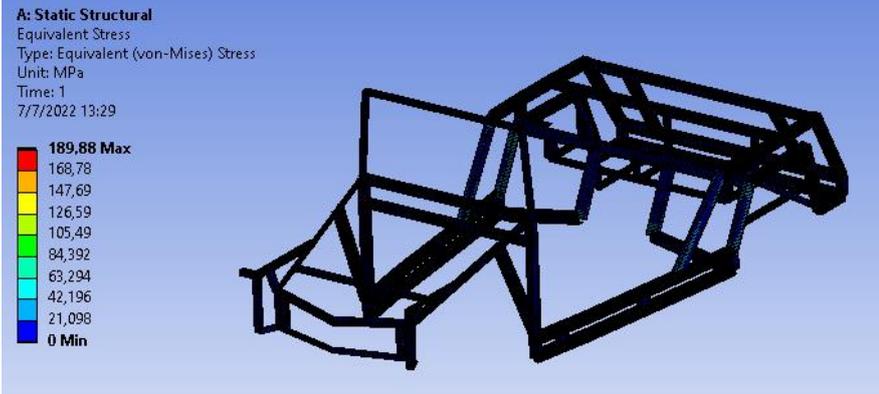
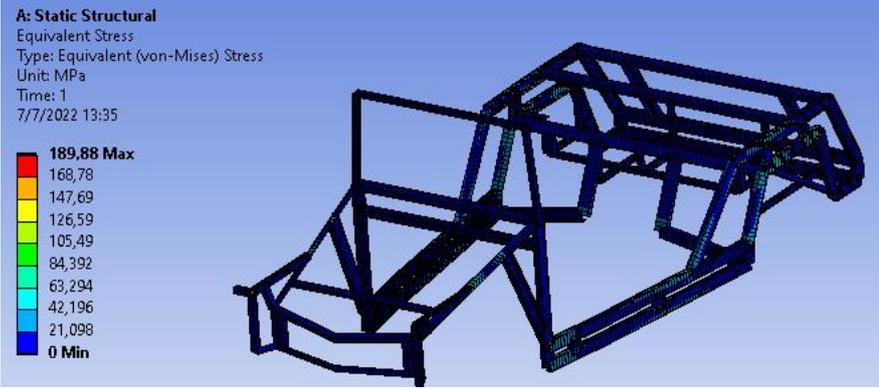
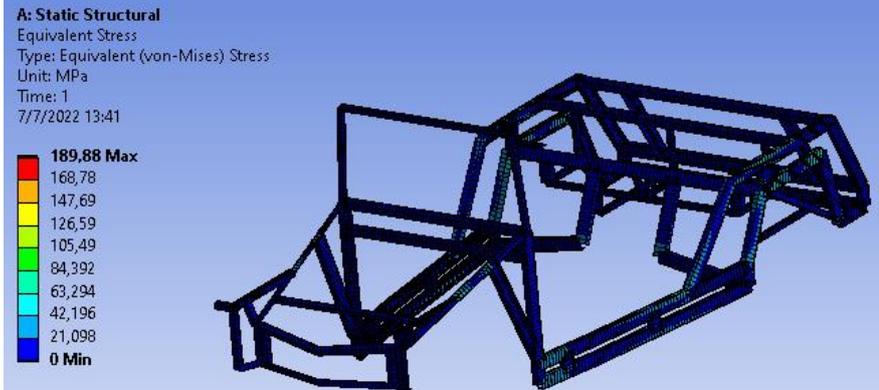
Milímetros	Gráficos	
30		
	Elementos: 2569	Nodos: 1305

Luego de realizar el mallado para los tres valores antes mencionados, se puede observar que mientras el mallado tiene una longitud menor, mayor serán el número tanto de sus elementos como de sus nodos.

Hay que aclarar que el aspecto gráfico de cada uno influirá en la apreciación de la incidencia de cada una de las cargas que se le aplique a la estructura, dado que, mediante un código de colores, el software utilizado expone los resultados obtenidos después de cada análisis.

La tabla 43 expone los resultados para los esfuerzos en MPa obtenidos para cada simulación, tanto numérico, como visual, mostrado de color azul el mínimo valor, hasta el máximo valor representado por color rojo.

Tabla 43.- Análisis gráfico y numérico para cada longitud de mallado.

Milímetros	Gráficos
10	
20	
30	

La tabla 44 y la figura 30 muestran un resumen de los valores de los esfuerzos en MPa obtenidos para cada simulación, teniendo como resultado el mismo para los tres casos,

por lo que podemos concluir que el tamaño del mallado para elementos “beam” no tiene incidencia en cuanto a los valores obtenidos para cualquier análisis.

Tabla 44.- Análisis comparativo de esfuerzo para mallado.

Milímetros	Esfuerzo Equivalente de Von-Mises (MPa)
10	189.88
20	189.88
30	189.88

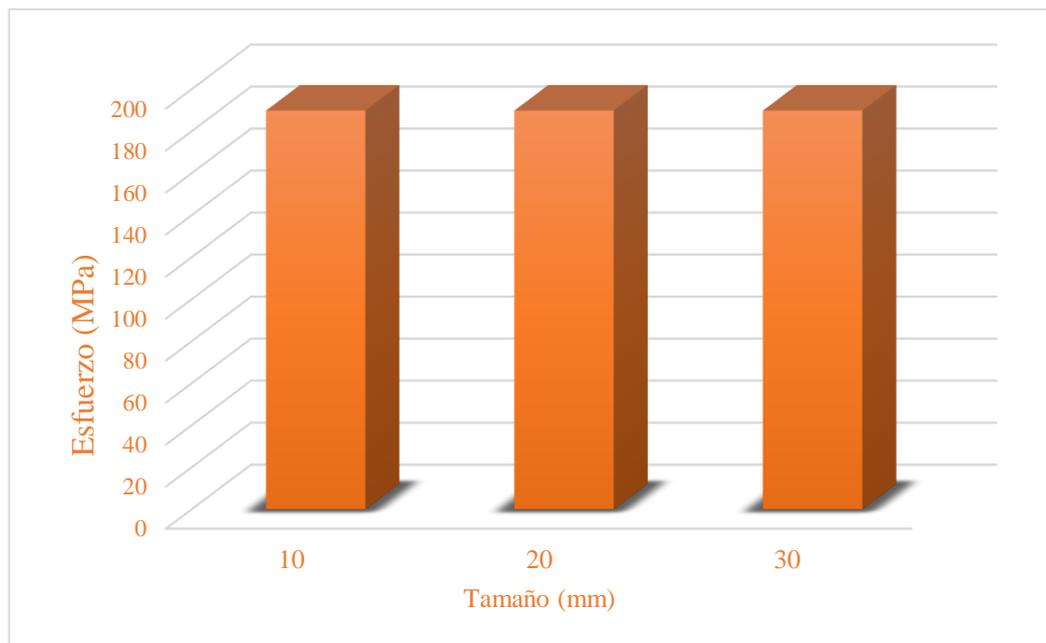


Figura 30.- Esfuerzo (MPa) – Tamaño y Número de Elementos.

Por tanto, el valor elegido de mallado fue de 30 mm, dado que en él se puede visualizar de mejor manera los resultados en comparación con los dos anteriores. La figura 31 muestra el mallado tanto frontal como posterior de la estructura de la carrocería, teniendo una separación de 30 mm cada elemento, dicho proceso fue realizado por medio de la opción “Edge Sizing”, esto con la finalidad de obtener datos reales en cuanto al funcionamiento de la estructura. La malla nos dio como resultado un total de 1305 nodos y 2569 elementos.

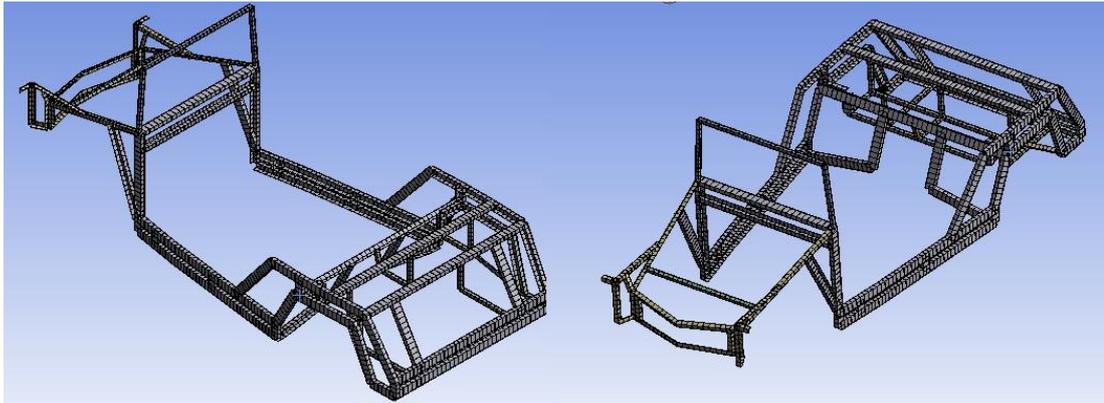


Figura 31.- Nodos de la estructura.

3.6.2. Estudio de cargas

3.6.2.1. Carga de giro

La figura 32 muestra el lugar de la fuerza aplicada sobre la estructura, representada de color rojo y con la letra “A”, y el punto de sujeción en la parte trasera representada por la letra “B” y de color azul. La carga aplicada es de 36025 N obtenida por la ecuación 3 y expuesta en la tabla 35, misma generada por la fuerza centrífuga que se produce al momento de realizar un giro en una curva a determinada velocidad y bajo un radio de giro.

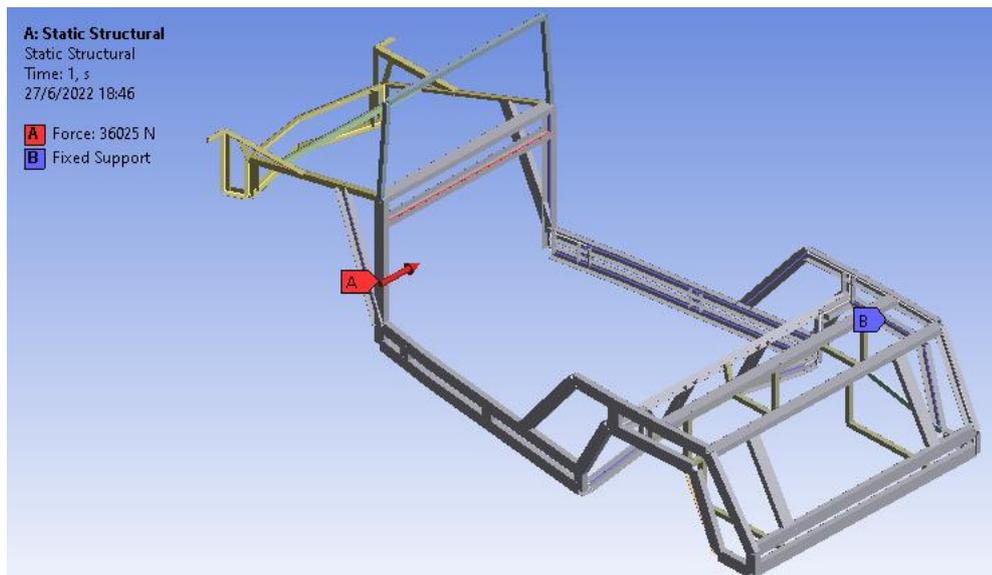


Figura 32.- Aplicación de fuerzas para la carga de giro.

- **Deformación total**

A través de la figura 33 se ilustra la deformación total que ocurre en la estructura de la carrocería al aplicar la carga de giro a determinada fuerza.

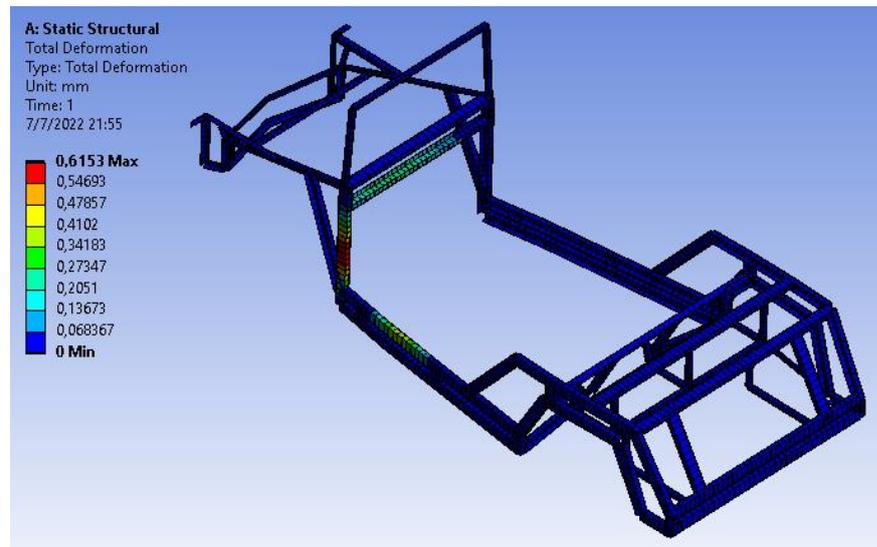


Figura 33.- Deformación total por carga de giro.

El análisis muestra que la deformación máxima es de 0.61 mm representada en la parte frontal de la carrocería ilustrado de color rojo. Este valor indicado fue analizado en situaciones extremas, y está dentro del límite de deformación máxima cuyo valor es 7.175 mm, según la Norma INEN 1323, especificado en el ítem 5.1.4 [53].

- **Esfuerzo equivalente**

La figura 34 ilustra el resultado numérico del Esfuerzo Equivalente de Von-Mises obtenido en el análisis sobre la carrocería al aplicar la carga de giro.

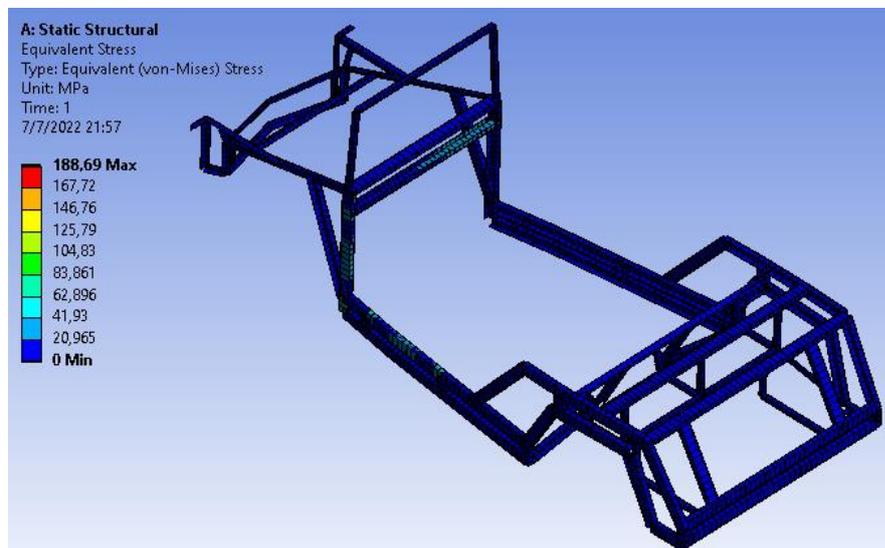


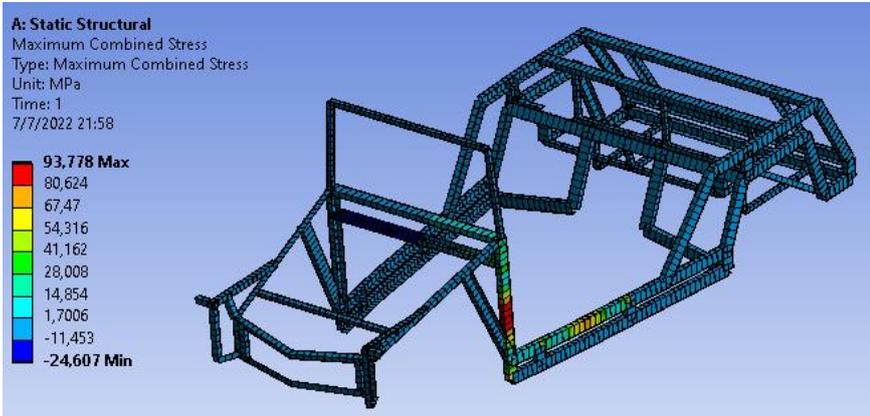
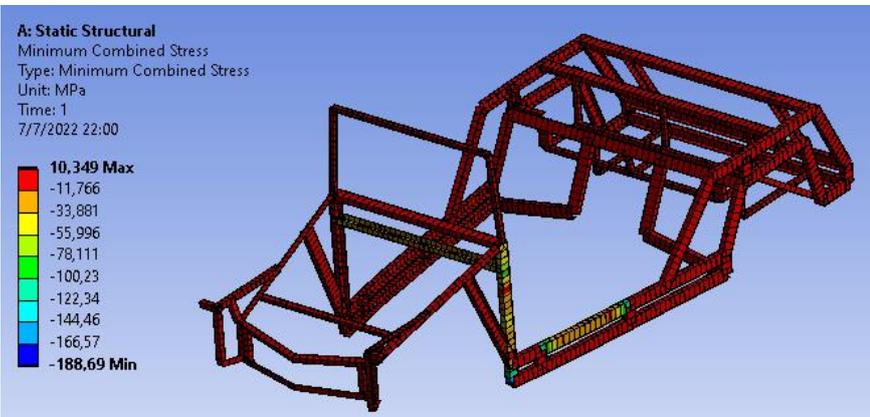
Figura 34.- Esfuerzo equivalente a carga de giro.

El esfuerzo equivalente de Von-Mises que refleja el análisis es de 188.69 MPa producido en el parante delantero de la carrocería, este valor está por debajo del límite de fluencia propio del material el cual es de 250 MPa, lo que nos permite establecer el funcionamiento adecuado de este componente a cargas extremas de giro.

- **Esfuerzo combinado máximo y mínimo**

La tabla 45 muestra los valores de esfuerzos máximos y mínimos reflejados por la carga de giro, para el máximo nos muestra un esfuerzo de 93.77 MPa en tracción y para el esfuerzo mínimo un valor de 188.69 MPa en compresión.

Tabla 45.- Esfuerzos máximo y mínimo por carga de giro.

Esfuerzo	Gráfico
Max.	
Min.	

- **Factor de seguridad**

La tabla 46 y figura 35 muestran los valores de cada uno de los esfuerzos principales que soporta la estructura, obtenidos tras el análisis de la carga de giro sobre la

carrocería, dichos valores serán comparados y el valor más alto será elegido para el cálculo de factor de seguridad.

Tabla 46.- Esfuerzos por carga de giro sobre la estructura.

Esfuerzo	Valor (MPa)
Von-Mises	188.69
Combinado máximo	93.77
Combinado mínimo	188.69

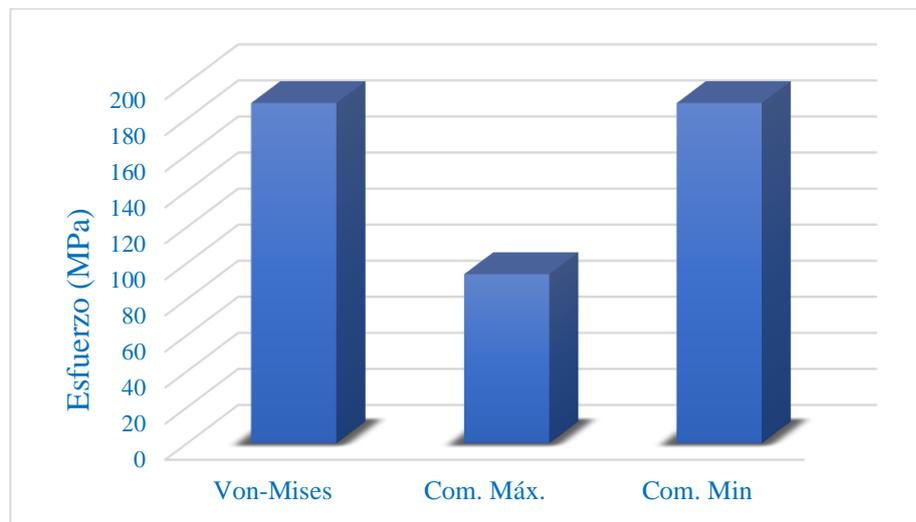


Figura 35.- Esfuerzo – Valor (MPa) para carga de giro.

El factor de seguridad es obtenido en función del límite de fluencia dado por el material y el esfuerzo de Von-Mises, mismo que la tabla 46 lo muestra como el esfuerzo mayor de los analizados, dicho valor es 188.69 MPa.

$$F_s = \frac{s_y}{\sigma'} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$F_s = \frac{250 \text{ (MPa)}}{188.69 \text{ (MPa)}}$$

$$F_s = 1.32$$

El valor resultante es de 1.32 mismo que está dentro del límite de 1.25 a 2, el cual afirma que el diseño de estructuras bajo cargas estáticas, tiene un alto nivel de confianza en la data de diseño [56].

3.6.2.2.Carga de frenado

La figura 36 muestra el lugar de las fuerzas aplicadas sobre la estructura, representadas de color rojo con las letras “A” y “B” mismas que se encuentran en la parte trasera de la carrocería y los puntos de sujeción en la parte frontal representada por color azul con las letras “C” y “D”. Las cargas aplicadas son de 1786 N obtenida por la ecuación 4 y expuesta en la tabla 36, la cual fue obtenida utilizando la inercia del vehículo.

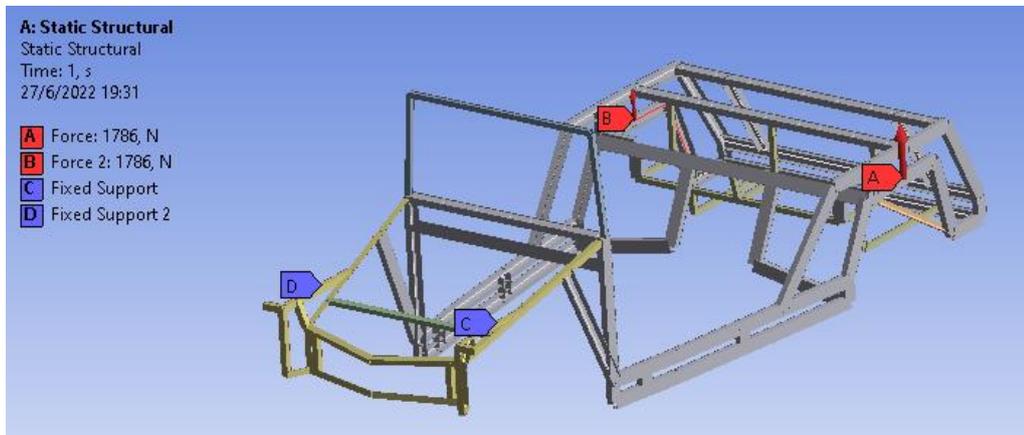


Figura 36.- Aplicación de fuerzas para la carga la carga de frenado.

