



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN REMOLQUE
TRANSVERSAL PARA EL TRANSPORTE DE VEHÍCULOS DE
CATEGORÍA L3 CUMPLIENDO NORMATIVA INTERNACIONAL”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero
Automotriz

Línea de investigación: Producción Industrial y tecnología sostenible

AUTOR:

Dylan Israel Jurado Vallejos

DIRECTOR:

Ing. Carlos Nolasco Mafla Yopez PhD.

Ibarra – Ecuador (2026)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Jurado Vallejos Dylan Israel

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN REMOLQUE TRANSVERSAL PARA EL TRANSPORTE DE VEHÍCULOS DE CATEGORÍA L3 CUMPLIENDO NORMATIVA INTERNACIONAL.
AUTOR (ES):	Jurado Vallejos Dylan Israel
FECHA: DD/MM/AAAA	22/05/2026
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO AUTOMOTRIZ
DIRECTOR /ASESOR:	Ing. Carlos Nolasco Mafla Yopez PhD. / Ing. Fernando Renato Ramirez Paredes PhD.

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 22 días del mes de mayo de 2026

EL AUTOR:

.....
Jurado Vallejos Dylan Israel



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

Ibarra, 22 de Mayo de 2026

Ing. Carlos Nolasco Mafla Yopez PhD

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

f)

Ing. Carlos Nolasco Mafla Yopez PhD.

C.C.: 0401447826



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR



El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN REMOLQUE TRANSVERSAL PARA EL TRANSPORTE DE VEHÍCULOS DE CATEGORÍA L3 CUMPLIENDO NORMATIVA INTERNACIONAL” elaborado por Dylan Israel Jurado Vallejos, previo a la obtención del título del Ingeniero Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f):.....

Ing. Carlos Nolasco Mafla Yopez PhD.

C.C.: 0401447826

(f):.....

Ing. Fernando Renato Ramirez Paredes PhD.

C.C.: 1709992703

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ****DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de titulación, en primer lugar, a Dios. Por haberme iluminado y dado fuerzas en esos días en los que ni yo mismo creía poder avanzar.

A mis padres, mi pilar más fuerte y el mejor ejemplo de perseverancia que la vida me pudo dar. Este trabajo, más que mío, es de ustedes. Se lo dedico con el corazón porque, de una u otra forma, siempre buscaron la manera de apoyarme incondicionalmente para verme salir adelante, sin importar las dificultades que se presentaran. Han sido mi refugio seguro y el verdadero motor de mis metas. Gracias por su amor infinito, por creer en mis capacidades cuando yo dudaba, y por enseñarme desde muy pequeño que en la vida hay que actuar siempre con responsabilidad, honestidad y humildad. Todo lo que soy hoy, tanto en lo personal como en lo profesional, es el reflejo directo de sus enseñanzas y de cada sacrificio que hicieron por mí.

Finalmente, le dedico este esfuerzo a mi propia constancia y a mis ganas de no rendirme. A todos esos momentos en los que el estrés y el cansancio pesaban, pero decidí seguir adelante hasta terminar. Y, por supuesto, a todas las personas que me dieron ánimos en el camino y me ayudaron a no aflojar para poder culminar esta etapa.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ****AGRADECIMIENTO**

Quiero empezar dando gracias a Dios, por darme la fuerza y la claridad mental para no rendirme en el camino. Su guía ha sido mi motor principal para poder cerrar este ciclo tan importante en mi vida.

A mis padres, Xavier Jurado y Lorena Vallejos, porque sin su esfuerzo esto simplemente no existiría. Gracias por haber estado ahí para apoyarme incondicionalmente en cada etapa de este camino, dándome aliento para seguir adelante. Agradezco cada sacrificio que hicieron, su amor a toda prueba y el ser mi mayor ejemplo. Me enseñaron desde pequeño que las metas más difíciles se logran con trabajo duro y mucha humildad; por todo eso, este logro es tan mío como de ustedes.

A mi hermano Hamilton, por su presencia incondicional y por estar siempre dispuesto a darme una mano, apoyándome de mil formas distintas.

Un agradecimiento lleno de cariño para Diego Guerrero y Amanda Taipe, por haberme acogido y apoyado en cada paso como a un hijo más. Y junto a ellos, a Melany; gracias por ser esa fuerza incondicional a mi lado. El respaldo y la motivación de ustedes fueron vitales para llegar a esta meta.