- **Deformación total**

A través de la figura 37 se ilustra la deformación total que ocurre en la estructura de la carrocería al aplicar la carga de frenado a determinada fuerza.

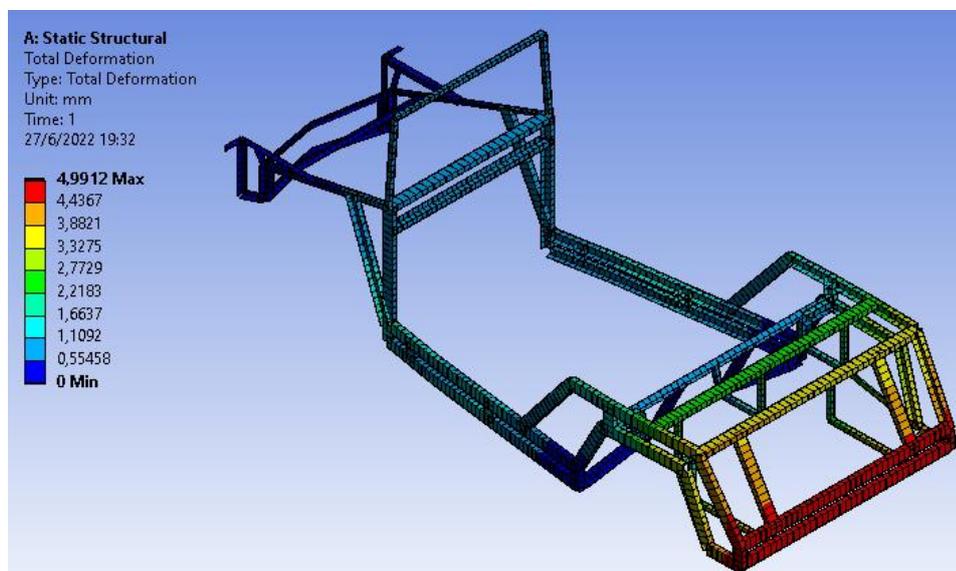


Figura 37.- Deformación total por la carga de frenado.

El análisis muestra que la deformación máxima es de 4.99 mm representada en condiciones extremas ilustradas en la parte trasera de la carrocería de color rojo. Este valor indicado está dentro del límite de deformación máxima cuyo valor es 7.175 mm, según la Norma INEN 1323, especificado en el ítem 5.1.4 [53].

- **Esfuerzo equivalente**

La figura 38 ilustra el resultado numérico del Esfuerzo Equivalente de Von-Mises obtenido en el análisis al aplicar la carga de frenado sobre la carrocería.

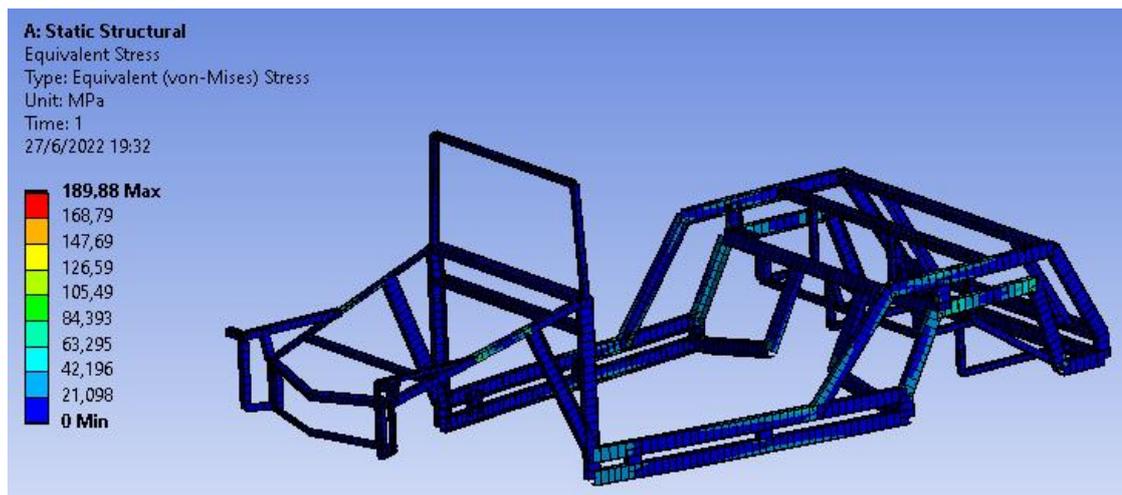


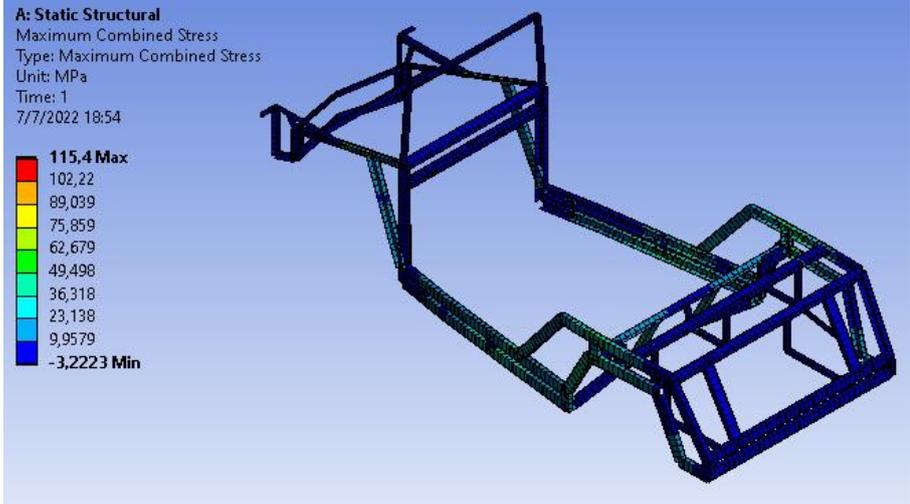
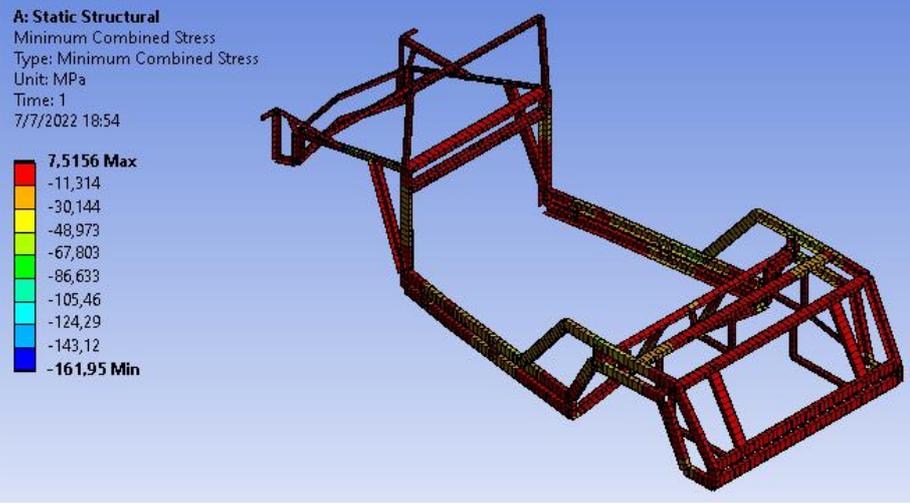
Figura 38.- Esfuerzo equivalente por la carga de frenado.

El esfuerzo equivalente de Von-Mises que refleja el análisis es de 189.88 MPa producido en el lugar de cada guardafango trasero de la carrocería, este valor está por debajo del límite de fluencia propio del material el cual es de 250 MPa, lo que nos permite establecer el funcionamiento adecuado a cargas extremas de frenado de estos elementos.

- **Esfuerzo combinado máximo y mínimo**

La tabla 47 expone los valores de esfuerzos máximos y mínimos reflejados por la carga de frenado, para el máximo nos muestra un esfuerzo de 115.4 MPa en tracción y para el esfuerzo mínimo un valor de 161.95 MPa en compresión.

Tabla 47.- Esfuerzos máximo y mínimo por carga de frenado.

Esfuerzo	Gráfico
Max.	 <p>A: Static Structural Maximum Combined Stress Type: Maximum Combined Stress Unit: MPa Time: 1 7/7/2022 18:54</p> <ul style="list-style-type: none"> 115,4 Max 102,22 89,039 75,859 62,679 49,498 36,318 23,138 9,9579 -3,2223 Min
Min.	 <p>A: Static Structural Minimum Combined Stress Type: Minimum Combined Stress Unit: MPa Time: 1 7/7/2022 18:54</p> <ul style="list-style-type: none"> 7,5156 Max -11,314 -30,144 -48,973 -67,803 -86,633 -105,46 -124,29 -143,12 -161,95 Min

- **Factor de seguridad**

La tabla 48 y figura 39 exponen los valores de cada uno de los esfuerzos principales que soporta la estructura, obtenidos tras el análisis de la carga de frenado sobre la carrocería, dichos valores serán comparados y el valor más alto será elegido para el cálculo de factor de seguridad.

Tabla 48.- Esfuerzos por carga de frenado sobre la estructura.

Esfuerzo	Valor (MPa)
Von-Mises	189.88
Combinado máximo	115.4
Combinado mínimo	161.95

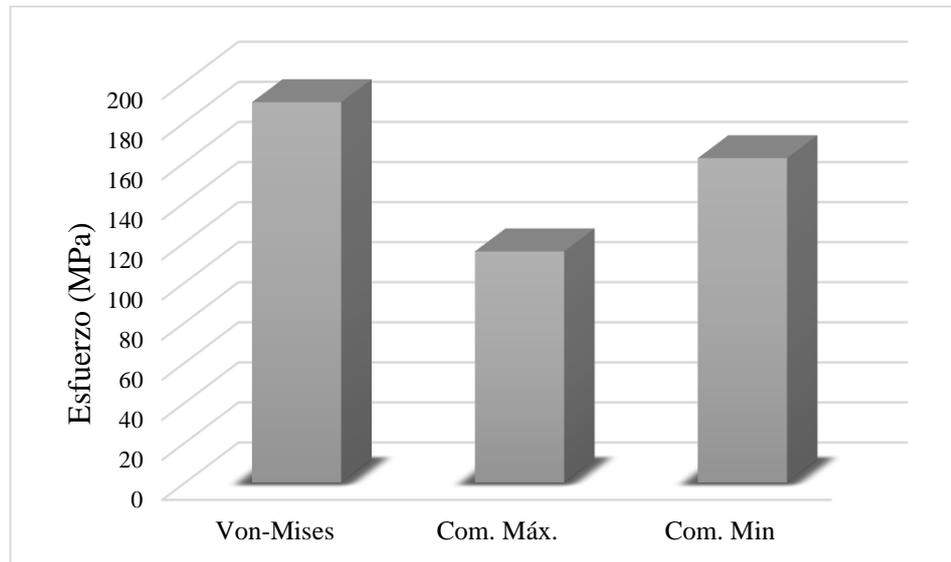


Figura 39.- Esfuerzo – Valor (MPa) para carga de frenado.

El factor de seguridad es obtenido en función del límite de fluencia dado por el material y el esfuerzo de Von-Mises, mismo que la tabla 48 lo muestra como el esfuerzo mayor de los analizados, dicho valor es 189.88 MPa.

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma'}$$
$$F_s = \frac{250 \text{ (MPa)}}{189.88 \text{ (MPa)}}$$

$$F_s = 1.31$$

El valor resultante es de 1.31 el cual está dentro del límite de 1.25 a 2 mismo que afirma que el diseño de estructuras bajo cargas estáticas, tiene un alto nivel de confianza en la data de diseño [56].

3.6.2.3.Carga de aceleración brusca

Por medio de la figura 40 se muestra el lugar de las fuerzas aplicadas sobre la estructura, representada de color rojo y con las letras “A” y “B” mismas que se encuentran en la parte frontal de la carrocería y los puntos de sujeción en la parte trasera representada por color azul y las letras “C” y “D”. Las cargas aplicadas son de 548 N obtenidas por la ecuación 7 y expuesta en la tabla 37, la cual está determinada por la aceleración positiva, debido a la inercia del vehículo.

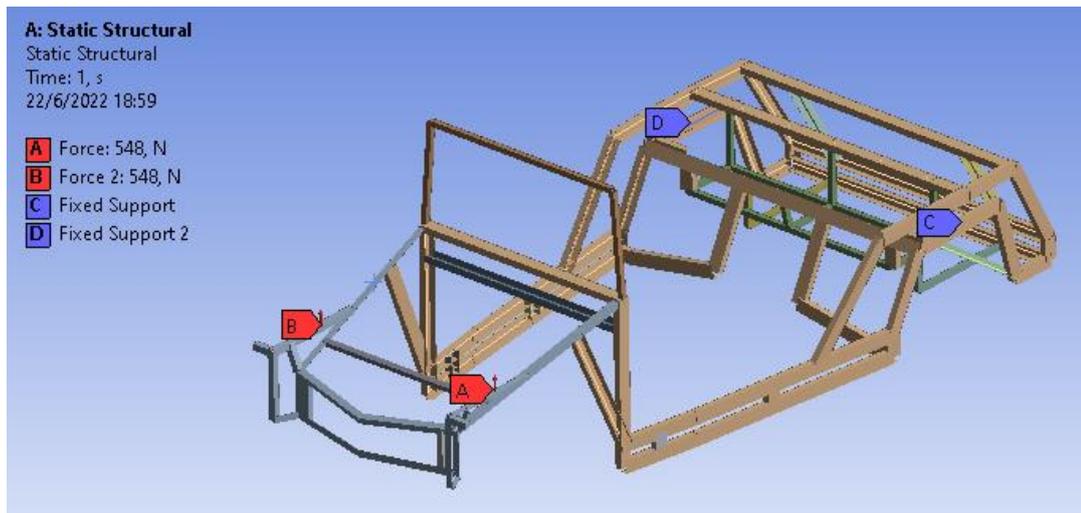


Figura 40.- Aplicación de fuerzas para la carga de aceleración brusca.

- **Deformación total**

La figura 41 ilustra la deformación total que ocurre en la estructura de la carrocería al aplicar la carga de aceleración brusca a determinada fuerza.

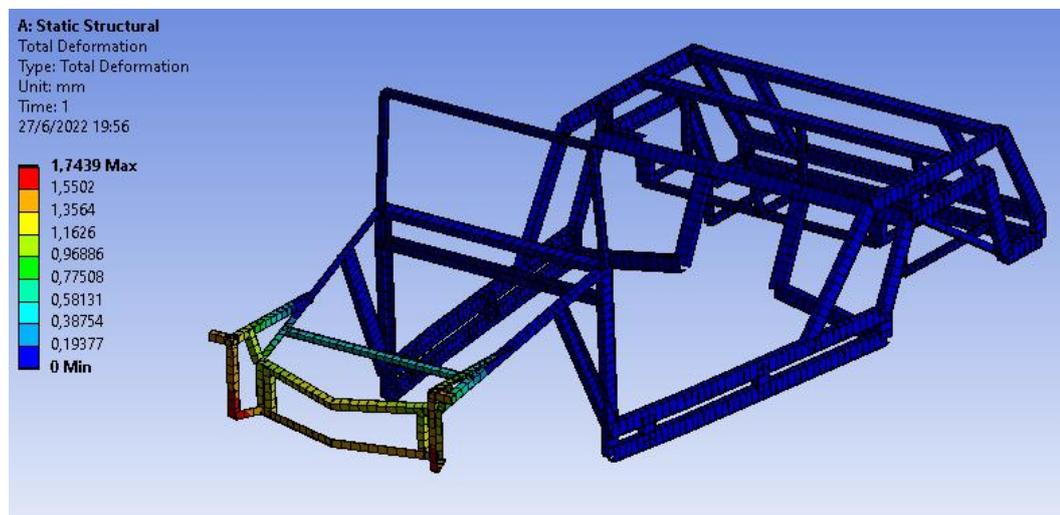


Figura 41.- Deformación total por aceleración brusca.

La deformación máxima es de 1.74 mm representada en condiciones extremas después del análisis, esto se puede observar en la parte frontal de la carrocería de color rojo. Este valor indicado está dentro del límite de deformación máxima cuyo valor es 7.175 mm, según la Norma INEN 1323, especificado en el ítem 5.1.4 [53].

- **Esfuerzo equivalente**

A través de la figura 42 se ilustra el resultado numérico del Esfuerzo Equivalente de Von-Mises obtenido en el análisis al aplicar la carga de aceleración brusca sobre la carrocería.

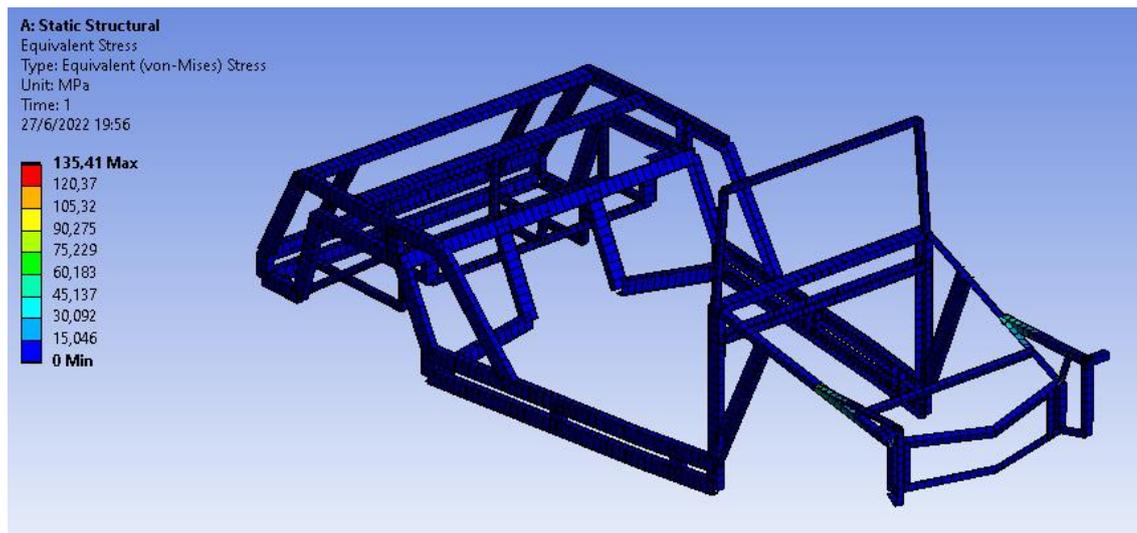


Figura 42.- Esfuerzo equivalente por aceleración brusca.

El esfuerzo equivalente de Von-Mises reflejado en el análisis es de 135.41 MPa producido en el lugar donde va sujeto cada guardafango delantero de la carrocería, este valor está por debajo del límite de fluencia propio del material el cual es de 250 MPa, lo que nos permite establecer el funcionamiento adecuado a cargas extremas por aceleración brusca de estos elementos.

- **Esfuerzo combinado máximo y mínimo**

La tabla 49 expone los valores de esfuerzos máximos y mínimos definidos por la carga de aceleración brusca, para el máximo nos muestra un esfuerzo de 123.78 MPa en tracción y para el esfuerzo mínimo un valor de 57.83 MPa en compresión.

Tabla 49.- Esfuerzos máximo y mínimo por carga de aceleración brusca.

Esfuerzo	Gráfico
Max.	
Min.	

- **Factor de seguridad**

La tabla 50 y figura 43 exponen los valores de cada uno de los esfuerzos principales que soporta la estructura, obtenidos tras el análisis de la carga de aceleración brusca sobre la carrocería, dichos valores serán comparados y el valor más alto será elegido para el cálculo del factor de seguridad.

Tabla 50.- Esfuerzos por carga de aceleración brusca sobre la estructura.

Esfuerzo	Valor (MPa)
Von-Mises	135.41
Combinado máximo	123.78
Combinado mínimo	57.83

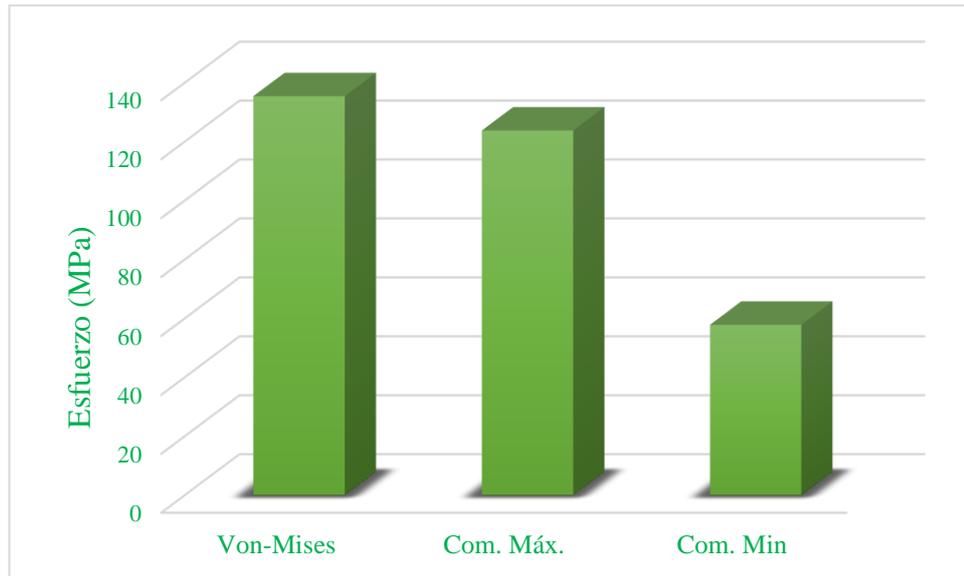


Figura 43.- Esfuerzo – Valor (MPa) para carga de aceleración brusca.

El factor de seguridad es obtenido en funci3n del límite de fluencia dado por el material y el esfuerzo de Von-Mises, mismo que la tabla 50 lo muestra como el esfuerzo mayor de los analizados, dicho valor es 135.41 MPa.

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$F_s = \frac{250 \text{ (MPa)}}{135.41 \text{ (MPa)}}$$

$$F_s = 1.84$$

El valor resultante es de 1.84 mismo que est dentro del límite de 1.25 a 2, el cual afirma que el diseño de estructuras bajo cargas estáticas, tiene un alto nivel de confianza en la data de diseño [56].

3.6.2.4.Carga por resistencia al aire frontal

La figura 44 muestra el lugar de las fuerzas aplicadas sobre la estructura, representada de color rojo con las letras “A” y “B”, mismas que se encuentran en la parte frontal de la carrocería donde se apoya el capot y se sitúa el parabrisas, y los puntos de sujeci3n en la parte trasera representada por color azul y las letras “C” y “D”. Las cargas aplicadas son de 162 N obtenida por la ecuaci3n 9 y expuesta en la tabla 38, misma generada por el aire.

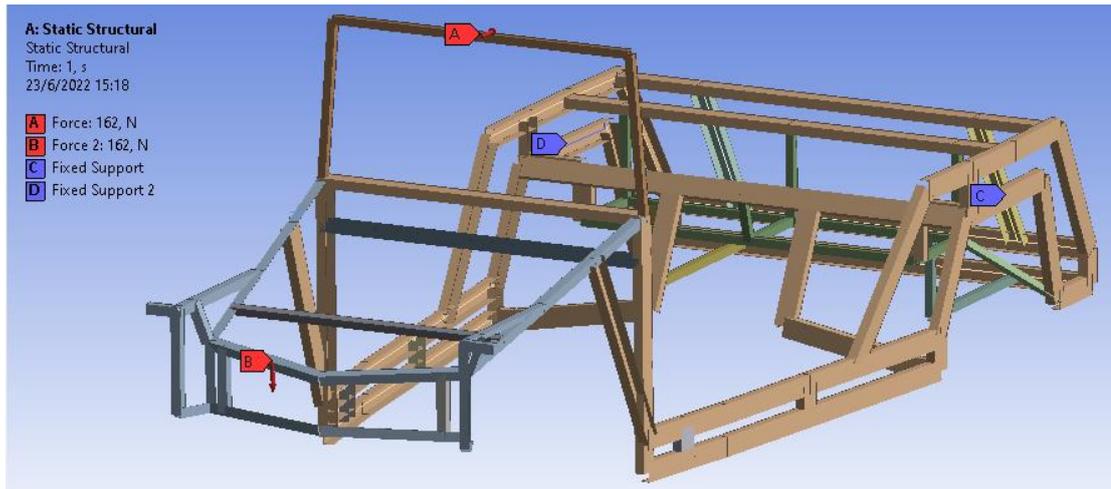


Figura 44.- Aplicación de fuerzas para la carga por resistencia al aire frontal.

- **Deformación total**

Por medio de la figura 45 se ilustra la deformación total que sucede en la estructura de la carrocería al aplicar la carga de resistencia al aire a determinada fuerza.

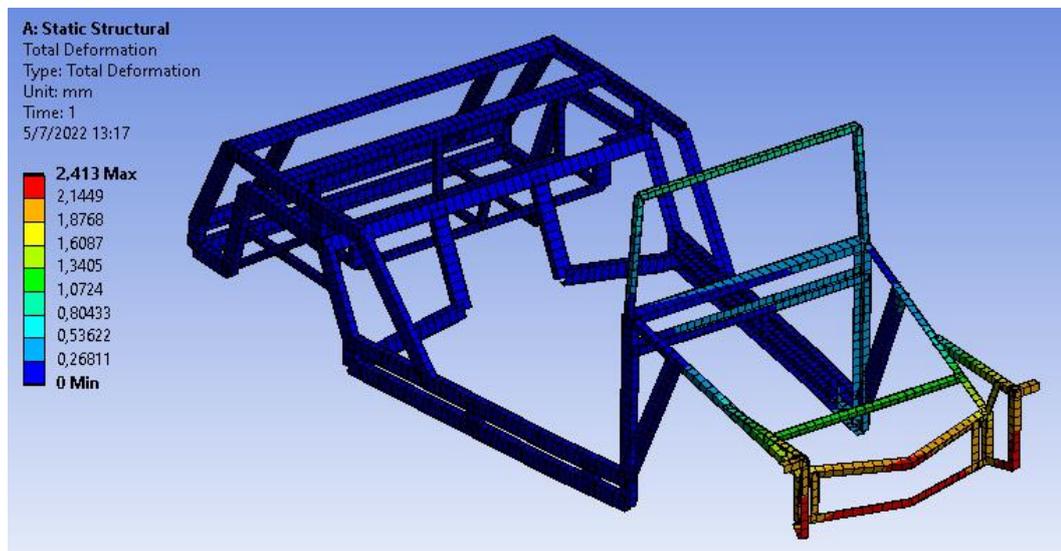


Figura 45.- Deformación total por carga de resistencia al aire frontal.

La deformación máxima es de 2.41 mm representada en condiciones extremas después del análisis, ésta ilustrada en la parte delantera de la carrocería de color rojo. Este valor indicado está dentro del límite de deformación máxima cuyo valor es 7.175 mm, según la Norma INEN 1323, especificado en el ítem 5.1.4 [53].

- **Esfuerzo equivalente**

La figura 46 ilustra el resultado numérico del Esfuerzo Equivalente de Von-Mises obtenido en el análisis al aplicar la carga por resistencia al aire sobre la carrocería.

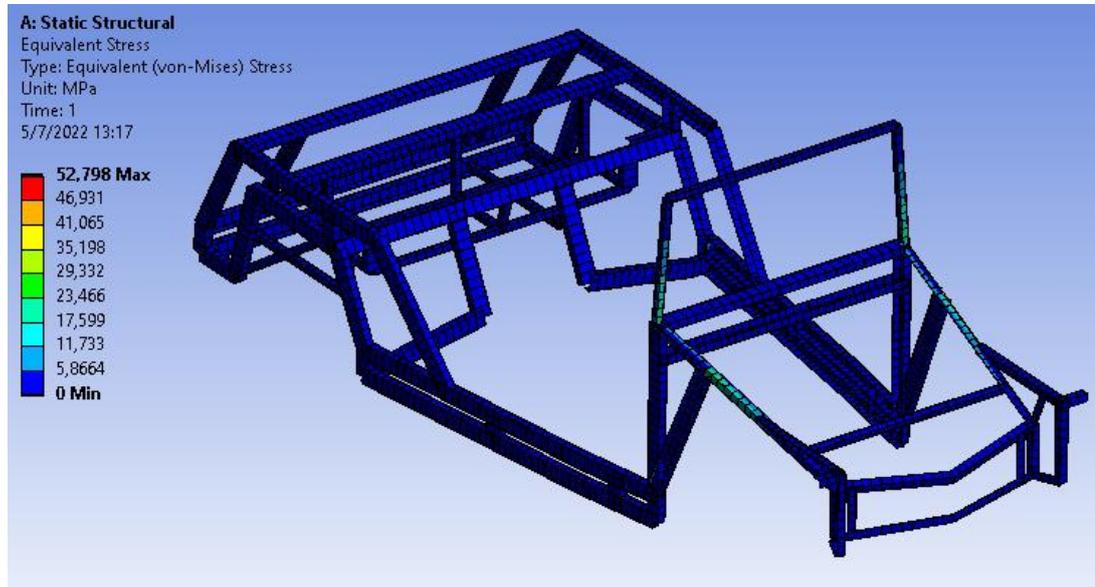


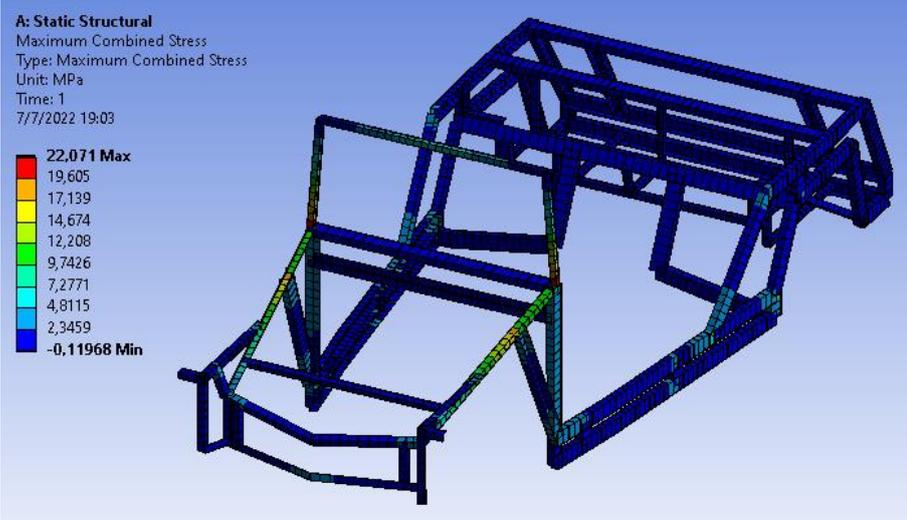
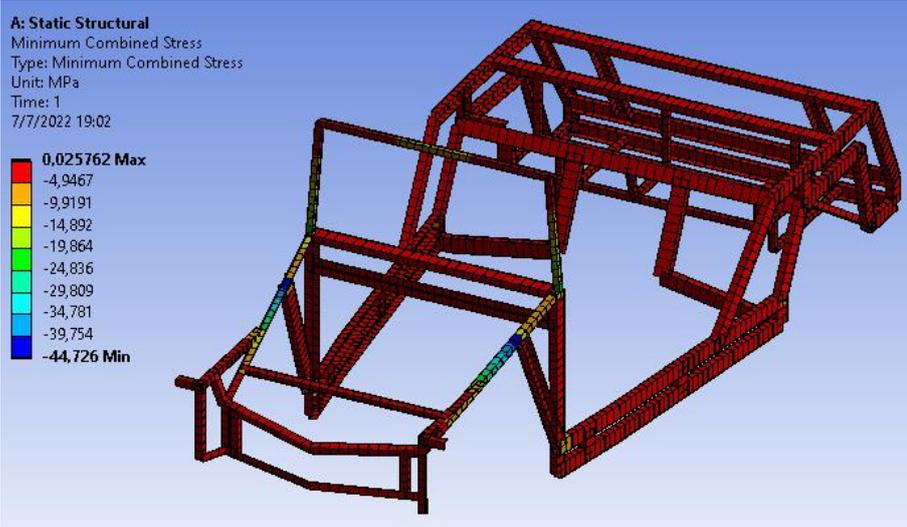
Figura 46.- Esfuerzo equivalente por carga de resistencia al aire frontal.

El esfuerzo equivalente de Von-Mises reflejado en el análisis es de 52.79 MPa producido en el lugar donde se sitúa el capot de la carrocería, este valor está por debajo del límite de fluencia propio del material el cual es de 250 MPa, lo que nos permite establecer el funcionamiento adecuado a cargas extremas por resistencia al aire frontal de este elemento.

- **Esfuerzo combinado máximo y mínimo**

La tabla 51 expone los valores de esfuerzos máximos y mínimos reflejados por la carga por resistencia al aire frontal, para el máximo nos muestra un esfuerzo de 22.07 MPa en tracción y para el esfuerzo mínimo un valor de 44.72 MPa en compresión.

Tabla 51.- Esfuerzos máximo y mínimo por carga por resistencia al aire frontal.

Esfuerzo	Gráfico
Max.	
Min.	

- **Factor de seguridad**

La tabla 52 y figura 47 muestran los valores de cada uno de los esfuerzos principales que soporta la estructura, obtenidos tras el análisis de la carga por resistencia al aire frontal sobre la carrocería, dichos valores serán comparados y el valor más alto será elegido para el cálculo de factor de seguridad.

Tabla 52.- Esfuerzos por carga de resistencia al aire frontal sobre la estructura.

Esfuerzo	Valor (MPa)
Von-Mises	52.79
Combinado máximo	22.07
Combinado mínimo	44.72

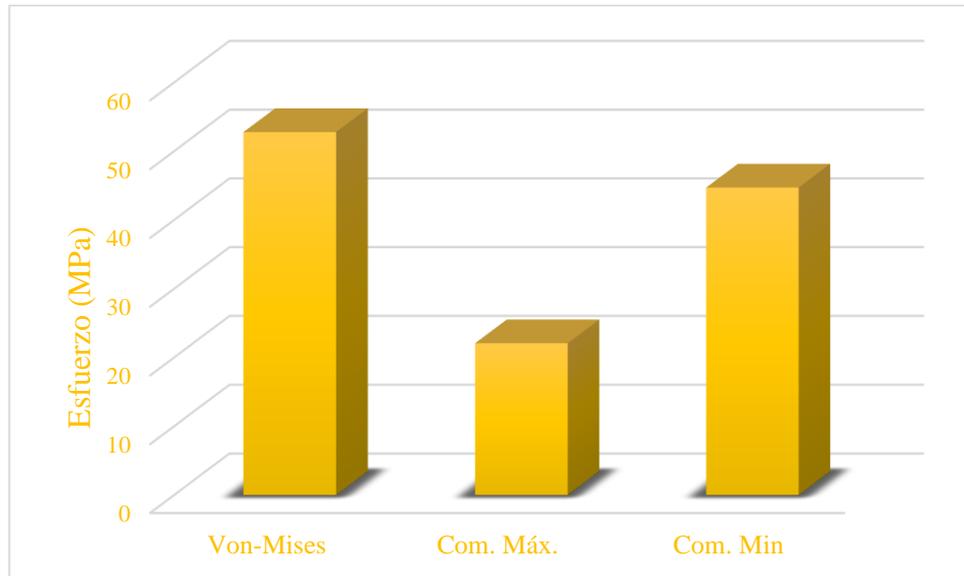


Figura 47.- Esfuerzo – Valor (MPa) para carga por resistencia al aire frontal.

El factor de seguridad es obtenido en función del límite de fluencia dado por el material y el esfuerzo de Von-Mises, mismo que la tabla 52 lo muestra como el esfuerzo mayor de los analizados, dicho valor es 52.79 MPa.

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$F_s = \frac{250 \text{ (MPa)}}{52.79 \text{ (MPa)}}$$

$$F_s = 4.73$$

El valor resultante es de 4.73 mismo que está dentro del límite de 4+ el cual afirma que el diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbres en ciertas combinaciones de cargas, propiedades mecánicas, análisis de esfuerzo, condiciones de trabajo. Se justifica el deseo de proveer extra seguridad a componentes críticos [56].

3.6.2.5. Análisis de combinación crítica (Método LRFD)

Por medio de las diferentes combinaciones de la Norma INEN 1323 y según el método LRFD, expuesto en la tabla 39, se puede ver que la combinación número 3, tiene el valor más alto y crítico, por lo que se va a realizar el análisis estructural de acuerdo a dichos valores.

Combinación N. 3

$$C = 1.2M + 0.5V + 1.6G \quad \text{Ecuación 11}$$

La figura 48 muestra el lugar de las fuerzas aplicadas sobre la estructura, representada de color rojo con las letras “A” y “B”, mismas que se encuentran en la parte lateral de la carrocería, y los puntos de sujeción en la parte tanto frontal como trasera representada por color azul y las letras “C”, “D”, “E” y “F”. La carga aplicada en total es de 66997 N obtenida por la ecuación 11 y expuesta en la tabla 53, misma generada por la combinación número 3 del método LRFD.

La suma de las fuerzas “A” y “B”, nos dará el valor total de la combinación expuesta en la tabla 53, estas aplicadas en el centro de gravedad de la estructura.

Tabla 53.- Combinación número 3 por el método LRFD.

Paso	Solución
1.	$C = 1.2M + 0.5V + 1.6G$ $C = 1.2(6366.9) + 0.5(3433.5) + 1.6(36025.6)$ $C = 66997.9 \text{ (N)}$

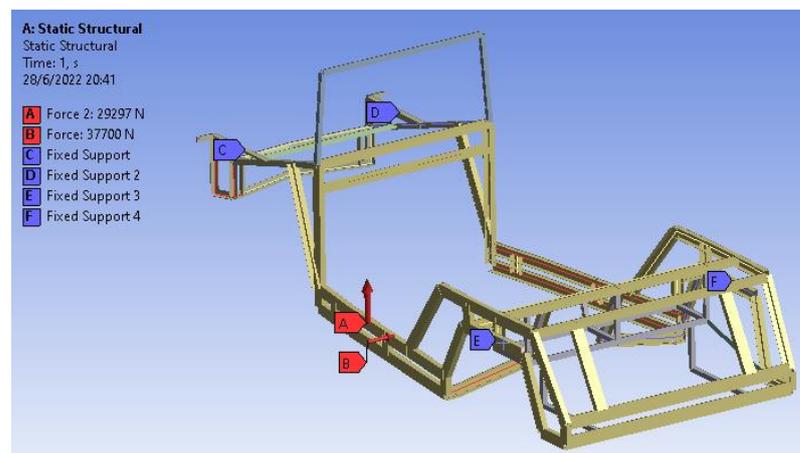


Figura 48.- Aplicación de fuerzas por la combinación 3 del método LRFD.

- **Deformación total**

La figura 49 ilustra la deformación total que sucede en la estructura de la carrocería al aplicar la carga combinada en análisis.

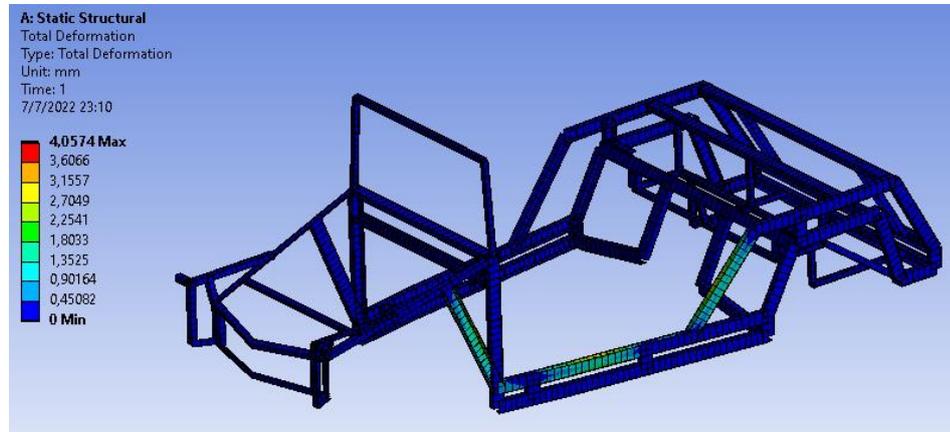


Figura 49.- Deformación total por la combinación número 3 del método LRFD.

La deformación máxima es de 4.05 mm representada en condiciones extremas después del análisis, ésta se puede observar en la parte lateral alta de la carrocería. Este valor indicado está dentro del límite de deformación máxima cuyo valor es 7.175 mm, según la Norma INEN 1323, especificado en el ítem 5.1.4 [53].

- **Esfuerzo equivalente**

A través de la figura 50 se ilustra el resultado numérico del Esfuerzo Equivalente de Von-Mises obtenido en el análisis de la combinación número 3.

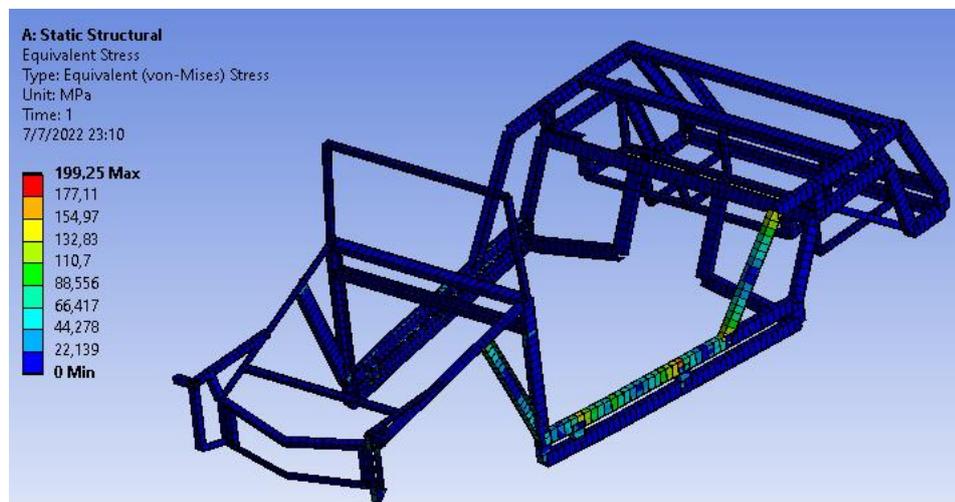


Figura 50.- Esfuerzo máximo por la combinación número 3 del método LRFD.

El esfuerzo equivalente de Von-Mises reflejado en el análisis es de 199.25 MPa generado en la parte lateral de la estructura de la carrocería, este valor está por debajo del límite de fluencia propio del material el cual es de 250 MPa, lo que nos permite establecer el funcionamiento adecuado a cargas extremas de dichos elementos, producidos por la combinación número 3 del método LRFD.

- **Esfuerzo combinado máximo y mínimo**

La tabla 54 expone los valores de esfuerzos máximos y mínimos reflejados por la carga total de la combinación número 3, para el máximo nos muestra un esfuerzo de 154 MPa en tracción y para el esfuerzo mínimo un valor de 191.26 MPa en compresión.

Tabla 54.- Esfuerzos máximo y mínimo por la combinación 3 del método LRFD.

Esfuerzo	Gráfico
Max.	<p>A: Static Structural Maximum Combined Stress Type: Maximum Combined Stress Unit: MPa Time: 1 7/7/2022 23:12</p> <p>154 Max 136,36 118,72 101,09 83,451 65,815 48,179 30,542 12,906 -4,7306 Min</p>
Min.	<p>A: Static Structural Minimum Combined Stress Type: Minimum Combined Stress Unit: MPa Time: 1 7/7/2022 23:11</p> <p>1,7243 Max -19,719 -41,162 -62,605 -84,048 -105,49 -126,93 -148,38 -169,82 -191,26 Min</p>

- **Factor de seguridad**

La tabla 55 y la figura 51 muestran los valores de cada uno de los esfuerzos principales que soporta la estructura, obtenidos tras el análisis de la carga de la combinación número 3 del método LRFD sobre la carrocería, dichos valores serán comparados y el valor más alto será elegido para el cálculo de factor de seguridad.

Tabla 55.- Esfuerzos por carga de la combinación número 3 sobre la estructura.