De igual manera, agradezco enormemente a mis tutores, al PhD. Carlos Mafla y PhD. Fernando Ramírez, quienes fueron pieza clave en el desarrollo de este trabajo. Gracias por acompañarme con paciencia y por guiarme paso a paso con su rigor académico. Cada una de sus correcciones y consejos me permitieron orientar de la mejor manera este estudio hasta hacerlo realidad.

A la Universidad Técnica del Norte y, de manera muy especial, a la carrera de Ingeniería Automotriz, mi más profundo agradecimiento. Todo el aprendizaje y las bases que adquirí en sus aulas han sido el gran pilar de mi formación profesional.



RESUMEN EJECUTIVO

El estudio se fundamenta en la necesidad de contar con un sistema de transporte seguro y eficiente para motocicletas, cuya logística de traslado requiere de plataformas que garanticen la estabilidad de la carga y la integridad estructural; por ello, el objetivo general fue diseñar y cumplir estructuralmente un prototipo de remolque transversal con capacidad de hasta 300 kg para vehículos de categoría L3; la metodología incluyó el modelado tridimensional del bastidor mediante software CAD, el dimensionamiento con aceros estructurales ASTM A500 Grado C y ASTM A36, y la ejecución de análisis por elementos finitos (FEM) para evaluar su comportamiento mecánico; como resultados la verificación del bastidor bajo condiciones críticas de carga estática y dinámica, abarcando escenarios de aceleración, frenada brusca y paso por curva, los cuales demostraron que los esfuerzos de Von Mises se mantienen siempre por debajo del límite de fluencia del material de 315 MPa, garantizando factores de seguridad adecuados; se concluye que el diseño es mecánicamente viable y resistente, ya que la estructura soporta las exigencias operativas simuladas sin presentar deformaciones ni puntos de rotura, consolidando una plataforma técnica, sólida y funcionalmente segura para la movilización de este tipo de vehículos.

Palabras clave: Remolque transversal, Categoría L3, Diseño Estructural, Modelado CAD, Elementos Finitos, Esfuerzos Mecánicos.



ABSTRACT

The study is based on the need for a safe and efficient transportation system for motorcycles, whose transport logistics require platforms that guarantee load stability and structural integrity; therefore, the general objective was to design and structurally comply with a prototype of a transverse trailer with a capacity of up to 300 kg for L3 category vehicles; the methodology included the three-dimensional modeling of the frame using CAD software, dimensioning with ASTM A500 Grade C and ASTM A36 structural steels, and the execution of finite element analysis (FEM) to evaluate its mechanical behavior; as results, the verification of the frame under critical static and dynamic load conditions, encompassing scenarios of acceleration, sudden braking and cornering, which demonstrated that the Von Mises stresses always remain below the material's yield strength of 315 MPa, guaranteeing adequate safety factors; It is concluded that the design is mechanically viable and robust, as the structure withstands the simulated operational demands without exhibiting deformations or points of failure, thus establishing a technically sound and functionally safe platform for the transport of this type of vehicle.

Keywords: Transverse trailer, Category L3, Structural design, CAD modeling, Finite elements, Mechanical stresses.