Esfuerzo	Valor (MPa)
Von-Mises	199.25
Combinado máximo	154
Combinado mínimo	191.26

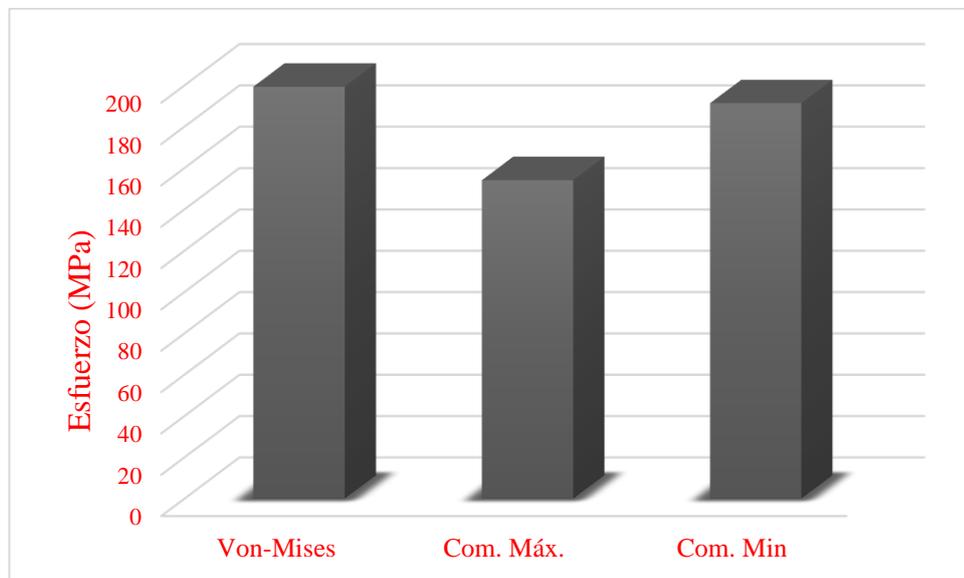


Figura 51.- Esfuerzo – Valor (MPa) para carga por la combinación número 3.

El factor de seguridad es obtenido en función del límite de fluencia dado por el material y el esfuerzo de Von-Mises, mismo que la tabla 55 lo muestra como el esfuerzo mayor de los analizados, dicho valor es 199.2 MPa.

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{250 \text{ (MPa)}}{199.2 \text{ (MPa)}}$$

$$F_s = 1.26$$

El valor resultante es de 1.26 mismo que está dentro del límite de 1.25 a 2, el cual afirma que el diseño de estructuras bajo cargas estáticas, tiene un alto nivel de confianza en la data de diseño [56].

Esto nos da como conclusión que la estructura en combinación de sus cargas principales soportará dichos esfuerzos, teniendo a esta combinación como la más crítica.

3.7. Restauración de chasis y construcción de carrocería

3.7.1. Sistema de soldadura

Para la unión de cada uno de los elementos de la carrocería se utilizó suelda eléctrica que muestra la figura 52, con ayuda del material de aporte 6011; ya que, considerando la necesidad de penetración y sujeción entre los elementos, ésta cuenta con las características necesarias.

La soldadora utilizada es de marca Century, misma que cuenta con 230 A para corriente alterna alta y 180 A para corriente alterna baja, que tiene un ciclo de trabajo de 100%.



Figura 52.- Soldadora eléctrica Century.

3.7.2. Desintegración de chasis del vehículo

Para la realización del proyecto, se ocupó un Volkswagen Escarabajo que estaba ya desechado y en malas condiciones tanto mecánica como estructuralmente, la figura 53 muestra el estado del vehículo.



Figura 53.- Vehículo Volkswagen a ser extraído su chasis.

Como se muestra en la figura 54 el auto fue virado lateralmente para tener mayor accesibilidad al chasis, dadas las condiciones de éste se utilizó un spray anticorrosivo en cada uno de los tornillos que sujetaban la carrocería al chasis, para después con herramientas mecánicas se lo pueda desprender.



Figura 54.- Extracción de chasis.

3.7.3. Restauración de chasis

El chasis fue tratado, primero con una limpieza y pulida intensa; se seleccionó las partes que tenían vida útil aún, las que no fueron retiradas con las herramientas necesarias para posteriormente ser desechadas, la figura 55 muestra el estado del chasis después de dicho proceso.



Figura 55.- Chasis a ser restaurado.

El chasis se restauró totalmente, fue colocado un nuevo piso, para ello se adaptó plancha de tol corrugado de 2 mm con las dimensiones originales del vehículo para así mantener su aspecto original, y sobre este se instaló los rieles originales para posteriormente ser insertados los asientos. El piso se unió al bastidor por medio de suelda eléctrica, con ayuda de electrodos 6011. La parte delantera del chasis fue reconstruida y moldeada con masilla plástica, la cual se usó para dar el aspecto original de éste. Este proceso lo podemos a ver a través de la figura 56.



Figura 56.- Restauración de chasis.

3.7.4. Restauración de motor

Para la restauración del motor se comenzó por abrirlo por completo, realizando un examen profundo y seleccionando los elementos útiles, así como los que no están en buen estado, para su sustitución. Así también se rectificó ciertos elementos para posteriormente montarlos en el motor.

Los elementos que pasaron por su proceso de rectificación fueron:

- Cigüeñal en bielas y bancada donde las medidas fueron +0.20 y +0.30 milímetros respectivamente
- Bloc, +0.20 milímetros en su exterior.
- Propulsores
- Asiento de válvulas en los cabezotes
- Roscas de bujías
- Válvulas

Los elementos que ya no tenían vida útil y fueron sustituidos fueron:

- Cojinetes de árbol de levas
- Bomba de aceite
- Cojinete de biela y bancada
- Bocines de biela
- Rines de pistones
- Esparragos de block
- Guías de válvula
- Plato y disco de embrague
- Carbones, rulimanes, polea y banda de dinamo
- Bomba de gasolina
- Filtro de gasolina
- Tapa y cables de distribuidor
- Platino y condensador de distribuidor

Una vez con los elementos nuevos adquiridos y con los elementos rectificadas respectivamente, se procedió a armar el motor, esto bajo la guía técnica del Volkswagen Escarabajo dado por el proveedor de origen. Como último paso las latas protectoras fueron pintadas para mejora de su aspecto.



Figura 57.- Motor a ser restaurado.

3.7.5. Restauración y montaje de caja de cambios

En el campo mecánico la caja de cambios fue pulida y tratada con desoxidante líquido, para posteriormente ser pintada y montada sobre el chasis del automotor. Sus ejes fueron colocados con ayuda de una prensa hidráulica para luego proceder a la restauración de los tambores de las llantas tanto delanteros como traseros, posteriormente se pudo instalar el sistema de frenos al vehículo, para lo cual se colocó las cañerías necesarias por donde pasará el líquido de frenos.



Figura 58.- Montaje de caja de cambios.

3.7.6. Colocación de ruedas delanteras y traseras

Una vez instalado el sistema de frenos, se colocó tanto las ruedas posteriores como delanteras, las cuales se las adquirieron del taller mecánico donde fue construido el automotor, para ello se utilizó una pistola neumática para asegurarnos la seguridad de cada una de éstas en cada una de sus posiciones.



Figura 59.- Chasis con vista a sus ruedas posteriores.

3.7.7. Armado de estructura delantera, colocación de capot y parabrisas

El armado de la estructura delantera del vehículo, comenzó con la instalación de los parantes principales laterales, los cuales soportarán el peso del parabrisas y de donde partirá la estructura que soportará al capot. Para los parantes se utilizó correa “G” de 60x30x10x2 y la estructura delantera fue construida con ángulo de 30x30x3, la cual fue tratada para darle la forma correcta. Todas estas uniones fueron con ayuda de suelda eléctrica y material de aporte 6011.



Figura 60.- Estructura delantera del vehículo.

La instalación del parabrisas y capot se la realizó luego de ser confeccionadas estas bajo sus parámetros de diseño, teniendo la particularidad que cuentan con un mecanismo por el cual tanto el capot como el parabrisas tienen movilidad de arriba hacia abajo por medio de la ayuda de una bisagra construida para el efecto. La figura 61, muestra el perfil estructural delantero del vehículo, ya instaladas las partes mencionadas donde se aprecia la estructura delantera en conjunto con la instalación del tren delantero del chasis, el cual fue pulido y pintado con material anticorrosivo, para evitar así el desgaste temprano.



Figura 61.- Colocación de capot y parabrisas.

3.7.8. Colocación de guardafangos delanteros y tanque de gasolina

Los guardafangos fueron contruidos con plancha de tol de 1.2 mm dejando los espacios necesarios para colocar los faros de luces delanteros, estos fueron adaptados a la estructura delantera del vehículo con ayuda de la soldadora eléctrica, dejándolos completamente fijos.

La figura 62 muestra el recubrimiento interior delantero realizado con la plancha de tol del mismo espesor, el cual se encuentra con fondo anticorrosivo, dejando espacio para la colocación del tanque de gasolina, manteniendo así la originalidad del Volkswagen Escarabajo.



Figura 62.- Colocación de guardafangos.

El tanque de gasolina después de ser tratado con desoxidante fue colocado en su posición como se ilustra en la figura 63. El capot del vehículo cuenta con espacio para que una vez colocado, sobresalga la boquilla del tanque, por la cual se alimentará de gasolina necesaria para el funcionamiento del automotor.



Figura 63.- Montaje de tanque de gasolina.

3.7.9. Montaje de motor y armado de estructura trasera

Luego de ser restaurado el motor, se procedió a su montaje con la ayuda de una gata hidráulica, para dar paso a la construcción de cada una de las partes de la estructura trasera, teniendo como principal material la correa “G”. Todas las uniones fueron realizadas por medio de soldadura eléctrica y con material de aporte 6011. La

adaptación de los guardafangos traseros fue por medio de tornillos, dejándolos completamente fijos.



Figura 64.- Conformado de estructura de la parte trasera.

3.7.10. Recubrimiento de la estructura

Para el recubrimiento exterior del vehículo, se cortó la plancha de tol de 1.2 mm de acuerdo a cada medida necesaria, adhiriéndole pintura anticorrosiva. Se dejó el espacio necesario del acople de la puerta trasera, para el acceso al motor. La figura 65 muestra la parte lateral del vehículo, ésta fue cubierta con el diseño antes planteado, la cual se realizó con ayuda de una dobladora, dándole el ángulo exacto y acoplándolos al automotor con tornillos en los guardafangos tanto traseros como delanteros.



Figura 65.- Recubrimiento lateral y posterior.

3.7.11. Adecuación de tablero y volante

La conformación del tablero se lo hizo con plancha de tol del mismo espesor, dejando los espacios necesarios para el velocímetro y guantera con la que contará el vehículo, fijándolo por medio de 4 tornillos pequeños en los parantes laterales interiores, colocando dos a cada lado.

Para la adecuación del volante se instaló el mecanismo delantero para movimiento de las ruedas, y se cubrió por medio de un tubo estructural redondo de 3 plg, el cual va por la base delantera anteriormente colocada.



Figura 66.- Colocación de volante y tablero.

3.7.12. Proceso de masillado y lijado de la carrocería

Una vez ya conformadas y colocadas todas las partes del vehículo, se dio paso al proceso de masillado y lijado, para la cual se utilizó masilla plástica en conjunto con su secante y una relación de 10:1 respectivamente, para después utilizar lijas 80, 150, 300 y 450, éstas ocupadas para el proceso de lijado de la carrocería, comenzando por la más gruesa para igualar la superficie hasta llegar a la lija más fina para que tenga una uniformidad totalmente plana.



Figura 67.- Masillado de la carrocería.

3.7.13. Pintado de carrocería

Antes de iniciar el proceso de pintado, se supervisó que la carrocería este en óptimo estado, para lo cual se comenzó fondeando de color rojo, por lo que se comenzó retirando el capot, parabrisas, mascarilla, que son partes que tendrán diferente color y así también poder pintarlas por dentro.

La parte inferior de cada guardafango, así como la parte trasera donde se posiciona el motor, fue rociada batepiedra color negro mate, material formado en base a resina acrílica con resistencia a elevadas temperaturas, con el fin de contrastar el tono del automóvil, dado que esas partes están en contacto directo con el agua o elementos que se encuentren en la carretera, así como factores producidos por rayos solares.



Figura 68.- Pintado de carrocería.

El parabrisas y tablero del automóvil, fueron retirados de su posición para pintarlos, ya que éstos fueron rociados de plomo metálico para así dar un aspecto de contraste con el rojo de la carrocería. Luego de esperar el tiempo debido de secado de aproximadamente 60 minutos, se lo acopló nuevamente a su posición.



Figura 69.- Pintado de tablero y parabrisas.

3.7.14. Tapizado de asientos

Los asientos originales fueron completamente restaurados, se los sometió a un proceso de tapizado donde se les integró un nuevo sistema de resortes y se les otorgó un diseño que combine con el color de la carrocería tanto exterior como interior. La figura 70 muestra el estado en el que se encontraban originalmente.



Figura 70.- Asientos originales.

Una vez listos, se les acopla a los rieles antes instalados en el piso del vehículo, tal como muestra la figura 71.



Figura 71.- Asientos tapizados.

3.7.15. Construcción de guardachoques

Los guardachoques tanto delantero como trasero se los realizó de correa “G”, donde en sus extremos sobresalen piezas que cubren sus orificios, éstas realizadas del mismo material, el guardachoque frontal se lo adaptó al chasis del Volkswagen Escarabajo, mientras que el trasero está sujeto a la estructura principal de la carrocería.



Figura 72.- Adecuación de guardachoque delantero.

Cada guardachoque se procedió a pintar del mismo color tanto del parabrisas y tablero, para que sobresalga sobre el color principal de la carrocería. Luego se los montó a los dos, uno adelante y el segundo en su parte posterior, brindando la seguridad frente a choques en sus dos extremos. La figura 73 muestra el guardachoque posterior al final de su montaje.



Figura 73.- Guardachoque trasero.

3.7.16. Instalación de sistema eléctrico

Una vez pintada en su totalidad la carrocería, se realizó la instalación del sistema eléctrico, la cual partió de la caja de fusibles ubicada en el interior de la carrocería, al lado izquierdo del capot. Con ello se pudo instalar todo lo que comprende a luces delanteras y traseras, direccionales y pito.

También se puso en funcionamiento al velocímetro, el cual mediante la conexión al tambor izquierdo delantero indica la velocidad a la que el automotor recorre.



Figura 74.- Instalación de sistema eléctrico.

Elementos utilizados:

- Caja de fusibles
- Actuadores de un tiempo
- Actuadores de dos tiempos
- Cañerías plásticas
- Relé electromagnético (Interruptor)
- Terminales
- Taípe
- Cables



Figura 75.- Caja de fusibles para sistema eléctrico.

3.7.17. Colocación de retrovisores tanto laterales como central

Una vez instalado todo el sistema eléctrico, se colocó los retrovisores a cada lado de la carrocería, siendo ajustados estos por medio de tres tornillos autorroscantes, teniendo la posibilidad de moverlos a conveniencia del conductor. El retrovisor central fue restaurado del auto original y se lo sujetó en la parte central del parabrisas por medio de dos tornillos. La figura 76 muestra los tres retrovisores ya colocados.



Figura 76.- Retrovisores laterales y central.

Después de la culminación de todos los procesos antes mencionados, el automotor se encuentra totalmente terminado y listo para su utilización, tal como muestra la figura 77.



Figura 77.- Automotor totalmente terminado.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.CONCLUSIONES

- Se analizó los reglamentos y normas disponibles en el país para la construcción de carrocerías, dado que no existe una norma específica para construcción de carrocerías particulares.
- Se diseñó la estructura principal de la carrocería mediante los dos softwares CAD utilizados, uno para el diseño 3D y el segundo para el modelado de la estructura y sus posteriores análisis, manteniendo como base principal las medidas del chasis del Volkswagen Escarabajo, contando esta carrocería con todas las seguridades y comodidades para los pasajeros.
- Se restauró completamente el chasis del vehículo, desprendiendo las partes devastadas y reemplazándolas por unas completamente nuevas, manteniendo las medidas originales dadas por el proveedor. La caja de cambios y motor fueron completamente restaurados y montados, en base a especificaciones de origen.
- La elección del material de la carrocería se realizó por medio de una tabla de comparación de acuerdo a diferentes consideraciones, donde se eligió como material principal a la correa “G” y como materiales secundarios el ángulo y tubo estructural cuadrado. Esta estructura fue cubierta con plancha de tol.
- La norma en la cual se basaron todas las simulaciones fue la INEN NTE 1323 mediante el método LRFD, misma que nos permitió comprobar mediante el análisis estático que la carrocería se encuentra diseñada para soportar totalmente todos los esfuerzos a la que va a estar sometida en condiciones extremas, brindado así la seguridad a cada uno de sus ocupantes.
- Se construyó y adaptó la estructura al chasis del Volkswagen Escarabajo, donde el método principal de unión de los elementos fue la soldadura eléctrica. La carrocería fue terminada con su proceso de pintado y acople de todos sus componentes eléctricos.
- Se pudo demostrar la hipótesis de estudio, comprobando que se puede adaptar otro tipo de carrocería al Volkswagen Escarabajo completamente segura y con todas las comodidades, manteniendo las condiciones técnicas del vehículo dadas por el proveedor de origen.

4.2.RECOMENDACIONES

- No superar el máximo de personas dentro de la carrocería, piloto, copiloto y tres ocupantes en la parte trasera, dado que los análisis están en función de la carga admisible que puede soportar la estructura. Con ello evitaremos fallos en la carrocería y en el diseño planteado.
- Proporcionar un mantenimiento periódico a los elementos que no tienen movilidad, para que su tiempo de vida sea más duradero y precautele la seguridad de los ocupantes que lo utilicen.
- Realizar un chequeo preventivo a la batería, dado que de ella depende todo el desempeño eléctrico de los componentes insertados en la carrocería.
- Tener en cuenta que la unidad de medida del velocímetro se encuentra expuesto en milla por hora, esto con el fin de evitar multas por exceso de velocidad dentro de la ciudad dado que los radares dentro de la provincia están reflejados en kilómetros por hora.
- Asegurarse la sujeción de la tapa de gasolina al tanque, para así evitar fugas de combustible, y con ello precautelar la vida de sus ocupantes.
- Realizar un análisis a fatiga de la estructura principal para poder estudiar sus resultados y así proponer mejoras futuras al diseño.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] El motor, «Estos 15 coches han marcado la historia de la automoción», El Motor, 16 de abril de 2017. <https://motor.elpais.com/actualidad/15-coches-historia-de-la-automocion/> (accedido 5 de junio de 2022).
- [2] «Historia De La Carrocería - Trabajos finales - 952 Palabras», Buenas Tareas. <https://www.buenastareas.com/ensayos/Historia-De-La-Carrocer%C3%ADa/2936711.html> (accedido 5 de junio de 2022).
- [3] R. Educativo, «El coche eléctrico», Rincón Educativo, 18 de enero de 2016. <https://www.rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/el-coche-electrico> (accedido 17 de agosto de 2022).
- [4] Disprocar, «Historia de las carrocerías». http://www.elchapista.com/carrocerias_historia.html (accedido 5 de junio de 2022).
- [5] Autocosmos, «La historia del Volkswagen que era un Porsche», Autocosmos, 16 de julio de 2019. <https://noticias.autocosmos.com.mx/2019/07/16/la-historia-del-volkswagen-que-era-un-porsche> (accedido 5 de junio de 2022).
- [6] M. Tixec, «Un breve repaso a la historia del VW Escarabajo», Motor y Racing. <https://www.motoryracing.com/coches/noticias/un-breve-repaso-a-la-historia-del-escarabajo/> (accedido 17 de agosto de 2022).
- [7] «▷ Historia del Volkswagen Beetle o VW Escarabajo ▷ GUÍA». <https://www.vwcanarias.com/es/blog/historia-volkswagen-beetle.html> (accedido 5 de junio de 2022).
- [8] «Se creó primera limusina ejecutiva – Diario La Hora». <https://www.lahora.com.ec/noticias/se-cre-primera-limusina-ejecutiva/> (accedido 5 de junio de 2022).
- [9] S. F. R. Malquín y N. R. V. Pasquel, «Diseño y construcción del bastidor y carrocería de una Limusina Escarabajo», p. 180.
- [10] E. R. C. Taday y M. S. G. Sánchez, «Diseño - Construcción e implementación de un sistema con tech retráctil en un vehículo Suzuki Forza 1 para el taller de auto lujos de la ciudad de Ambato», n.º 2017, p. 83.
- [11] R. Roca, «Historia del Volkswagen Escarabajo (1938 - 2003): el coche del pueblo», 8000vueltas.com, 14 de noviembre de 2018.

- <https://8000vueltas.com/2018/11/14/historia-del-volkswagen-escarabajo-1938-2003-el-coche-del-pueblo> (accedido 5 de junio de 2022).
- [12] E. Kogan, «La leyenda e historia que esconde el Volkswagen Escarabajo», Puros Autos | Noticias de Autos, 10 de noviembre de 2016. <https://www.purosautos.com/noticias/la-leyenda-e-historia-que-esconde-el-volkswagen-escarabajo/> (accedido 5 de junio de 2022).
- [13] «Volkswagen Escarabajo: 75 años de historia», Motor Colombia. <https://www.motor.com.co/industria/Volkswagen-Escarabajo-75-anos-de-historia-20201230-0004.html> (accedido 5 de junio de 2022).
- [14] R. Fidalgo, «El VW Escarabajo cumple 70 años», Autocasión, 25 de febrero de 2022. <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/el-vw-escarabajo-cumple-70-anos> (accedido 5 de junio de 2022).
- [15] A. Pérez, «Volkswagen 39: el Beetle que modificó Ferdinand Porsche», Periodismo del Motor, 11 de abril de 2019. <https://periodismodelmotor.com/volkswagen-39/220982/> (accedido 5 de junio de 2022).
- [16] H. Druckerei, Manual de Reparaciones Volkswagen, 1952/57 ed. Wolfsburg.
- [17] MOTORMANIA, «Volkswagen Escarabajo. Historia y ficha técnica.», MotorMania.info, 30 de julio de 2003. <http://motormania.info/MM/2003/07/30/volkswagen-escarabajo-historia-y-ficha-tecnica/> (accedido 5 de junio de 2022).
- [18] Cindy, «Volkswagen Cabriolet», Pinterest. <https://www.pinterest.com.mx/pin/538461699180632368/> (accedido 5 de junio de 2022).
- [19] «Volkswagen Beetle Design 1.4 TSI 150 CV BMT (2016-2017) | Precio y ficha técnica - km77.com». <https://www.km77.com/coches/volkswagen/beetle/2017/coupe/design/beetle-coupe-design-14-tsi-150-cv-bmt/datos> (accedido 5 de junio de 2022).
- [20] Tintero, «Pascal y Arquimides efectos». <https://tintero.com.ar/index.php/site/article?slug=pascal-y-arquimedes-efectos&category=enciclotin-lectura> (accedido 5 de junio de 2022).
- [21] P. Riofrio, «La carrocería del automóvil: función y clasificación», Másters Automóvil, 21 de enero de 2020.