**LISTA DE SIGLAS**

L3. Categoría normativa de vehículos que corresponde a motocicletas

CAD. Diseño Asistido por Computadora

ASTM. Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales

SMAW. Soldadura por Arco Metálico Protegido

GMAW. Soldadura por Arco Metálico con Gas

LED. Diodo Emisor de Luz

CEE. Comunidad Económica Europea

CC. Centímetros Cúbicos

CNC. Control Numérico por Computadora

FEM. Método de Elementos Finitos

CG. Centro de Gravedad

CAE. Ingeniería Asistida por Computadora



ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	18
1. INTRODUCCIÓN	18
1.1. Problema de Investigación.....	18
1.2. Justificación	19
1.3. Objetivos.....	20
1.3.1. Objetivo General.....	20
1.3.2. Objetivos Específicos.....	20
1.4. Alcance	20
CAPÍTULO II.....	22
2. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. Definición Remolque	22
2.2. Tipos de Remolques.....	23
2.2.1. Remolque de Transporte de Carga.....	23
2.2.2. Remolque Balanceado	23
2.2.3. Remolque de Enganche o Remolque Completo	24
2.2.4. Remolque Elevador.....	25
2.3. Componentes de un Remolque	26
2.3.1. Bastidor o Estructura.....	26
2.3.2. Material de un Remolque.....	26
2.3.3. Semi Eje de Torsión.....	26
2.3.4. Neumáticos	27
2.3.5. Rueda de Maniobra	27
2.3.6. Sistema de Iluminación LED.....	28
2.4. Normativas y Reglamentos.....	28
2.4.1. El Real Decreto 2822, del 23 diciembre, año 1998	28
2.4.2. El Real Decreto 750, del 4 junio, año 2010	29
2.4.3. El Real Decreto 2028, del 6 junio, año 1986	30
2.4.4. Reglamento Ecuatoriano de Transporte Art. 119	31
2.4.5. Reglamento Ecuatoriano de Transporte, Art. 177	31



2.4.6.	Reglamento Ecuatoriano de Transporte, Art. 184	32
2.4.7.	Reglamento Ecuatoriano de Transporte, Art. 185	32
2.4.8.	Reglamento Ecuatoriano de Transporte Art. 335	33
2.5.	Sistema de Anclaje (Enganche de Bola).....	33
2.6.	Software de Diseño y Simulación.....	34
2.7.	Factores de Carga.....	34
2.7.1.	Carga Muerta	35
2.7.2.	Carga Viva	35
2.7.3.	Carga Transportada.....	35
2.7.4.	Carga Geográfica de Viento.....	35
2.7.5.	Carga de Impacto	35
2.7.6.	Factor de Seguridad	36
2.7.7.	Soldadura por Arco Eléctrico (Smaw).....	36
2.7.7.1.	Electrodo E6011	36
2.7.7.2.	Electrodo E7018	36
2.8.	Vehículo Categoría L3	37
2.8.1.	Deportivas	37
2.8.2.	Gran Turismo	38
2.8.3.	Turismo	38
2.8.4.	Custom	39
2.8.5.	Naked	39
2.8.6.	Scooter	40
2.8.7.	Trail.....	40
2.8.8.	Trial.....	41
2.8.9.	Cross	41
2.8.10.	Enduro o Todo Terreno.....	42
CAPÍTULO III.....		44
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	44
3.1.	Materiales.....	44
3.1.1.	SOLIDWORKS	44
3.1.2.	ANSYS	45



3.1.3.	Escáner 3D	46
3.1.4.	Materiales y Equipos Utilizados para la Elaboración del Remolque.....	47
3.2.	Flujograma del Proceso Metodológico para el Diseño, Simulación, y Validación del remolque	48
3.3.	Parámetros de Diseño y Requerimientos Generales de Diseño	51
3.4.	Cálculo de Aceleraciones y Cargas.....	52
3.4.1.	Simulación de Aceleración	53
3.4.2.	Simulación de Frenada Brusca.....	54
3.4.3.	Simulación de Paso por Curva.....	55
3.5.	Modelado 3D de Remolque y Elementos Auxiliares.....	56
3.5.1.	Selección de Elementos Disponibles Comercialmente.....	56
3.5.2.	Diseño del Bastidor.....	59
3.5.3.	Ensamble de Remolque.....	60
3.6.	Metodología para Análisis de la Estructura por Elementos Finitos.....	61
3.6.1.	Propiedades y Dimensiones de Material.....	61
3.6.2.	Distribución de Centros de Gravedad.....	61
3.6.3.	Mallado	65
3.6.3.1.	Calidad de malla del bastidor	66
3.6.3.2.	Calidad de Malla de la Rampa de Ascenso	67
3.6.4.	Condiciones de Borde para Simulación Estático Estructural	68
3.6.4.1.	Estructura del Bastidor	68
3.6.4.2.	Estructura de la Rampa de Ascenso	70
3.6.5.	Condiciones de Borde Generales para Simulaciones Dinámicas	71
3.6.5.1.	Condiciones de Borde para Simulación de Aceleración	73
3.6.5.2.	Condiciones de Borde para Simulación de Frenada Brusca.....	74
3.6.6.	Condiciones de Borde para Simulación Paso por Curva	76
CAPÍTULO IV.....		78
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	78
4.1.	Determinación Medidas Remolque.....	78
4.1.1.	Determinación Ancho Total Remolque	78
4.1.2.	Determinación Longitud Total Remolque	79