- <https://www.mastersautomovil.com/blog/carroceria/> (accedido 5 de junio de 2022).
- [22] Good Year, «¿Cuáles son las partes de un coche? - Kilometrosquecuentan.com», Kilómetros que cuentan: los mejores planes para viajar en coche, 24 de abril de 2018. <https://kilometrosquecuentan.goodyear.eu/partes-coche/> (accedido 5 de julio de 2022).
- [23] TecnologiadelAutomovil, «Carrocería I - Funciones de la carrocería», 14 de agosto de 2013. <https://www.tecnologia-automovil.com/articulos/tecnologia-del-automovil/carroceria-i/> (accedido 5 de julio de 2022).
- [24] Ruta 401 y test, «Tipos de carrocerías y sus principales características». <https://blog.reparacion-vehiculos.es/tipos-de-carrocerias-principales-caracteristicas> (accedido 5 de junio de 2022).
- [25] B. Services, «¿Sabes qué tipo de carrocería lleva tu coche? Te lo explicamos fácil (¡con ejemplos!)», Motorpasión, 20 de noviembre de 2019. <https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/sabes-que-tipo-carroceria-lleva-tu-coche-te-explicamos-facil-ejemplos> (accedido 5 de junio de 2022).
- [26] F. J. Montes Ortega, Desmontaje y separación de elementos fijos (UF0918): TMVL0309: mantenimiento de estructuras de carrocerías de vehículos. IC Editorial, 2012. Accedido: 5 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/uta/42830?page=102>
- [27] H. Iberia, «Manta ignífuga para la protección contra incendios», Haléco, 1 de febrero de 2019. <http://www.haleco.es/manta-ignifuga-para-la-proteccion-contra-incendios/> (accedido 5 de junio de 2022).
- [28] Tecnitool, «¿Qué son las brocas? Tipos de brocas según el material». <https://tecnitool.es/tag/brocas/> (accedido 5 de julio de 2022).
- [29] Insemac, «¿Qué es una amoladora y para qué sirve? | El blog del marmolista». <http://www.insemactools.es/blog/index.php/2016/09/08/que-es-una-amoladora-y-para-que-sirve/> (accedido 5 de junio de 2022).
- [30] «Discos de corte y desbaste: Consejos de uso y seguridad». <https://www.nortonabrasives.com/es-pe/blog/discos-de-corte-y-desbaste-consejos-de-uso-y-seguridad> (accedido 5 de junio de 2022).

- [31] A. Nieto Vigil, Soldadura. Grupo Editorial Éxodo, 2012. Accedido: 5 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/uta/128559?page=12>
- [32] C. Pina, Manual de soldadura por arco eléctrico: con electrodo recubierto (MMA). Cano Pina, 2014. Accedido: 5 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/uta/43079?page=40>
- [33] «Manual-de-soldadura-Pedro-Claudio-Rodríguez.pdf». Accedido: 5 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://fullseguridad.net/wp-content/uploads/2017/02/Manual-de-soldadura-Pedro-Claudio-Rodr%C3%ADguez.pdf>
- [34] H. Rodríguez, «Soldadura por Arco con Electrodo Revestido». <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn45.html> (accedido 21 de julio de 2022).
- [35] A. Rodriguez, «Qué puede causar oxidación en tu auto y cómo prevenirlo», Siempre Auto, 25 de septiembre de 2021. <https://siempreauto.com/que-puede-causar-oxidacion-en-tu-auto-y-como-prevenirlo/> (accedido 17 de agosto de 2022).
- [36] C. Clark, «Pasos para restaurar un auto viejo». <https://www.puromotores.com/13147870/pasos-para-restaurar-un-auto-viejo> (accedido 5 de junio de 2022).
- [37] «¿Qué es el diseño estructural?», Arcux, 20 de julio de 2020. <https://arcux.net/blog/que-es-el-diseno-estructural/> (accedido 30 de junio de 2022).
- [38] Autodesk, «Programa de diseño CAD | Diseño asistido por computadora | Autodesk». <https://www.autodesk.mx/solutions/cad-design> (accedido 17 de agosto de 2022).
- [39] E. Nava Vergara, Dibujo asistido por computadora 2D y 3D. Grupo Editorial Éxodo, 2012. Accedido: 5 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/uta/128623?page=14>
- [40] Siemens, «Ingeniería asistida por ordenador (CAE)», Siemens Digital Industries Software. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-engineering-cae/13112> (accedido 11 de julio de 2022).

- [41] «CAE (computer aided engeneering) - ppt descargar». <https://slideplayer.es/slide/132112/> (accedido 17 de agosto de 2022).
- [42] O. C. Zienkiewicz, El método de los elementos finitos. Editorial Reverté, 2018. Accedido: 5 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/uta/100522?page=891>
- [43] G. Mirlisenna, «¿Qué es el método de elementos finitos y cómo es utilizado en la simulación?», ESSS. <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/> (accedido 5 de junio de 2022).
- [44] M. Ureña, «Análisis elemento beam». <https://www.docsity.com/es/analisis-elemento-beam/5731294/> (accedido 8 de julio de 2022).
- [45] S. Real, «Continuum, shell, beam y truss elements, ¿cuál utilizar?» <https://www.4realsim.com/es/continuum-shell-beam-truss-elements/> (accedido 8 de julio de 2022).
- [46] M. Brickell, «Diseño experimental», Wikipedia, la enciclopedia libre. 26 de agosto de 2021. Accedido: 11 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Dise%C3%B1o_experimental&oldid=137916929
- [47] Import Aceros, «Tubo Redondo Estructural Quito», importacero. <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/tubo-redondo-estructural/> (accedido 30 de junio de 2022).
- [48] Import Aceros, «Tubo rectangular estructural Ecuador Perfil rectangular y tuberías». <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YmKoMsca0coJ:https://www.importaceros.com/ecuador-quito/tubo-rectangular-estructural-y-grandes-dimensiones/+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec> (accedido 30 de junio de 2022).
- [49] Import Aceros, «Tubo Cuadrado Ecuador Tubo estructural precio y medidas». https://www.importaceros.com/ecuador-quito/tubo-cuadrado-estructural-y-grandes-dimensiones/?gclid=CjwKCAjwk_WVBhBZEiwAUHQcmWck4-UmnlrqDtnLn2LHAdXnyUA05bU3RMTI5wIpKjriEaemRULOABoCUvwQAvD_BwE (accedido 30 de junio de 2022).
- [50] Import Aceros, «Correas G Quito Ecuador ▷ Correas metálicas precios ». <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:RRRHlKwB6ycJ:http>

- s://www.importaceros.com/ecuador-quito/correas-g-metalicas/+&cd=13&hl=es&ct=clnk&gl=ec (accedido 30 de junio de 2022).
- [51] «Principales criterios para la selección de los materiales de construcción». <https://blog.laminasyaceros.com/blog/principales-criterios-para-la-selecci%C3%B3n-de-los-materiales-de-construcci%C3%B3n> (accedido 30 de junio de 2022).
- [52] «Acero Estructural». <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:i2i0zitovucJ:www.sumiteccr.com/acero/estructural/AE01.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec> (accedido 30 de junio de 2022).
- [53] «Instituto Ecuatoriano De Normalización». <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:BO39gLeGyCUJ:https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte-inen-1323-1.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec> (accedido 30 de junio de 2022).
- [54] «Volkswagen 1200-1300 - Ficha Técnica de época 1972». <http://www.yclasicos.com/spa/item/ART32665.html> (accedido 11 de julio de 2022).
- [55] «Anexo:Cx de automóviles», Wikipedia, la enciclopedia libre. 29 de mayo de 2022. Accedido: 13 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Anexo:Cx_de_autom%C3%B3viles&oldid=143858548
- [56] R. Mott, «Diseño de Elementos de Máquinas 4ta Edición Robert L. Mott», Accedido: 11 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/34159733/Dise%C3%B1o_de_Elementos_de_M%C3%A1quinas_4ta_Edici%C3%B3n_Robert_L_Mott

ANEXOS

Anexo A. Norma de fabricación INEN 2415



Servicio Ecuatoriano de Normalización

Quito – Ecuador

**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN 2415

Segunda revisión
2018-10

**TUBOS DE ACERO AL CARBONO SOLDADOS PARA
APLICACIONES ESTRUCTURALES Y USOS GENERALES.
REQUISITOS**

**WELDED CARBON STEEL PIPES FOR STRUCTURAL APPLICATIONS AND GENERAL
PURPOSES. REQUIREMENTS**

TUBOS DE ACERO AL CARBONO SOLDADOS PARA APLICACIONES ESTRUCTURALES Y USOS GENERALES REQUISITOS

1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los tubos de acero al carbono tanto negros como galvanizados, conformados en frío, soldados (con costura) de sección circular, cuadrada, rectangular o especial para aplicaciones estructurales y usos generales. Esta norma es aplicable a tubería de hasta 2235 mm de perímetro y un espesor de pared de hasta 22 mm.

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Los siguientes documentos, en su totalidad o en parte, son indispensables para la aplicación de este documento. Para referencias fechadas, solamente aplica la edición citada. Para referencias sin fecha, aplica la última edición (incluyendo cualquier enmienda).

ISO 6892-1, *Metallic materials – Tensile testing – Part 1: Method of test at room temperature*

NTE INEN-ISO 2859-1, *Procedimiento de muestreo para inspección por atributos – Parte 1: Programas de muestreo clasificados por el nivel aceptable de calidad (AQL) para inspección lote a lote*

NTE INEN 133, *Ensayo de abocardado para tubos de acero de sección circular*

NTE INEN 950, *Recubrimientos metálicos. Determinación de la adherencia. Método de ensayo*

NTE INEN 1172, *Recubrimiento de zinc por inmersión sobre materiales ferrosos. Determinación de la masa depositada por unidad de superficie. Método gravimétrico*

ASTM A780, *Standard Practice for Repair of Damaged and Uncoated Areas of Hot-Dip Galvanized Coatings*

3. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, se adoptan las siguientes definiciones:

3.1

costura

Cordón de soldadura en dirección longitudinal realizado por proceso continuo.

3.2

diámetro Nominal

Dimensión correspondiente al diámetro exterior del tubo.

3.3

tubo estructural

Tubo de acero al carbono con propiedades mecánicas requeridas para aplicaciones estructurales que se designa por sus dimensiones exteriores.

3.4

tubo galvanizado

Tubo de acero al carbono con recubrimiento de zinc.

3.5

tubo negro

Tubo de acero al carbono sin proceso de recubrimiento.

3.6**tubo para uso general**

Tubo de acero al carbono no estructural. También, se le denomina tubería para carpintería metálica.

3.7**rebaba**

Porción de material en exceso, producto del corte, que forma resaltos en los bordes del tubo.

3.8**ERW**

Soldadura por resistencia eléctrica (electric resistance welding).

3.9**AC**

Acero comercial.

4. CLASIFICACIÓN

Los tubos se clasifican de acuerdo al grado estructural del acero según lo establecido en la Tabla 10.

5. REQUISITOS

Los tubos deben fabricarse por procesos de conformado progresivo a través de rodillos u otro método de manufactura aplicable.

5.1 Requisitos de la materia prima**5.1.1 Requisitos mecánicos del acero base**

El material utilizado para la fabricación de la tubería debe ser acero al carbono apto para ser soldado, debe cumplir con las propiedades mecánicas especificadas en las Tablas 1, 2, 3, 4 y 5; y debe cumplir mínimo con los requerimientos del grado 205.

El Anexo A muestra las propiedades mecánicas de la materia prima de tubos de usos generales.

TABLA 1. Requisitos mecánicos para materias primas laminadas en caliente de espesores $e < 6$ mm

Grado	Límite de fluencia mínima [MPa]	Resistencia a la tracción mínima [MPa]	Elongación mínima en 50 mm [%] $2,5 \leq e < 6$	Elongación mínima en 50 mm [%] $1,6 \leq e < 2,5$	Elongación mínima en 50 mm [%] $1,2 \leq e < 1,6$	Elongación mínima en 200 mm [%] $e < 6$
Grado 205	205	340	25	24	21	19
Grado 230	230	360	23	22	18	18
Grado 250 Tipo 1	250	365	22	21	17	17
Grado 250 Tipo 2	250	400	21	20	16	16
Grado 275	275	380	21	20	15	16
Grado 340	340	450	17	16	11	12

TABLA 2. Requisitos mecánicos para materias primas laminadas en caliente de espesores $e \geq 6$ mm

Grado	Límite de fluencia mínima [MPa]	Resistencia a la tracción mínima [MPa]	Elongación mínima en 50 mm [%]	Elongación mínima en 200 mm [%]
Grado 205	205	340	22	17
Grado 230	230	360	22	16
Grado 250 Tipo 1	250	365	21	15
Grado 250 Tipo 2	250	400	21	18
Grado 275	275	380	19	14
Grado 340	340	450	20	16

TABLA 3. Requisitos mecánicos para materias primas laminadas en frío

Grado	Límite de fluencia mínima (MPa)	Resistencia a la tracción mínima (MPa)	Elongación mínima en 50 mm (%)
Grado 205	205	310	24
Grado 230	230	330	22
Grado 275	275	360	20
Grado 340	340	450	18

TABLA 4. Requisitos mecánicos para materias primas pregalvanizadas

Grado	Límite de fluencia mínima (MPa)	Resistencia a la tracción mínima (MPa)	Elongación mínima en 50 mm (%)
Grado 230	230	310	20
Grado 255	255	360	18
Grado 275	275	380	16
Grado 340	340	450	12

TABLA 5. Requisitos mecánicos para materias primas con recubrimiento de Zn-Al-Mg

Grado	Límite de fluencia mínima (MPa)	Resistencia a la tracción mínima (MPa)	Elongación mínima en 80 mm (%)
Grado 220	220	300	20
Grado 250	250	330	19
Grado 280	280	360	18
Grado 320	320	390	17
Grado 350	350	420	16

5.1.2 Requisitos químicos del acero base

El material utilizado para la fabricación de la tubería debe cumplir con las propiedades químicas especificadas en las Tablas 6, 7, 8 y 9.

El Anexo A muestra las propiedades químicas de la materia prima de tubos de usos generales.

TABLA 6. Composición química para materias primas laminadas en caliente

Grado	Carbono (C) % máximo	Manganeso (Mn) % máximo	Fósforo (P) % máximo	Azufre (S) % máximo
Grado 205	0,25	1,50	0,035	0,04
Grado 230	0,25	1,50	0,035	0,04
Grado 250 Tipo 1	0,25	1,50	0,035	0,04
Grado 250 Tipo 2	0,25	1,35	0,04	0,05
Grado 275	0,25	0,90	0,035	0,04
Grado 340	0,25	1,35	0,035	0,04

TABLA 7. Composición química para materias primas laminadas en frío

Grado	Carbono (C) % máximo	Manganeso (Mn) % máximo	Fósforo (P) % máximo	Azufre (S) % máximo
Grado 205	0,20	0,60	0,035	0,035
Grado 230 Tipo 1	0,20	0,60	0,035	0,035
Grado 230 Tipo 2	0,15	0,60	0,200	0,035
Grado 275 Tipo 1	0,20	1,35	0,035	0,035
Grado 275 Tipo 2	0,15	0,60	0,20	0,035
Grado 340	0,20	1,35	0,035	0,035

TABLA 8. Composición química para materias primas con recubrimiento de zinc

Grado	Carbono (C) % máximo	Manganeso (Mn) % máximo	Fósforo (P) % máximo	Azufre (S) % máximo
Grado 230	0,20	1,35	0,10	0,04
Grado 255	0,20	1,35	0,10	0,04
Grado 275	0,25	1,35	0,10	0,04
Grado 340	0,25	1,35	0,04	0,04

TABLA 9. Requisitos químicos para materias primas con recubrimiento de Zn-Al-Mg

Grado	Carbono (C) % máximo	Manganeso (Mn) % máximo	Fósforo (P) % máximo	Azufre (S) % máximo
Grado 220	0,20	1,70	0,10	0,045
Grado 250				
Grado 280				
Grado 320				
Grado 350				

5.2 Requisitos mecánicos de la tubería

La tubería debe cumplir con las especificaciones de esfuerzos a la tracción, fluencia y porcentajes de elongación establecidos en la Tabla 10.

TABLA 10. Clasificación y propiedades mecánicas de los tubos¹

Grado	Descripción	Límite de fluencia mínima (MPa)	Resistencia a la tracción mínima (MPa)	Elongación mínima en 50 mm ^A %
AC	Tubo para usos generales	--	290	≥ 35
A	Tubos estructurales sección circular	230	310	25 ^B
B		290	400	23 ^C
C		315	425	21 ^D
D		250	400	23 ^C
A	Tubos estructurales sección cuadrada, rectangular o especial	270	310	25 ^B
B		315	400	23 ^C
C		345	425	21 ^D
D		250	400	23 ^C

¹ ASTM A500/A500M Table 2 Tensile requirements.
^A El mínimo valor de elongación especificado aplica únicamente a los ensayos realizados antes del envío del tubo.
^B Se aplica a espesor de pared (e) igual o mayor a 3,05 mm. Para espesores menores del especificado, el valor mínimo de elongación en 50 mm debe ser calculado por la ecuación % = 2,2 e + 17,5 redondeado al espesor más cercano.
^C Se aplica a espesor de pared (e) igual o mayor a 4,57 mm. Para espesores más ligeros el mínimo valor de elongación en 50 mm debe ser calculado por la fórmula = 2,4 e + 12 redondeado al espesor más cercano.
^D Se aplica a espesor de pared (e) igual o mayor a 3,05 mm. Para espesores más ligeros el mínimo valor de elongación en 50 mm, puede ser por acuerdo con el fabricante.

5.3 Requisitos dimensionales**5.3.1 Dimensiones exteriores**

El diámetro nominal de la tubería redonda y las dimensiones exteriores de la tubería cuadrada y la tubería rectangular deben cumplir con las tolerancias especificadas en las Tablas 11 y 12 respectivamente de la presente norma.

TABLA 11. Tolerancias en el diámetro exterior para tubería redonda¹

Dimensión exterior ² (mm)	Tolerancia ³
< 50,8	± 0,50 %
≥ 50,8	± 0,75 %

¹ Las dimensiones exteriores de la tubería cuadrada y la tubería rectangular deben tomarse en el centro de las caras planas. Las especificaciones de la Tabla 11, ya contemplan las tolerancias para la convexidad y la concavidad de las caras.
² Las dimensiones exteriores se deben tomar a una distancia de al menos 50 mm desde los extremos de la tubería.
³ Las tolerancias del diámetro nominal contemplan las tolerancias de ovalamiento.

TABLA 12. Tolerancias en las dimensiones planas exteriores para tubería cuadrada y rectangular

Dimensión externa mayor de la cara plana (mm)	Tolerancia ¹ (mm)
dimensión externa ≤ 65	± 0,5
65 < dimensión externa ≤ 90	± 0,6
90 < dimensión externa ≤ 140	± 0,8
dimensión externa > 140	± 0,01 veces la dimensión más larga

¹ Las variaciones permisibles incluyen la tolerancia por convexidad y concavidad. Para tubos rectangulares que tengan una proporción entre las dimensiones planas mayor y menor de 1,5 o menos, y para tubos cuadrados, las variaciones permisibles en la dimensión menor, deben ser idénticas a las variaciones permisibles de la dimensión mayor. Para tubos rectangulares que tengan una proporción entre la dimensión mayor y menor entre 1,5 hasta 3,0 incluido, las variaciones permisibles en la dimensión plana más corta deben ser 1,5 veces las variaciones permisibles en la dimensión plana mayor. Para tubos rectangulares que tengan una proporción mayor que 3 entre la dimensión mayor y menor, las variaciones permisibles en la dimensión plana menor deben ser 2 veces las variaciones permisibles en la dimensión plana mayor.

5.3.2 Espesor de pared

La tolerancia del espesor de la pared medido en cualquier punto de la tubería debe ser máximo ± 10 % del espesor nominal. En los casos de tubería cuadrada o rectangular, el espesor de pared debe medirse en el centro de las caras planas.

5.3.3 Longitud

La tubería estructural y de uso general se produce en longitudes de 6000 mm, y en otras longitudes cuando el cliente así lo solicite. La tubería debe cumplir los requisitos establecidos en la Tabla 13.

TABLA 13. Tolerancias en la longitud

	Hasta 6500 mm	Mayor a 6500 mm
Tolerancias de longitud (mm)	$\begin{matrix} +13 \\ longitud -6 \end{matrix}$	$\begin{matrix} +19 \\ longitud -6 \end{matrix}$

5.3.4 Rectitud

La variación permitida para la rectitud de la tubería es de hasta 12 mm en 6000 mm o el valor proporcional a lo anterior en caso de tubos de medidas especiales.

5.3.5 Cuadratura de los lados

Para la tubería estructural cuadrada o rectangular, las caras adyacentes deben ser perpendiculares (a 90°), con una variación máxima permitida de ± 2°.

5.3.6 Torcedura

Para la tubería estructural cuadrada o rectangular, las variaciones permitidas en torcedura deben estar de acuerdo con las especificaciones establecidas en la Tabla 14 de la presente norma. La torcedura debe ser determinada manteniendo un extremo del tubo en contacto con una superficie plana y midiendo la altura entre las esquinas del otro extremo del tubo y la placa plana. Calculando la diferencia entre dichas alturas, se puede determinar la torcedura, excepto para secciones mayores en las cuales se debe permitir el uso de un aparato de medición adecuado para determinar torcedura.

TABLA 14. Tolerancias en la torcedura para tubería cuadrada y rectangular ^{a, b}

(d) Dimensión exterior de la cara mayor (mm)	Máxima torcedura permisible en cada metro de longitud (mm)
$d \leq 40$	1,3
$40 < d \leq 65$	1,6
$65 < d \leq 100$	1,9
$100 < d \leq 150$	2,2
$150 < d \leq 200$	2,5
$d > 200$	2,8

^a La torcedura debe medirse a una distancia de al menos 50 mm desde los extremos de la tubería.
^b ASTM A500/A500M Table 5 Permissible Variations in twist for square and rectangular structural tubing.