4.1.3.	Determinación Larguero de Bastidor.....	80
4.1.4.	Determinación Travesaño de Bastidor.....	81
4.1.5.	Determinación Anclaje Remolque.....	81
4.1.6.	Comparación Medidas Reales vs Normativas	82
4.1.7.	Diseño Final Remolque.....	83
4.2.	Resultados Correspondientes A La Estructura Del Remolque	85
4.2.1.	Simulación Estático Estructural.....	86
4.2.1.1.	Esfuerzo de Von Mises.....	86
4.2.1.2.	Deformación Máxima.....	87
4.2.1.3.	Factor de Seguridad.....	88
4.2.2.	Simulación de Aceleración	89
4.2.2.1.	Esfuerzo de Von Mises.....	89
4.2.2.2.	Deformación Máxima.....	90
4.2.2.3.	Factor de Seguridad.....	91
4.2.3.	Simulación de Frenada Brusca.....	93
4.2.3.1.	Esfuerzo de Von Mises.....	93
4.2.3.2.	Deformación Máxima.....	94
4.2.3.3.	Factor de Seguridad.....	95
4.2.4.	Simulación de Paso por Curva.....	96
4.2.4.1.	Esfuerzo de Von Mises.....	97
4.2.4.2.	Deformación Máxima.....	98
4.2.4.3.	Factor de Seguridad.....	99
4.3.	Resultados Correspondientes a la Estructura de la Rampa.....	100
4.3.1.	Simulación Estático Estructural.....	100
4.3.1.1.	Esfuerzo de Von Mises.....	100
4.3.1.2.	Deformación Total.....	101
4.3.1.3.	Factor de Seguridad.....	101
4.4.	Discusión de Resultados	102
4.4.1.	Simulación Estático Estructural del Bastidor	102
4.4.2.	Simulación Aceleración.....	103
4.4.3.	Simulación Frenada Brusca	104



4.4.4.	Simulación Paso por Curva.....	105
4.4.5.	Simulación Estático Estructural de la Rampa de Ascenso.....	106
4.4.6.	Análisis Global.....	106
4.4.7.	Validación del Diseño de la Estructura Mediante Comparación con Investigaciones Previas.....	108
4.4.7.1.	Validación 1.....	108
4.4.7.2.	Validación 2.....	109
4.4.7.3.	Validación 3.....	110
4.4.8.	Conclusión de la Validación.....	111
4.5.	Proceso de Construcción y Montaje del Remolque.....	111
4.5.1.	Preparación y Trazado de Elementos.....	112
4.5.2.	Procedimientos de Fabricación de los Elementos del Remolque.....	113
4.5.3.	Procesos de Soldadura.....	116
4.5.4.	Acabados y Protección Superficial.....	117
4.5.5.	Montaje de los Elementos del Remolque.....	118
4.6.	Resultado del Proceso de Fabricación.....	119
4.7.	Cumplimiento Normativo del Diseño del Remolque para transporte de Vehículos Categoría L3.....	121
4.7.1.	Cumplimiento de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial (Ecuador).....	122
4.7.2.	Conformidad con los lineamientos de la Agencia Nacional de Tránsito.....	123
4.7.3.	Aplicación de normas técnicas INEN y reglamentos técnicos ecuatorianos.....	124
4.7.4.	Cumplimiento de dimensiones, pesos y estabilidad (Ecuador).....	126
4.7.5.	Cumplimiento de Normativa Internacional (España – Unión Europea).....	127
4.7.6.	Seguridad en la Sujeción de la Motocicleta.....	128
4.7.7.	Validación Normativa del Diseño.....	129
CAPITULO V.....		131
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	131
5.2.	Conclusiones.....	131
5.3.	Recomendaciones.....	133
Referencias bibliográficas.....		135



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



ANEXOS	141
Anexo 1	141
Anexo 2	141
Anexo 3	142
Anexo 4	142
Anexo 5	143
Anexo 6	143
Anexo 7	144
Anexo 8	144
Anexo 9	145
Anexo 10	146
Anexo 11	147