5.3.7 Radio de las esquinas

Para la tubería estructural cuadrada o rectangular, el radio exterior de cada esquina no debe exceder a tres veces el espesor nominal de la pared.

5.3.8 Tubería de forma especial

Las dimensiones y las tolerancias de la tubería de forma especial deben estar sujetas a la capacidad de producción y al acuerdo entre el fabricante y comprador.

5.4 Requisitos para recubrimientos metálicos

5.4.1 Tubería postgalvanizada

Este requisito se aplica para la tubería galvanizada en todos los grados y secciones, para el baño del metal usado para el recubrimiento en el proceso de galvanizado, el zinc debe cumplir con lo establecido en NTE INEN 882.

La masa de ambas caras de recubrimiento de zinc se obtiene sumando las masas correspondientes a las superficies interior y exterior. La masa mínima debe cumplir con las especificaciones establecidas en la Tabla 15.

TABLA 15. Masa de zinc por unidad de superficie (dos caras) para tubería galvanizada por inmersión en caliente ¹

	espesor < 3,2 mm	espesor \geq 3,2 mm
Masa de recubrimiento ² [g/m ²]	320	530
Mínimo espesor promedio (μ m)	45	75

¹ ASTM A123/A123M Table 1 Minimum average coating thickness grade by material category.
² El espesor representativo del recubrimiento debe ser el valor promedio entre 5 mediciones tomadas al azar a lo largo del tubo.

La determinación de la masa del recubrimiento de zinc debe hacerse de acuerdo a NTE INEN 1172. También se puede obtener midiendo el espesor del recubrimiento por un método magnético y calcularse de acuerdo a la siguiente relación: 1 μ m equivale a 7,067 g/m².

5.4.2 Tubería fabricada con materia prima de las Tablas 4 y 5

TABLA 16. Espesores mínimos de recubrimiento para materia prima

Recubrimiento	Densidad (g/cm ³)	Valores indicativos teóricos para el espesor del recubrimiento por superficie en el ensayo en un punto µm		Masa total del recubrimiento, ambas superficies g/m ²
		Valor habitual por cara	Espesor mínimo	Ensayo de tres puntos
Zn (Z)	7,1	20	15	275
Zn + Al + Mg (ZMM)	5,7	10	7,5	120

5.5 Manufactura

El cordón de soldadura debe ser homogéneo, no debe presentar discontinuidades y debe elaborarse mediante el proceso de soldadura por resistencia eléctrica ERW.

La profundidad del cordón de soldadura no debe ser menor al espesor del material base.

La soldadura no debe estar localizada dentro del radio de las esquinas de cualquier sección de tubo a menos que sea especificado por el comprador.

NOTA. Los tubos soldados son normalmente entregados sin remover el cordón interno de soldadura.

Los tubos del grado D deben ser tratados térmicamente a una temperatura de al menos 590 °C, una hora por cada 25 mm de espesor.

Cuando se elabore tubería con materia prima pregalvanizada, en la cual por efectos de temperatura el cordón de soldadura ha perdido su recubrimiento exterior, para que el tubo sea considerado producto terminado, este se debe reparar según lo establecido en ASTM A780.

5.6 Apariencia

Los tubos en sus superficies interior y exterior deben estar exentos de defectos que puedan afectar su utilización.

Salvo que se especifique de otra manera en la orden de compra, la tubería debe ser suministrada con los extremos a 90° ± 1,5° con un mínimo de rebabas.

6. MUESTREO

El muestreo debe realizarse de acuerdo con la NTE INEN-ISO 2859-1 para todos los métodos de ensayo.

Después de realizar los ensayos dimensionales, se debe extraer la probeta en sentido longitudinal sobre la cual se debe realizar los ensayos establecidos en el capítulo 7, como testigo debe quedar una cantidad de material suficiente para el caso de requerir remuestreo.

7. MÉTODOS DE ENSAYO

7.1 Ensayo de aplastamiento en tubos de sección circular

a) El ensayo de aplastamiento debe ser realizado en tubería estructural redonda. Este ensayo no se aplica para tubos cuadrados, rectangulares o de formas especiales.

- b) Para la tubería estructural redonda con costura, las probetas de ensayo deben tener al menos 100 mm de longitud para ser aplastadas en frío entre placas paralelas en tres pasos, la soldadura debe estar ubicada a 90° respecto a la línea de aplicación de la fuerza. Durante el primer paso, el cual es un ensayo de ductilidad de la soldadura, no deben presentarse fracturas o roturas en las superficies interior o exterior de la probeta hasta que la distancia entre las placas sea menor a dos tercios del diámetro exterior de la tubería. Para el segundo paso, no deben presentarse fracturas o roturas en las superficies interior o exterior del metal base de las probetas, excepto las establecidas en el literal c), hasta que la distancia entre las placas sea menor que la mitad del diámetro exterior de la tubería. Durante el tercer paso, el cual es un ensayo de homogeneidad del material, el aplastamiento debe continuar hasta que la probeta se rompa o que las paredes internas se toquen. La evidencia del laminado o material no homogéneo o una soldadura incompleta que se revele durante todo el ensayo de aplastamiento debe ser causa de rechazo de la tubería.
- c) Cuando se ensaya la tubería con una proporción pequeña entre el diámetro exterior y el espesor, porque la deformación impuesta debido a la geometría, es irrazonablemente alta en la superficie interior, en las localizaciones de 6 y 12 en punto, las fisuras en estas localizaciones no deben ser causa de rechazo si la proporción entre el diámetro exterior y el espesor es menor que 10.

7.2 Ensayo de tracción

Las probetas para ensayo de tracción deben cumplir con los requisitos especificados en ISO 6892-1.

7.3 Ensayo de abocardado

En la tubería circular se debe validar el cordón de soldadura realizando la prueba de abocardado según NTE INEN 133.

Este ensayo destinado al control de la calidad del cordón de soldadura puede ser omitido cuando se apliquen métodos de control continuo (corrientes de Eddy, ultrasonido, etc.).

7.4 Ensayo para el recubrimiento metálico y determinación de la adherencia

Las pruebas de adherencia del recubrimiento metálico deben cumplir con los requisitos especificados en NTE INEN 950, para el método de martillado, método de rayado o según sea el caso.

8. EMBALADO

Los tubos deben proveerse en paquetes firmemente amarrados y conformados con tubos del mismo grado, y de iguales características dimensionales.

9. ROTULADO

Todos los tubos deben ser marcados individualmente de forma legible; y como mínimo debe tener una marca con la siguiente información:

- a) nombre o logotipo del fabricante, o nombre del importador,
- b) lote de fabricación,
- c) dimensiones y espesor nominal del tubo,

NOTA. El espesor se refiere al material base, no incluye el recubrimiento en el caso de tubos galvanizados.

- d) grado del tubo (AC, A, B, C y D),
- e) referencia a esta norma técnica.

El fabricante adicionalmente puede usar código de barras para la identificación.

ANEXO A
(normativo)

MATERIAS PRIMAS PARA TUBERÍA DE USOS GENERALES

TABLA A.1 Requisitos mecánicos para materias primas laminadas en frío

Grado	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción mínima (MPa)	Elongación mínima en 50 mm (%)
Grado CS	140-275	--	30

TABLA A.2 Composición química para materias primas laminadas en frío

Grado	Carbono (C) % máximo	Manganeso (Mn) % máximo	Fósforo (P) % máximo	Azufre (S) % máximo
Grado CS Tipo A	0,10	0,6	0,025	0,035
Grado CS Tipo B	0,02 a 0,15	0,6	0,025	0,035
Grado CS Tipo C	0,08	0,6	0,10	0,035

BIBLIOGRAFÍA

ASTM A1011/A1011M:2015, *Standard Specification for Steel, Sheet and Strip, Hot-Rolled, Carbon, Structural, High-Strength Low-Alloy, High-Strength Low-Alloy with Improved Formability, and Ultra-High Strength*

ASTM A 653/A653M:2015, *Standard Specification for Steel Sheet, Zinc-Coated (Galvanized) or Zinc-Iron Alloy-Coated (Galvannealed) by the Hot-Dip Process*

ASTM A 123/A123M:2015, *Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products*

ASTM A1018/A1018M:2015, *Standard Specification for Steel, Sheet and Strip, Heavy-Thickness Coils, Hot-Rolled, Carbon, Commercial, Drawing, Structural, High-Strength Low-Alloy, High-Strength Low-Alloy with Improved Formability, and Ultra-High Strength*

ASTM A568/A568M:2015, *Standard Specification for Steel, Sheet, Carbon, Structural, and High-Strength, Low-Alloy, Hot-Rolled and Cold-Rolled, General Requirements for*

ASTM A1008/A1008M:2015, *Standard Specification for Steel, Sheet, Cold-Rolled, Carbon, Structural, High-Strength Low-Alloy, High-Strength Low-Alloy with Improved Formability, Solution Hardened, and Bake Hardenable*

UNE EN 10346:2015, *Productos planos de acero recubiertos en continuo por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro*

NTE INEN 1623:2014, *Perfiles abiertos de acero conformados en frío negros o galvanizados para uso estructural. Requisitos e inspección*

ASTM A 500/A500M:2013, *Standard Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes*

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: TÍTULO: TUBOS DE ACERO AL CARBONO SOLDADOS Código ICS:
NTE INEN 2415 PARA APLICACIONES ESTRUCTURALES Y USOS 77.140.45
Segunda revisión GENERALES. REQUISITOS

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma Oficialización con el Carácter de Voluntaria por Resolución No. 13045 de 2013-03-19 publicado en el Registro Oficial No. 929 de 2013-04-09 Fecha de iniciación del estudio: 2014-08-01
--	---

Fechas de consulta pública: 2014-09-09 hasta 2014-11-07

Comité Técnico de Normalización: **Aceros**
 Fecha de iniciación: 2016-04-20 Fecha de aprobación: 2016-06-28
 Integrantes del Comité:

NOMBRES:

Ing. Freddy Peñafiel (Presidente)
 Ing. Alan Arrieta
 Ing. Andrea Rossi
 Ing. Jefferson Sánchez
 Ing. Marcos Lazo
 Ing. Rosa Elena Jaramillo
 Ing. Xavier Andrade
 Ing. Juan Carlos Yandún
 Ing. Vanessa Valladares
 Ing. David Erazo (Secretario técnico)

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

FEDIMETAL
 NOVACERO
 ARCELORMITTAL INT. ECUADOR
 MIPRO
 DIPAC MANTA
 IPAC
 TUGALT S.A.
 CONDUIT
 ADELCA
 INEN – DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN

Otros trámites: Esta NTE INEN 2415:2016 (Segunda revisión) reemplaza a la NTE INEN 2415:2013 (Primera revisión).

La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

Oficializada como: Voluntaria Por Resolución No. 16363 de 2016-09-14
 Registro Oficial No. 871 de 2016-10-27

Anexo B. Norma de calidad ASTM A500



Designation: A500/A500M – 13

Standard Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes¹

This standard is issued under the fixed designation A500/A500M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This specification covers cold-formed welded and seamless carbon steel round, square, rectangular, or special shape structural tubing for welded, riveted, or bolted construction of bridges and buildings, and for general structural purposes.

1.2 This tubing is produced in both welded and seamless sizes with a periphery of 88 in. [2235 mm] or less, and a specified wall thickness of 0.875 in. [22 mm] or less. Grade D requires heat treatment.

NOTE 1—Products manufactured to this specification may not be suitable for those applications such as dynamically loaded elements in welded structures, etc., where low-temperature notch-toughness properties may be important.

1.3 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard. The inch-pound units shall apply unless the “M” designation of this specification is specified in the order.

1.4 The text of this specification contains notes and footnotes that provide explanatory material. Such notes and footnotes, excluding those in tables and figures, do not contain any mandatory requirements.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:²

A370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.09 on Carbon Steel Tubular Products.

Current edition approved Nov. 1, 2013. Published November 2013. Originally approved in 1964. Last previous edition approved in 2010 as A500/A500M-10a. DOI: 10.1520/A0500_A0500M-13.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

A700 Practices for Packaging, Marking, and Loading Methods for Steel Products for Shipment

A751 Test Methods, Practices, and Terminology for Chemical Analysis of Steel Products

A941 Terminology Relating to Steel, Stainless Steel, Related Alloys, and Ferroalloys

2.2 *Military Standards*:

MIL-STD-129 Marking for Shipment and Storage³

MIL-STD-163 Steel Mill Products, Preparation for Shipment and Storage³

2.3 *Federal Standards*:

Fed. Std. No. 123 Marking for Shipment³

Fed. Std. No. 183 Continuous Identification Marking of Iron and Steel Products³

2.4 *AIAG Standard*:

B-1 Bar Code Symbology Standard⁴

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this specification, refer to Terminology A941.

4. Ordering Information

4.1 Orders for material under this specification shall contain information concerning as many of the following items as are required to describe the desired material adequately:

4.1.1 Quantity (feet [metres] or number of lengths),

4.1.2 Name of material (cold-formed tubing),

4.1.3 Method of manufacture (seamless or welded),

4.1.4 Grade (A, B, C, or D),

4.1.5 Size (outside diameter and wall thickness for round tubing, and outside dimensions and wall thickness for square and rectangular tubing),

4.1.6 Copper-containing steel (see Table 1), if applicable,

4.1.7 Length (random, multiple, specific; see 11.3),

4.1.8 End condition (see 16.3),

4.1.9 Burr removal (see 16.3),

³ Available from Standardization Documents Order Desk, Bldg. 4 Section D, 700 Robbins Ave., Philadelphia, PA 19111-5094, Attn: NPODS.

⁴ Available from Automotive Industry Action Group (AIAG), 26200 Lahser Rd., Suite 200, Southfield, MI 48033, <http://www.aiag.org>.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States

Copyright ASTM International
Provided by IHS under license with ASTM
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Licensee: Univ of Wollongong/5916717001
Not for Resale, 03/06/2014 02:37:06 MST

TABLE 1 Chemical Requirements

Element	Composition, %			
	Grades A, B, and D		Grade C	
	Heat Analysis	Product Analysis	Heat Analysis	Product Analysis
Carbon, max ^a	0.26	0.30	0.23	0.27
Manganese, max ^a	1.35	1.40	1.35	1.40
Phosphorus, max	0.035	0.045	0.035	0.045
Sulfur, max	0.035	0.045	0.035	0.045
Copper, min ^b	0.20	0.18	0.20	0.18

^aFor each reduction of 0.01 percentage point below the specified maximum for carbon, an increase of 0.06 percentage point above the specified maximum for manganese is permitted, up to a maximum of 1.50 % by heat analysis and 1.60 % by product analysis.

^bIf copper-containing steel is specified in the purchase order.

- 4.1.10 Certification (see Section 18),
- 4.1.11 ASTM specification designation and year of issue,
- 4.1.12 End use,
- 4.1.13 Special requirements, and
- 4.1.14 Bar coding (see 19.3).

5. Process

5.1 The steel shall be made by one or more of the following processes: basic-oxygen or electric-furnace.

5.2 When steels of different grades are sequentially strand cast, the steel producer shall identify the resultant transition material and remove it using an established procedure that positively separates the grades.

6. Manufacture

6.1 The tubing shall be made by a seamless or welding process.

6.2 Welded tubing shall be made from flat-rolled steel by the electric-resistance-welding process. The longitudinal butt joint of welded tubing shall be welded across its thickness in such a manner that the structural design strength of the tubing section is assured.

6.3 The weld shall not be located within the radius of the corners of any shaped tube unless specified by the purchaser.

NOTE 2—Welded tubing is normally furnished without removal of the inside flash.

6.4 Except as required by 6.5, it shall be permissible for the tubing to be stress relieved or annealed.

6.5 Grade D tubing shall be heat treated at a temperature of at least 1100 °F [590 °C] for one hour per inch [25 mm] of thickness.

7. Heat Analysis

7.1 Each heat analysis shall conform to the requirements specified in Table 1 for heat analysis.

8. Product Analysis

8.1 The tubing shall be capable of conforming to the requirements specified in Table 1 for product analysis.

8.2 If product analyses are made, they shall be made using test specimens taken from two lengths of tubing from each lot of 500 lengths, or fraction thereof, or two pieces of flat-rolled stock from each lot of a corresponding quantity of flat-rolled stock. Methods and practices relating to chemical analysis shall be in accordance with Test Methods, Practices, and Terminology A751. Such product analyses shall conform to the requirements specified in Table 1 for product analysis.

8.3 If both product analyses representing a lot fail to conform to the specified requirements, the lot shall be rejected.

8.4 If only one product analysis representing a lot fails to conform to the specified requirements, product analyses shall be made using two additional test specimens taken from the lot. Both additional product analyses shall conform to the specified requirements or the lot shall be rejected.

9. Tensile Requirements

9.1 The material, as represented by the test specimen, shall conform to the requirements as to tensile properties prescribed in Table 2.

10. Flattening Test

10.1 The flattening test shall be made on round structural tubing. A flattening test is not required for shaped structural tubing.

10.2 For welded round structural tubing, a test specimen at least 4 in. [100 mm] in length shall be flattened cold between parallel plates in three steps, with the weld located 90° from the line of direction of force. During the first step, which is a test for ductility of the weld, no cracks or breaks on the inside or

TABLE 2 Tensile Requirements

Round Structural Tubing				
	Grade A	Grade B	Grade C	Grade D
Tensile strength, min, psi [MPa]	45 000 [310]	58 000 [400]	62 000 [425]	58 000 [400]
Yield strength, min, psi [MPa]	33 000 [230]	42 000 [290]	46 000 [315]	36 000 [250]
Elongation in 2 in. [50 mm], min, % ^d	25 ^a	23 ^b	21 ^c	23 ^b
Shaped Structural Tubing				
	Grade A	Grade B	Grade C	Grade D
Tensile strength, min, psi [MPa]	45 000 [310]	58 000 [400]	62 000 [425]	58 000 [400]
Yield strength, min, psi [MPa]	39 000 [270]	46 000 [315]	50 000 [345]	36 000 [250]
Elongation in 2 in. [50 mm], min, % ^d	25 ^a	23 ^b	21 ^c	23 ^b

^aApplies to specified wall thicknesses (t) equal to or greater than 0.120 in. [3.05 mm]. For lighter specified wall thicknesses, the minimum elongation values shall be calculated by the formula: percent elongation in 2 in. [50 mm] = 56t + 17.5, rounded to the nearest percent. For A500M use the following formula: 2.2t + 17.5, rounded to the nearest percent.

^bApplies to specified wall thicknesses (t) equal to or greater than 0.180 in. [4.57 mm]. For lighter specified wall thicknesses, the minimum elongation values shall be calculated by the formula: percent elongation in 2 in. [50 mm] = 61t + 12, rounded to the nearest percent. For A500M use the following formula: 2.4t + 12, rounded to the nearest percent.

^cApplies to specified wall thicknesses (t) equal to or greater than 0.120 in. [3.05 mm]. For lighter specified wall thicknesses, the minimum elongation values shall be by agreement with the manufacturer.

^dThe minimum elongation values specified apply only to tests performed prior to shipment of the tubing.

outside surfaces of the test specimen shall be present until the distance between the plates is less than two-thirds of the specified outside diameter of the tubing. For the second step, no cracks or breaks on the inside or outside parent metal surfaces of the test specimen, except as provided for in 10.5, shall be present until the distance between the plates is less than one-half of the specified outside diameter of the tubing. During the third step, which is a test for soundness, the flattening shall be continued until the test specimen breaks or the opposite walls of the test specimen meet. Evidence of laminated or unsound material or of incomplete weld that is revealed during the entire flattening test shall be cause for rejection.

10.3 For seamless round structural tubing 2 3/8 in. [60 mm] specified outside diameter and larger, a specimen not less than 2 1/2 in. [65 mm] in length shall be flattened cold between parallel plates in two steps. During the first step, which is a test for ductility, no cracks or breaks on the inside or outside surfaces, except as provided for in 10.5, shall occur until the distance between the plates is less than the value of "H" calculated by the following equation:

$$H = (1 + e)t(e + t/D) \tag{1}$$

where:

- H = distance between flattening plates, in. [mm],
- e = deformation per unit length (constant for a given grade of steel, 0.09 for Grade A, 0.07 for Grade B, and 0.06 for Grade C),
- t = specified wall thickness of tubing, in. [mm], and
- D = specified outside diameter of tubing, in. [mm].

During the second step, which is a test for soundness, the flattening shall be continued until the specimen breaks or the opposite walls of the specimen meet. Evidence of laminated or unsound material that is revealed during the entire flattening test shall be cause for rejection.

10.4 Surface imperfections not found in the test specimen before flattening, but revealed during the first step of the flattening test, shall be judged in accordance with Section 15.

10.5 When low D-to-t ratio tubulars are tested, because the strain imposed due to geometry is unreasonably high on the inside surface at the 6 and 12 o'clock locations, cracks at these locations shall not be cause for rejection if the D-to-t ratio is less than 10.

11. Permissible Variations in Dimensions

11.1 Outside Dimensions:

11.1.1 *Round Structural Tubing*—The outside diameter shall not vary more than ±0.5 %, rounded to the nearest 0.005 in. [0.1 mm], from the specified outside diameter for specified outside diameters 1.900 in. [48 mm] and smaller, and ± 0.75 %, rounded to the nearest 0.005 in. [0.1 mm], from the specified outside diameter for specified outside diameters 2.00 in. [5 cm] and larger. The outside diameter measurements shall be made at positions at least 2 in. [5 cm] from the ends of the tubing.

11.1.2 *Square and Rectangular Structural Tubing*—The outside dimensions, measured across the flats at positions at least

2 in. [5 cm] from the ends of the tubing, shall not vary from the specified outside dimensions by more than the applicable amount given in Table 3, which includes an allowance for convexity or concavity.

11.2 *Wall Thickness*—The minimum wall thickness at any point of measurement on the tubing shall be not more than 10 % less than the specified wall thickness. The maximum wall thickness, excluding the weld seam of welded tubing, shall be not more than 10 % greater than the specified wall thickness. For square and rectangular tubing, the wall thickness requirements shall apply only to the centers of the flats.

11.3 *Length*—Structural tubing is normally produced in random lengths 5 ft [1.5 m] and over, in multiple lengths, and in specific lengths. Refer to Section 4. When specific lengths are ordered, the length tolerance shall be in accordance with Table 4.

11.4 *Straightness*—The permissible variation for straightness of structural tubing shall be 1/8 in. times the number of feet [10 mm times the number of metres] of total length divided by 5.

11.5 *Squareness of Sides*—For square and rectangular structural tubing, adjacent sides shall be square (90°), with a permissible variation of ±2° max.

11.6 *Radius of Corners*—For square and rectangular structural tubing, the radius of each outside corner of the section shall not exceed three times the specified wall thickness.

11.7 *Twist*—For square and rectangular structural tubing, the permissible variations in twist shall be as given in Table 5. Twist shall be determined by holding one end of the tubing down on a flat surface plate, measuring the height that each corner on the bottom side of the tubing extends above the surface plate near the opposite ends of the tubing, and calculating the twist (the difference in heights of such corners), except that for heavier sections it shall be permissible to use a suitable measuring device to determine twist. Twist measurements shall not be taken within 2 in. [5 cm] of the ends of the tubing.

TABLE 3 Permissible Variations in Outside Flat Dimensions for Square and Rectangular Structural Tubing

Specified Outside Large Flat Dimension, in. [mm]	Permissible Variations Over and Under Specified Outside Flat Dimensions, ^A in. [mm]
2 1/8 [65] or under	0.020 [0.5]
Over 2 1/8 to 3 1/8 [65 to 90], incl	0.025 [0.6]
Over 3 1/8 to 5 1/8 [90 to 140], incl	0.030 [0.8]
Over 5 1/8 [140]	0.01 times large flat dimension

^A The permissible variations include allowances for convexity and concavity. For rectangular tubing having a ratio of outside large to small flat dimension less than 1.5, and for square tubing, the permissible variations in small flat dimension shall be identical to the permissible variations in large flat dimension. For rectangular tubing having a ratio of outside large to small flat dimension in the range of 1.5 to 3.0 inclusive, the permissible variations in small flat dimension shall be 1.5 times the permissible variations in large flat dimension. For rectangular tubing having a ratio of outside large to small flat dimension greater than 3.0, the permissible variations in small flat dimension shall be 2.0 times the permissible variations in large flat dimension.

TABLE 4 Length Tolerances for Specific Lengths of Structural Tubing

	22 ft [6.5 m] and Under		Over 22 ft [6.5 m]	
	Over	Under	Over	Under
Length tolerance for specific lengths, in. [mm]	1/8 [3]	1/4 [6]	3/8 [9]	1/2 [13]

TABLE 5 Permissible Variations in Twist for Square and Rectangular Structural Tubing

Specified Outside Large Flat Dimension, in. [mm]	Maximum Permissible Variations in Twist per 3 ft of Length [Twist per Metre of Length]	
	in.	[mm]
	1 1/2 [40] and under	0.050
Over 1 1/2 to 2 1/2 [40 to 65], incl	0.062	[1.6]
Over 2 1/2 to 4 [65 to 100], incl	0.075	[1.9]
Over 4 to 6 [100 to 150], incl	0.087	[2.2]
Over 6 to 8 [150 to 200], incl	0.100	[2.5]
Over 8 [200]	0.112	[2.8]

12. Special Shape Structural Tubing

12.1 The availability, dimensions, and tolerances of special shape structural tubing shall be subject to inquiry and negotiation with the manufacturer.

13. Number of Tests

13.1 One tension test as specified in Section 15 shall be made from a length of tubing representing each lot.

13.2 The flattening test, as specified in Section 10, shall be made on one length of round tubing from each lot.

13.3 The term "lot" shall apply to all tubes of the same specified size that are produced from the same heat of steel.

14. Retests

14.1 If the results of the mechanical tests representing any lot fail to conform to the applicable requirements specified in Sections 9 and 10, the lot shall be rejected or retested using additional tubing of double the original number from the lot. The lot shall be acceptable if the results of all such retests representing the lot conform to the specified requirements.

14.2 If one or both of the retests specified in 14.1 fail to conform to the applicable requirements specified in Sections 9 and 10, the lot shall be rejected or, subsequent to the manufacturer heat treating, reworking, or otherwise eliminating the condition responsible for the failure, the lot shall be treated as a new lot and tested accordingly.

15. Test Methods

15.1 Tension test specimens shall conform to the applicable requirements of Test Methods and Definitions A370, Annex A2.

15.2 Tension test specimens shall be full-size longitudinal test specimens or longitudinal strip test specimens. For welded tubing, any longitudinal strip test specimens shall be taken from a location at least 90° from the weld and shall be prepared

without flattening in the gage length. Longitudinal strip test specimens shall have all burrs removed. Tension test specimens shall not contain surface imperfections that would interfere with proper determination of the tensile properties.

15.3 The yield strength corresponding to an offset of 0.2 % of the gage length or to a total extension under load of 0.5 % of the gage length shall be determined.

16. Inspection

16.1 All tubing shall be inspected at the place of manufacture to ensure conformance to the requirements of this specification.

16.2 All tubing shall be free from defects and shall have a workmanlike finish.

16.2.1 Surface imperfections shall be classed as defects when their depth reduces the remaining wall thickness to less than 90 % of the specified wall thickness. It shall be permissible for defects having a depth not in excess of 33 1/3 % of the specified wall thickness to be repaired by welding, subject to the following conditions:

16.2.1.1 The defect shall be completely removed by chipping or grinding to sound metal,

16.2.1.2 The repair weld shall be made using a low-hydrogen welding process, and

16.2.1.3 The projecting weld metal shall be removed to produce a workmanlike finish.

16.2.2 Surface imperfections such as handling marks, light die or roll marks, or shallow pits are not considered defects provided that the imperfections are removable within the specified limits on wall thickness. The removal of such surface imperfections is not required. Welded tubing shall be free of protruding metal on the outside surface of the weld seam.

16.3 Unless otherwise specified in the purchase order, structural tubing shall be furnished with square cut ends, with the burr held to a minimum. When so specified in the purchase order, the burr shall be removed on the outside diameter, inside diameter, or both.

17. Rejection

17.1 It shall be permissible for the purchaser to inspect tubing received from the manufacturer and reject any tubing that does not meet the requirements of this specification, based upon the inspection and test methods outlined herein. The purchaser shall notify the manufacturer of any tubing that has been rejected, and the disposition of such tubing shall be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser.

17.2 It shall be permissible for the purchaser to set aside any tubing that is found in fabrication or installation within the scope of this specification to be unsuitable for the intended end use, based on the requirements of this specification. The purchaser shall notify the manufacturer of any tubing that has been set aside. Such tubing shall be subject to mutual investigation as to the nature and severity of the deficiency and the forming or installation, or both, conditions involved. The disposition of such tubing shall be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser.

18. Certification

18.1 When specified in the purchase order or contract, the manufacturer shall furnish to the purchaser a certificate of compliance stating that the product was manufactured, sampled, tested, and inspected in accordance with this specification and any other requirements designated in the purchase order or contract, and was found to meet all such requirements. Certificates of compliance shall include the specification number and year of issue.

18.2 When specified in the purchase order or contract, the manufacturer shall furnish to the purchaser test reports for the product shipped that contain the heat analyses and the results of the tension tests required by this specification and the purchase order or contract. Test reports shall include the specification number and year of issue.

18.3 A signature or notarization is not required on certificates of compliance or test reports; however, the documents shall clearly identify the organization submitting them. Notwithstanding the absence of a signature, the organization submitting the document is responsible for its content.

18.4 A certificate of compliance or test report printed from, or used in electronic form from, an electronic data interchange (EDI) shall be regarded as having the same validity as a counterpart printed in the certifying organization's facility. The content of the EDI transmitted document shall conform to any existing EDI agreement between the purchaser and the manufacturer.

19. Product Marking

19.1 Except as noted in 19.2, each length of structural tubing shall be legibly marked to show the following information: manufacturer's name, brand, or trademark; the specification designation (year of issue not required); and grade letter.

19.2 For structural tubing having a specified outside diameter or large flat dimension of 4 in. [10 cm] or less, it shall be permissible for the information listed in 19.1 to be marked on a tag securely attached to each bundle.

19.3 *Bar Coding*—In addition to the requirements in 19.1 and 19.2, the manufacturer shall have the option of using bar coding as a supplementary identification method. When a specific bar coding system is specified in the purchase order, that system shall be used.

NOTE 3—In the absence of another bar coding system being specified in the purchase order, it is recommended that bar coding be consistent with AIAG Standard B-1.

20. Packing, Marking, and Loading

20.1 When specified in the purchase order, packaging, marking, and loading shall be in accordance with Practices A700.

21. Government Procurement

21.1 When specified in the contract, material shall be preserved, packaged and packed in accordance with the requirements of MIL-STD-163, with applicable levels being specified in the contract. Marking for shipment of such materials shall be in accordance with Federal Std. No. 123 for civil agencies and MIL-STD-129 or Federal Std. No. 183 if continuous marking is required.

21.2 *Inspection*—Unless otherwise specified in the contract, the manufacturer shall be responsible for the performance of all applicable inspection and test requirements specified herein. Except as otherwise specified in the contract, the manufacturer shall use its own or any other suitable facilities for the performance of such inspections and tests.

SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, A500/A500M–10a, that may impact the use of this specification. (Approved November 1, 2013)

- (1) Deleted Open Hearth from 5.1.
- (2) Added 6.3 concerning prohibiting the weld from being placed in the corner of rectangular or square tubing unless required by the purchaser.



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1323:2009
Primera revisión

VEHICULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES. REQUISITOS.

Primera Edición

ROAD VEHICLES. BUS BODIES. REQUIREMENTS

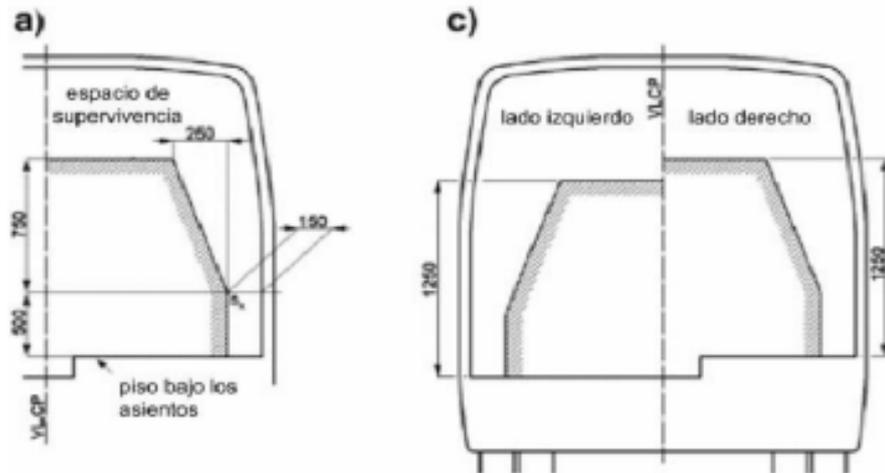
First Edition

DESCRIPTORES: Ingeniería automotriz, sistemas para vehículos automotores, carrocerías y componentes, buses, requisitos
MC 01.01-401
CDU: 629.11.011.6
CIIU: 3843
ICS: 43.020.60

FIGURA 1. Vista transversal del espacio de supervivencia. (Ver nota 2)

Especificación del espacio de supervivencia

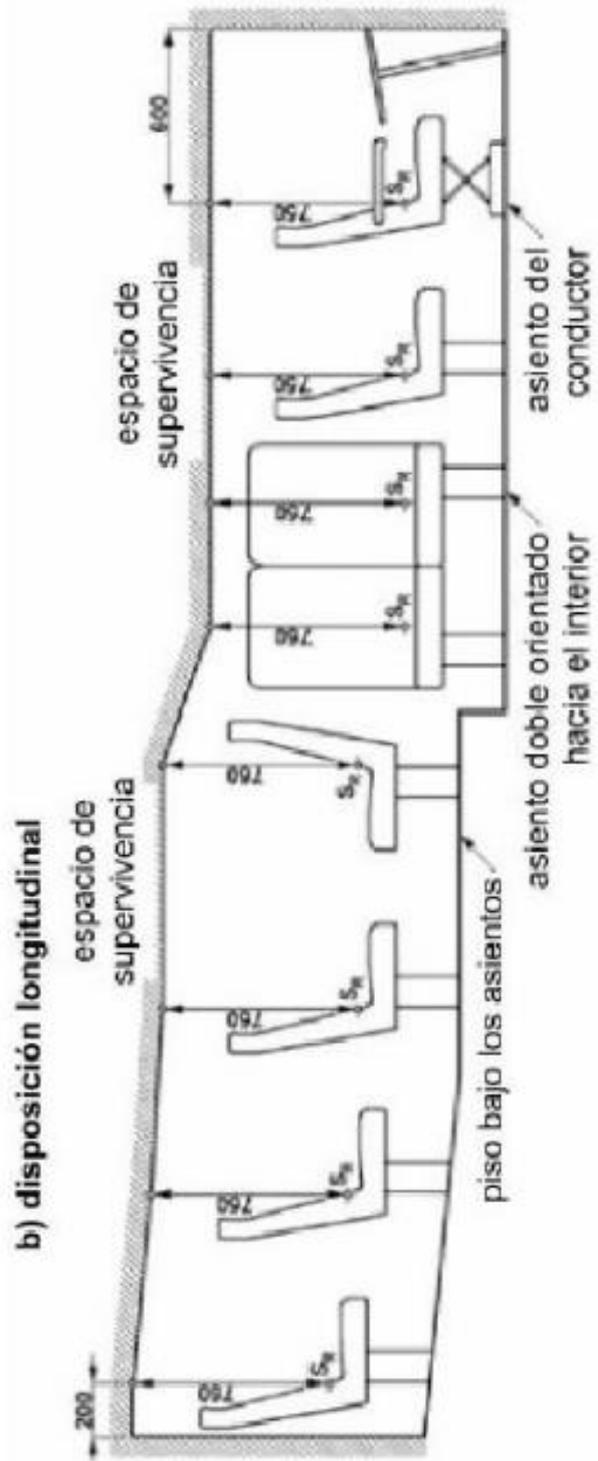
a) y c) disposiciones laterales



NOTA 2. El objetivo de las figuras 1 y 2 es indicar las dimensiones en milímetros del espacio de supervivencia. Las figuras 1 y 2 no están relacionadas con una forma geométrica o distribución de asientos específica en las carrocerías.

(Continúa)

FIGURA 2 Vista longitudinal del espacio de supervivencia



3.1.11 Peso máximo admisible para el chasis. Conocida también como capacidad de carga. Es la carga útil máxima emitida para la cual fue diseñado el vehículo. Este valor es proporcionado por el fabricante del chasis.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 Consideraciones de diseño de la carrocería. Se debe considerar lo siguiente:

4.1.1 Las especificaciones del chasis, lo cual incluye:

- Tipo de Servicio de la carrocería.
- Peso bruto vehicular (PBV).
- Capacidad de carga de los ejes.
- Peso del chasis en vacío o tara, total y por ejes.
- Relación peso/potencia.

4.1.2 La estabilidad, lo cual incluye:

- Distribución de masa
- Altura del centro de gravedad
- Dimensiones de la carrocería
- Rigidez de suspensión.
- Capacidad de inclinación (rolido).

4.1.3 El confort, lo cual incluye:

- Aislamiento acústico y térmico.
- Ventilación.
- Hermeticidad.
- Ergonomía.

4.1.4 El mantenimiento, lo cual incluye:

- Accesibilidad a los elementos del vehículo.

4.1.5 La seguridad, lo cual incluye:

- Seguridad activa y pasiva.

4.1.6 Método de anclaje y montaje, lo cual incluye:

- Disposiciones y recomendaciones del fabricante del chasis (manual de carrozado).

4.1.7 Estructura, lo cual incluye:

- Materiales metálicos y no metálicos.
- Uniones y juntas.
- Tratamientos de materiales.
- Geometría.
- Resistencia estructural.

(Continúa)

5. REQUISITOS

5.1 Estructura de las carrocerías de buses

5.1.1 Cargas de Diseño. Para el análisis cuasi estático de la estructura de la carrocería se aplicarán las cargas especificadas en el presente numeral.

5.1.1.1 Cargas vivas. Se determinarán de acuerdo con la tabla 1.

TABLA 1. Cargas vivas de diseño.

TIPO DE SERVICIO (ver nota 3)	MASA DE UN OCUPANTE (kg)	MASA MÍNIMA DE EQUIPAJE DE MANO POR PASAJERO (kg)	MASA MÍNIMA DE EQUIPAJE A TRANSPORTARSE EN BODEGAS PORTA EQUIPAJES (kg) (ver nota 4)	ESPACIO NECESARIO POR PASAJERO DE PIE (m ²)
Urbano	70	-	-	0,16
Urbano (escolar e institucional)	70	-	-	Sin pasajeros de pie
Interurbano (Intraprovincial)	70	5	100 x Vol	0,16
Larga Distancia (Interprovincial y turismo)	70	5	100 x Vol	Sin pasajeros de pie

5.1.1.2 Carga de Giro (G). Debe calcularse en función de la fuerza centrífuga que se genera al ingresar el vehículo en una curva de determinado radio de giro y a cierta velocidad. Esta fuerza centrífuga deberá ser inferior a la fuerza de vuelco, calculada sobre la base del peso total del bus a plena carga y su centro de gravedad. La velocidad crítica deberá ser considerada de al menos 90 km/h y el radio de giro se establece en función de la tabla 2.

TABLA 2.- Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera. (Ver Nota 5)

Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)
80	250	8
85	300	
90	350	
95	400	
100	450	
105	500	
110	550	
115	600	
120	700	
125	800	
130	900	6,97
135	1050	6,25
140	1250	5,49
145	1475	4,84
150	1725	4,29

NOTA 3.- De acuerdo a la NTE INEN ISO 3833 vigente y al Reglamento de la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre vigente.

NOTA 4.- Vol.- Volumen de las bodegas portaequipajes en m³

NOTA 5.- Tabla determinada al documento Norma 3.1-IC

(Continúa)

5.1.1.3 Carga de frenado (F). Se asume una desaceleración mayor o igual a 4 m/s² (ver Nota 6).

5.1.1.4 Carga de aceleración brusca (A_b). Se calcula con el mismo criterio de la carga de frenado pero en sentido contrario.

5.1.1.5 Carga por resistencia del aire frontal (R_{af}). Se la aplicará como la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal. Se utilizará la siguiente fórmula:

$$R_{af} = (1/2) \times (C_x) \times \rho \times A_f \times V^2$$

Donde:

R_{af} = Carga por resistencia Aerodinámica, en (N).

ρ = Densidad del aire, en (kg/m³).

V = Velocidad del aire, en (m/s). (Como mínimo 25 m/s).

A_f = Área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal, en (m²).

C_x = Coeficiente de resistencia frontal del aire. (Como mínimo 0.7)

5.1.2 Combinaciones de cargas básicas. Las estructuras de las carrocerías deben ser diseñadas de tal manera que resistan los esfuerzos determinados en base al menos a las siguientes combinaciones de cargas básicas:

5.1.2.1 Según método ASD (Allowable strength design)

- 1: M
- 2: M + V
- 3: M + V + G
- 4: M + V + F
- 5: M + V + F + R_{af}
- 6: M + V + R_{af}
- 7: M + V + A_b
- 8: M + V + A_b + R_{af}

5.1.2.2 Según método LRFD (Load resistance factor design)

- 1: 1,4M+V
- 2: 1,2M + 1,6V + 0,5G
- 3: 1,2M + 0,5V + 1,6G
- 4: 1,2M + 1,6F + 0,8 R_{af}
- 5: 1,2M + 0,5 V + 0,5F + 1,3R_{af}
- 6: 1,2M + 1,5A_b + 0,5V
- 7: 0,9M – 1,3R_{af}
- 8: 0,9M + 1,3R_{af}

5.1.3 Factores. Los factores a utilizarse según el método ASD o LRFD serán los indicados en: Specification for Structural Steel Buildings (AISC) y North American Specification for the design of Cold Formed Steel-Structural Members (AISI).

5.1.4 Las cargas combinadas, según los dos métodos (ASD y LRFD), deben alcanzar una deformación elástica de todos los componentes de la estructura de la carrocería iguales o menores a 1/240 veces su longitud.

NOTA 6. De acuerdo con el Ensayo del Tipo 0 con motor embragado para vehículos clase N de la DIRECTIVA 98/12/CE DE LA COMISIÓN EUROPEA, Anexo 2, Ensayos de frenado y rendimiento de los dispositivos de frenado.

(Continúa)

5.1.5 Resistencia de la estructura. Las estructuras de carrocerías deberán cumplir las siguientes condiciones:

5.1.5.1 Debe resistir una carga estática sobre el techo, equivalente al cincuenta por ciento (50%) del peso máximo admisible para el chasis, distribuido uniformemente a lo largo del mismo, sin experimentar deformaciones en ningún punto, que superen los setenta milímetros (70 mm).

5.1.5.2 Durante el ensayo de resistencia de la estructura o ni una vez finalizado el mismo, la estructura de la carrocería debe resistir para que el espacio de supervivencia no resulte invadido según el alcance del documento Regulation 66. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure de las Naciones Unidas. (Ver Nota 7)

5.1.6 Materiales de la estructura. Deben ser perfiles estructurales protegidos contra la corrosión que cumplan con las NTE INEN correspondientes vigentes. (Ver nota 8).

5.1.7 Soldadura de carrocerías. Las carrocerías de buses deben soldarse de acuerdo con las normas vigentes AWS D8.8 para componentes de acero y/o AWS D8.14 para componentes de aluminio.

5.1.7.1 El proceso y procedimiento de soldadura será calificado de acuerdo con las normas vigentes AWS D1.3 para acero, AWS D1.2 para aluminio y AWS D1.6 para acero inoxidable.

5.1.8 Manuales. El fabricante de carrocerías debe disponer y aplicar la información indicada en los manuales de fabricación y montaje de carrocerías provistos por el fabricante de chasis. Para ello el fabricante de chasis debe entregar obligatoriamente dichos manuales específicos para cada modelo de chasis.

5.2 Unión chasis-carrocería. Las uniones entre el chasis y la carrocería se realizarán siguiendo exclusivamente las recomendaciones del fabricante del chasis para bus de transporte de pasajeros, indicadas en su manual de fabricación y montaje de carrocerías de buses.

5.3 Documentos técnicos. El proveedor de carrocerías debe disponer de memorias de cálculo estructural, listado de materiales, planos de construcción dimensionales, eléctricos, y neumáticos; para cada modelo de carrocería y chasis. El formato de los planos debe cumplir con el CPE INEN 03 Código de Dibujo Técnico-Mecánico.