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Pesos y Dimensiones Europeo</i>	31
Tabla 2 <i>Pesos y Dimensiones Ecuatoriano</i>	33
Tabla 3 <i>Cuadro Comparativo de Parámetros de Motocicletas</i>	43
Tabla 4 <i>Materiales para la Fabricación de Estructura</i>	47
Tabla 5 <i>Materiales Disponibles Comercialmente</i>	47
Tabla 6 <i>Máquinas y Herramientas Utilizadas</i>	48
Tabla 7 <i>Parámetros Motocicleta CFMoto 650MT</i>	51
Tabla 8 <i>Comparativa de las Medidas Reales vs Normativas</i>	83
Tabla 9 <i>Cuadro Comparativo Resultados Correspondientes a la Estructura del Bastidor</i>	107
Tabla 10 <i>Cuadro Comparativo Resultados Correspondientes a la Estructura de la Rampa</i>	107
Tabla 11 <i>Calculo del Peso Propio del Remolque para dos motocicletas</i>	108
Tabla 12 <i>Resumen del Remolque en la Simulación Para el Vehículo Monoplaza</i>	110
Tabla 13 <i>Proforma Fabricación Remolque</i>	145



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Remolque de Carga* 23

Figura 2 *Remolque Balanceado* 24

Figura 3 *Remolque de Enganche* 25

Figura 4 *Remolque Elevador* 25

Figura 5 *Motocicleta deportiva*..... 38

Figura 6 *Motocicleta Gran Turismo* 38

Figura 7 *Motocicleta Turismo*..... 39

Figura 8 *Motocicleta Custom*..... 39

Figura 9 *Motocicleta Naked*..... 40

Figura 10 *Motocicleta Scooter*..... 40

Figura 11 *Motocicleta Trail*..... 41

Figura 12 *Motocicleta Trial*..... 41

Figura 13 *Motocicleta Cross*..... 42

Figura 14 *Motocicleta Enduro* 42

Figura 15 *SolidWorks*..... 45

Figura 16 *Ansys*..... 46

Figura 17 *Escáner 3D* 46

Figura 18 *Altura Centro de Gravedad en Base al Modelo CAD* 52

Figura 19 *Escaneo 3D de Eje de Torsión para Sistema de Suspensión* 57

Figura 20 *Modelado Sistema de Suspensión*..... 57

Figura 21 *Modelado Aros Rin 13 y Neumáticos* 58

Figura 22 *Modelado Acoplamiento para Bola de Tiro*..... 58

Figura 23 *Vista Inferior del Remolque con Perfiles Estructurales Cuadrados y Elementos Sólidos*..... 59

Figura 24 *Ensamble General del Remolque* 60

Figura 25 *Propiedades Mecánicas del Material*..... 61

Figura 26 *CG de la estructura tubular* 62

Figura 27 *CG de Motocicleta*..... 63



Figura 28 <i>CG del Coche Deslizante</i>	64
Figura 29 <i>Espectro de Métrica de Calidad de Malla.</i>	66
Figura 30 <i>Calidad de Malla del Bastidor</i>	67
Figura 31 <i>Calidad de Malla de la Rampa de Ascenso</i>	68
Figura 32 <i>Condiciones para la Simulación Estático Estructural del Bastidor del Remolque</i>	69
Figura 33 <i>Condiciones para el Ensayo Estático Estructural de la Rampa de Ascenso</i>	71
Figura 34 <i>Aplicación de la Fuerza Remota de la Motocicleta</i>	72
Figura 35 <i>Aplicación de la Fuerza Remota del Coche Deslizante</i>	72
Figura 36 <i>Condiciones de Borde para Simulación de Aceleración</i>	73
Figura 37 <i>Condiciones de Borde para Simulación de Frenada Brusca</i>	75
Figura 38 <i>Condiciones de Borde para Simulación de Paso por Curva</i>	76
Figura 39 <i>Determinación Ancho Remolque</i>	79
Figura 40 <i>Determinación Longitud Total Remolque</i>	80
Figura 41 <i>Determinación Larguero del Remolque</i>	80
Figura 42 <i>Determinación Travesaños del Remolque</i>	81
Figura 43 <i>Determinación Sistema de Anclaje del remolque</i>	82
Figura 44 <i>Vistas Diseño Remolque</i>	84
Figura 45 <i>Esfuerzo de Von Mises en la Simulación Estático Estructural</i>	87
Figura 46 <i>Deformación Total en la Simulación Estático Estructural</i>	88
Figura 47 <i>Factor de Seguridad en la Simulación Estático Estructural</i>	89
Figura 48 <i>Esfuerzo de Von-Mises en la Simulación de Aceleración</i>	90
Figura 49 <i>Deformación máxima en la Simulación de Aceleración</i>	91
Figura 50 <i>Factor de seguridad en la Simulación de Aceleración</i>	92
Figura 51 <i>Esfuerzo de Von-Mises en la Simulación de Frenada Brusca</i>	94
Figura 52 <i>Deformación máxima en la Simulación de Frenada Brusca</i>	95
Figura 53 <i>Factor de seguridad en la Simulación de Frenada Brusca</i>	96
Figura 54 <i>Esfuerzo de Von-Mises en la Simulación de Paso por Curva a la Derecha</i>	97
Figura 55 <i>Deformación Máxima en la Simulación de Paso por Curva a la Derecha</i>	98
Figura 56 <i>Factor de seguridad en la Simulación de Paso por Curva</i>	99
Figura 57 <i>Esfuerzo de Von Mises en la Simulación Estático Estructural de la Rampa</i>	100
Figura 58 <i>Deformación Máxima en la Simulación Estático Estructural de la Rampa</i>	101