5.4 Vidrios de seguridad. Los vidrios deben cumplir con la NTE INEN 1669 vigente y con el RTE INEN 034 Elementos de Seguridad en vehículos automotores vigente.

5.5 Elementos de seguridad. Las carrocerías de buses deben cumplir con el RTE INEN 034 Elementos de Seguridad en vehículos automotores vigente.

5.6 Los dispositivos de alumbrado, espejos retrovisores y señalización luminosa deben cumplir con la NTE INEN 1 155 vigente y con el RTE INEN 034 Elementos de Seguridad en vehículos automotores vigente.

5.7 Otros Requisitos

5.7.1 Superficies de pisos y áreas de entrada y salida. Deben ser de material antideslizante.

5.7.2 Equipo e instalación eléctrica. Deben cumplir con lo indicado en el numeral 7.5.2 y 7.5.3 de la Directiva Europea 2001/85 CE (ver anexo A).

5.7.3 Pintura. Debe cumplir con las NTE INEN correspondientes vigentes (ver nota 8).

NOTA 7. Mientras no exista un documento normativo INEN equivalente

NOTA 8. En el caso de no existir Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN se deben utilizar las normas o reglamentos equivalentes de reconocido prestigio, tales como: ASTM, DIN, JIS, ANSI.

(Continúa)

5.7.4 Aislamiento térmico y acústico. Debe cumplir con lo indicado en el numeral 7.5.1 de la Directiva Europea 2001/85 CE (ver Anexo A).

5.7.5 Flamabilidad de materiales. Retardante al fuego con un índice de llama no menor de 150 bajo la norma ASTM E 162 o un máximo de 250 mm/min según la norma ISO 3795.

5.7.6 Sujeción de Parabrisas. Debe cumplir con lo dispuesto en el documento normativo FMVSS 212 vigente.

5.7.7 Los materiales del piso, la perfilera de las ventanas y de las puertas deben cumplir con las NTE INEN vigentes (ver Nota 8).

5.7.8 Los sistemas eléctricos y neumáticos deben estar ocultos (ver Anexo A).

5.7.9 Salidas de emergencia. El número mínimo de salidas de emergencia será de acuerdo a la tabla 3.

TABLA 3. Número mínimo de salidas de emergencia

Número de pasajeros	Número total mínimo de salidas de emergencia
17-30	4
31-45	5
46-60	6
61-75	7
76-90	8
Mayor a 90	9

6. ENSAYOS

6.1 Los ensayos serán los indicados en la presente norma.

6.2 Métodos de ensayo de resistencia de la estructura.

La estructura del bus se ensayará por cualquiera de los métodos de ensayo contemplados en el numeral 6 del documento Regulation 66. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure, de las Naciones Unidas.

7. ROTULADO

7.1 Las carrocerías deben disponer de una placa inalterable de identificación, con fines de rastreo, de fácil acceso, visible, legible y debe disponer de al menos la siguiente información:

- Nombre de la empresa fabricante de la carrocería.
- Número de certificado de evaluación de la conformidad de la estructura (NCE).
- Capacidad de pasajeros.
- Fecha de la fabricación (de finalización) (MM/AAAA).
- Número de producción (seis dígitos alfanuméricos).
- Número de chasis (VIN)
- País de origen de la carrocería.

Tamaño mínimo de la placa: 148,5 mm de largo
105 mm de ancho (formato A6).

7.2 El fabricante será responsable de marcar el número de producción indeleblemente en al menos dos lugares de la carrocería.

(Continúa)

ANEXO A

Texto de los numerales 7.5.1, 7.5.2 y 7.5.3 de la Directiva 2001/85/CE.

7.5.1 Compartimento del motor

7.5.1.1 En el compartimento del motor no se utilizará ningún material de isonización inflamable o susceptible de impregnarse de combustible o lubricante, salvo que dicho material esté recubierto de un revestimiento impermeable.

7.5.1.2 Se adoptarán las debidas precauciones, ya sea configurando de forma adecuada el compartimento del motor, ya sea disponiendo orificios de drenaje, para evitar en la medida de lo posible que pueda acumularse combustible o aceite lubricante en alguna parte del compartimento del motor.

7.5.1.3 Entre el compartimento del motor o cualquier otra fuente de calor (como un dispositivo destinado a absorber la energía liberada cuando un vehículo desciende por una larga pendiente, por ejemplo un ralentizador, o un dispositivo utilizado como calefactor del habitáculo, exceptuando sin embargo, los que funcionan por circulación de agua caliente) y el resto del vehículo, deberá colocarse una pantalla de separación resistente al calor. Todas las mordazas, juntas, etc. utilizadas en unión con dicha pantalla de separación deberán ser resistentes al fuego.

7.5.1.4 Podrá instalarse en el compartimento de viajeros un dispositivo calefactor que funcione por un método distinto del de circulación de agua caliente, siempre que este rodeado de material que resista las temperaturas que produzca el dispositivo, no emita gases tóxicos y esté situado de forma que los viajeros no puedan entrar en contacto con una superficie caliente.

7.5.2 Equipo e instalación eléctricos

7.5.2.1 Todos los cables deben estar bien aislados y todos los cables y material eléctrico deben resistir las condiciones de temperatura y humedad a las que están expuestos. En cuanto al compartimento del motor, se prestará especial atención a su resistencia a la temperatura ambiente y a los efectos de todos los posibles productos contaminantes.

7.5.2.2 Ninguno de los cables utilizados en los circuitos eléctricos deben transmitir una corriente de intensidad superior a la admisible para el cable en cuestión. Habida cuenta de su forma de montaje y de la temperatura ambiente máxima.

7.5.2.3 Cada circuito eléctrico que alimente un elemento del sistema distinto del motor de arranque, el circuito de encendido (encendido por chispa), las bujías de incandescencia, el dispositivo de parada del motor, el circuito de carga y la conexión a tierra de la batería, deben estar provisto de un fusible o de un disyuntor. No obstante, podrán ir protegidos por un fusible o un disyuntor comunes, siempre que su potencia nominal no sobrepase los 16 A.

7.5.2.4 Todos los cables deben ir bien protegidos y firmemente fijados, de manera que no puedan ser dañados por cortes, abrasiones o roces.

7.5.2.5 Cuando la tensión eficaz supere los 100 voltios en uno o más de los circuitos eléctricos de un vehículo, se conectará un conmutador manual de aislamiento, capaz de desconectar dichos circuitos de la alimentación eléctrica principal, a todos los polos que no vayan conectados eléctricamente a tierra, situándolo en el interior del vehículo de modo que el conductor pueda acceder fácilmente a él, todo ello, siempre que dicho conmutador de aislamiento no pueda desconectar ninguno de los circuitos eléctricos que alimentan las luces exteriores obligatorias del vehículo. No obstante esto no será aplicable cuando se trate de circuitos de encendido de alta tensión o de circuitos autónomos incorporados a un elemento de equipo en el vehículo.

7.5.2.6 Todos los cables eléctricos deben estar colocados de tal forma que ninguna parte de los mismos pueda entrar en contacto con ningún tubo de carga de combustible ni con ninguna parte del sistema de escape, ni pueda estar sometida a calor excesivo, a menos que vayan provistos de aislamiento y protección especial, por ejemplo en el caso de una válvula de escape solenoide.

7.5.3 Baterías

7.5.3.1 Todas las baterías deben estar sólidamente fijadas y fácilmente accesibles.

7.5.3.2 El compartimento de las baterías estará separado del habitáculo destinado a los viajeros y del habitáculo del conductor y contará con ventilación por aire del exterior.

7.5.3.3 Los polos de la batería irán provistos de protección contra el riesgo de cortocircuito.

APENDICE Z**Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR**

Código de Práctica Ecuatoriano CPE INEN 03:1989	<i>Código de Dibujo Técnico Mecánico.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1155:2008	<i>Vehículos automotores. Dispositivos para mantener o mejorar la visibilidad. Primera Revisión.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1669:1990	<i>Vidrios de seguridad para automotores. Requisitos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 3833:2008	<i>Vehículos automotores. Tipos. Términos y definiciones. Primera Revisión.</i>
Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE 034:2008	<i>Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores.</i>
Reglamento a la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre.	
ASTM E 162 Standard Test Method for Surface Flammability of Materials Using a Radiant Heat Energy Source.	
AWS D1.2 Structural Welding Code- Aluminium.	
AWS D1.3 Structural Welding Code- Sheet Steel.	
AWS D1.6 Structural Welding Code- Stainless Steel.	
AWS D8.8M. Specification for Automotive weld quality-Arc Welding of Steel.	
AWS D8.14M/D8.14. Specification for automotive and light truck components weld quality aluminium arc welding.	
Directiva Europea: Directiva 98/12/CE de la Comisión del 27 de enero de 1998 por la que se adapta al progreso técnico la Directiva 71/320/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los dispositivos de frenado de determinadas categorías de vehículos a motor y sus remolques.	
Directiva Europea: Directiva 2001/85/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 20 de noviembre del 2001, relativa a las disposiciones especiales aplicables a los vehículos utilizados para el transporte de viajeros con más de ocho plazas además del asiento del conductor, y por la que se modifican las Directivas 70/156/CEE y 97/27/CE.	
FMVSS 212. Federal Motors Vehicles Safety Standard 212. Windshield Mounting.	
ISO 3795. Road Vehicles, and tractors and machinery for agriculture and forestry. Determination of burning behaviour of interior materials.	
Norma 3.1-IC: <i>Trazado</i> . O.M. de 27 de diciembre de 1999. Boletín Oficial del Estado, número 28, de 2 de febrero de 2000. MINISTERIO DE FOMENTO (2000) Madrid.	
Regulation 66. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure	
Specification for Structural Steel Buildings. American Institute Steel Construction.	
North American Specification for the design of Cold Formed Steel-Structural Members. American Iron and Steel Institute.	

Z.2 BASES DE ESTUDIO

Regulation 36. Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to their General Construction.

Ing. Marco Grijalva	GM OBB
Ing. Victor Paredes	MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
Ing. Elizabeth Guamán	CCICEV
Sr. Francisco Velasco	MOVIMIENTO JUSTICIA VIAL
Lcda. Piedad Aguilar	CANFAC
Ing. Geovany Novillo A	ESPOCH- FACULTAD INGENIERIA. MECÁNICA-
Sr. Clemente Ponce	AEADE
Sr. Victor Jimenez	COVIAL
Ing. Flavio Cotacachi	CONSEJO NACIONAL DE TRANSITO Y TRANSPORTE TERRESTRE
Ing. Patricio Lara	CCICEV
Sr. Marco García	ATTE ASOCIACIÓN TRANSPORTE TURÍSTICO DEL ECUADOR
Ing. Pablo Viteri	NEOHYUNDAI
Ing. Alvaro Meza	CARROCERIAS PATRICIO CEPEDA
Srta. Myriam Salgado	LA CASA DEL PARABRISAS
Ing. Santiago Benavides	CIMEPI
Ing. John A. Quintana I.	CIMEG
Ing. Diego Dávila	ANETA
Dr. Freddy Sánchez	POLISAN
Ing. Santiago Vargas	VARMA S.A.
Ing. Carlos Landires	COLEGIO DE INGENIEROS MECANICOS DEL GUAYAS-CIMEG
Ing. Galo Espín	CRILAMIT S.A.
Ing. Ángel Tierra	ESPOCH-FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Sr. Julio Llerena	CARROCERIAS JC LLERENA
Ing. Santiago Montero	SIKA
Ing. José Miranda	MIRAL
Ing. Santiago Moya	PICOSA
Sra. América Núñez	CARROCERIAS CUENCA
Ing. Antonio Chamorro	EMSAT
Sr. Marcelo Valencia r	DINA S.A.
Tigo. Daniel Mosquera	IMETAM
Ing. Juan Revelo	ROOFTEC ECUADOR S.A.
Sr. Damián Llerena	CARROCERIAS JC LLERENA
Ing. Hugo Paredes, (Secretario Técnico)	INEN

Otros trámites: Esta NTE INEN 1323:2009 (Primera revisión), reemplaza a la NTE INEN 1323:1985.

♦¹⁰ Esta norma sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA** a **VOLUNTARIA**, según Resolución Ministerial y oficializada mediante Resolución No. 14158 de 2014-04-21, publicado en el Registro Oficial No. 239 del 2014-05-06.

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2008-11-28

Oficializada como: Obligatoria
Registro Oficial No. 519 de 2009-02-02

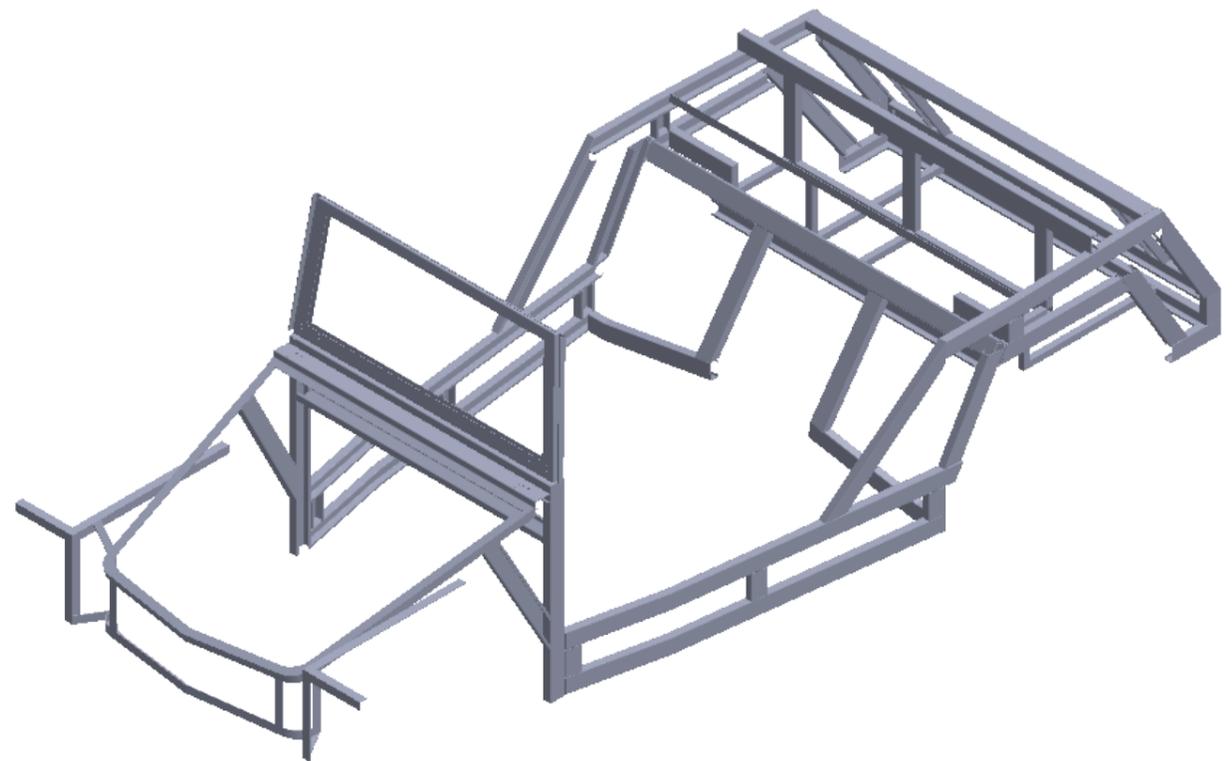
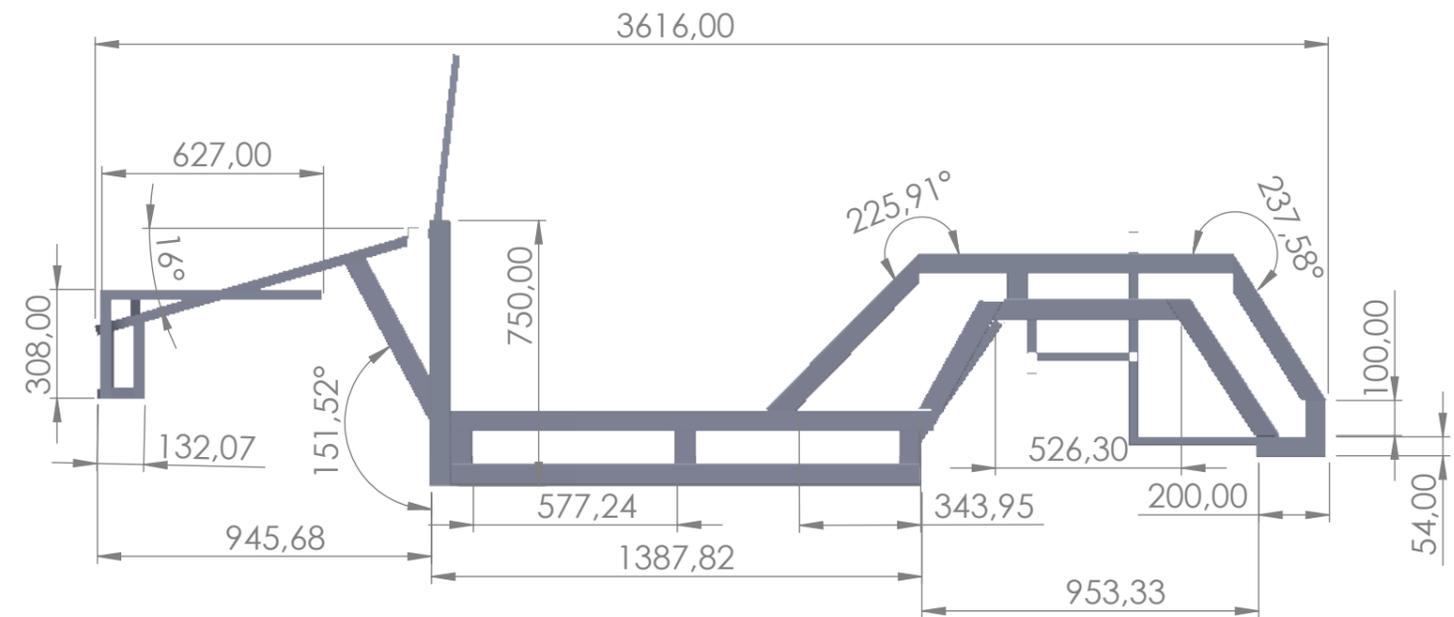
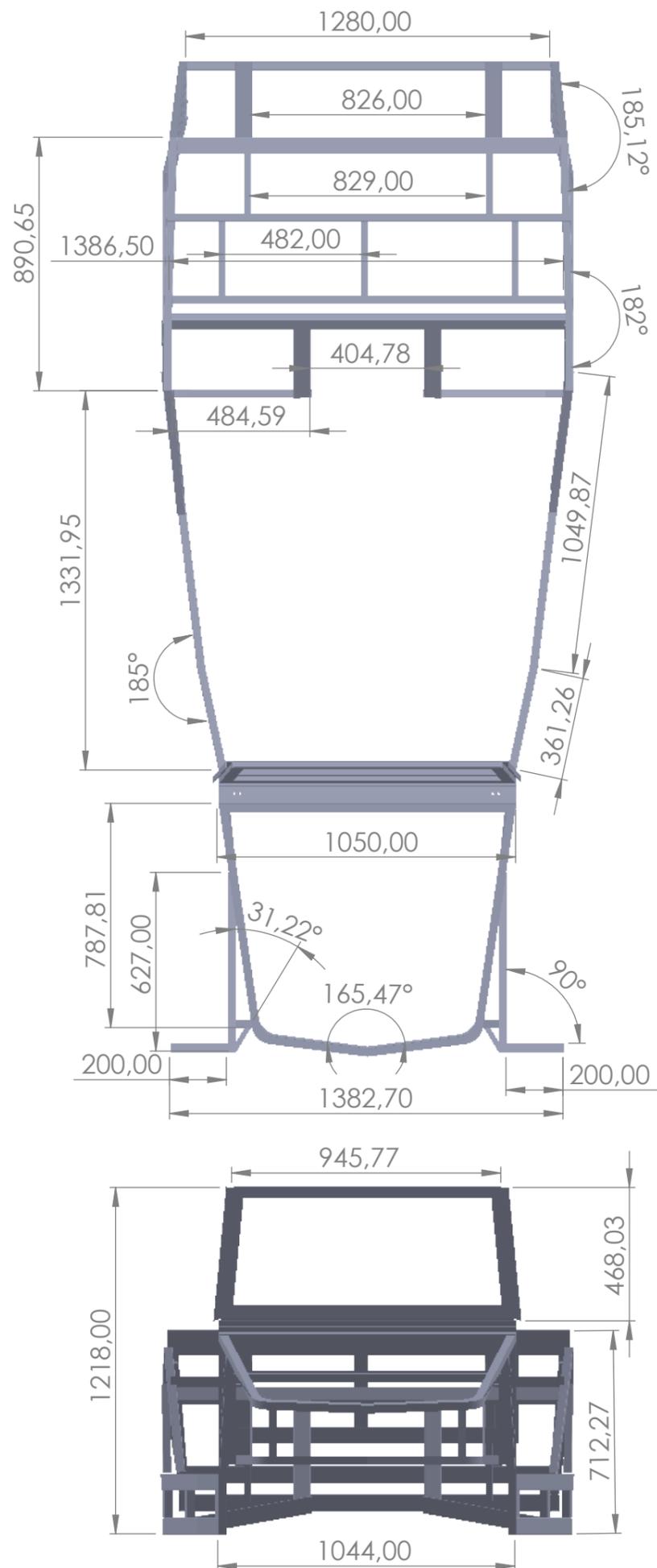
Por Resolución No. 142-2009 de 2009-01-29

Anexo D. Rangos para el factor de seguridad

Materiales dúctiles	
FS	Usos
1.25... 2	Estructuras bajo cargas estáticas, con un alto nivel de confianza en la data de diseño
2... 2.5	Diseño de elementos de máquina bajo carga dinámica con un buen nivel de confianza en la data de diseño.
2.5 ... 4	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbres en el valor de las cargas, propiedades mecánicas, análisis de esfuerzos, condiciones de trabajo.
4... ++	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbres en ciertas combinaciones de carga, propiedades mecánicas, análisis de esfuerzos, condiciones de trabajo. Se justifica el deseo de proveer extra seguridad a componentes críticos.

Extraído del libro: Diseño de elementos de máquinas 4ta edición, página 185.

Anexo E. Plano de estructura principal de la carrocería



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±1	gr	Acero ASTM A36		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJO: 13/7/2022	Calvopiña P.	Carrocería		1:20
				REVISO: 24/7/2022	Ing. Juan Correa			
				APROBO: 24/7/2022	Ing. Juan Correa			
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:	
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 1 DE 1		
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:					