Figura 59 <i>Factor de Seguridad en la Simulación Estático Estructural de la Rampa</i>	101
Figura 60 <i>Corte de Tubos Según Dimensiones de Diseño</i>	112
Figura 61 <i>Estructura Principal (Bastidor)</i>	113
Figura 62 <i>Fabricación del Sistema de Soporte de la Suspensión</i>	113
Figura 63 <i>Fabricación del Sistema de Tiro</i>	114
Figura 64 <i>Acoplamiento del Sistema de Enganche de Bola</i>	114
Figura 65 <i>Fabricación del Coche Deslizante</i>	115
Figura 66 <i>Fabricación de Placas de Soporte de Wincha</i>	115
Figura 67 <i>Fabricación del Piso y Rampa de Ascenso</i>	116
Figura 68 <i>Proceso de Soldadura GMAW</i>	117
Figura 69 <i>Aplicación de Pintura en la Estructura Principal</i>	118
Figura 70 <i>Resultado del Proceso de Fabricación</i>	120
Figura 71 <i>Correcta Distribución de la Carga Sobre el Eje del Remolque</i>	123
Figura 72 <i>Acople de Bola Normalizado</i>	124
Figura 73 <i>Sistema de Iluminación</i>	125
Figura 74 <i>Dimensiones Remolque</i>	126
Figura 75 <i>Altura Máxima Incluida la Carga</i>	128
Figura 76 <i>Sujeción Motocicleta</i>	129
Figura 77 <i>Cumplimiento Normativo del Remolque</i>	130
Figura 78 <i>Especificaciones Técnicas - Semi Eje de Torsión</i>	141
Figura 79 <i>Especificaciones Técnicas – Wincha Eléctrica</i>	141
Figura 80 <i>Especificación ASTM A500 para tubos estructurales</i>	142
Figura 81 <i>Especificaciones Técnicas Plancha Acero A36</i>	142
Figura 82 <i>Sistema de Iluminación LED</i>	143
Figura 83 <i>Vista Superior del Remolque con perfiles estructurales</i>	143
Figura 84 <i>Soldadora MIG - MAG</i>	144
Figura 85 <i>Alambre Sólido ER70S-6</i>	144
Figura 86 <i>Proceso de Manufactura</i>	146
Figura 87 <i>Planos Bastidor</i>	147



CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de Investigación.

Hoy en día en nuestro medio, el transporte de motocicletas de un lugar a otro sin necesidad de conducir las se ha vuelto fundamental para quienes enfrentan largos trayectos o diversas situaciones, evitando cansancio y costos por transporte. Sin embargo, mucho de los remolques no cuentan con las debidas normas de seguridad, y tienen estructuras grandes por lo que a la hora de adquirir los costos son elevados. Lo que origina como problema principal; el desarrollar un dispositivo para el transporte de motocicletas, seguro que cumpla los requerimientos en cualquier entorno al que fuerasometido, sea pequeño reduciendo costos de fabricación, y ocupe poco espacio al transportar la motocicleta de una manera segura y eficiente en la vía [1].

A la hora de adquirir un remolque convencional para motocicletas la mayoría son de estructuras largas, robustas y con falta de señaléticas adecuadas. Esto puede ocupar espacio en la vía durante el transporte, ocasionando accidentes por la falta de iluminación y señalética. Además, varios de los remolques no son estables y tienden a volcarse, ocasionando golpe ya sea en un mínimo bache provocando daños al vehículo [2].

Teniendo en cuenta el espacio que ocupan los remolques convencionales, se plantea la idea de construir un remolque transversal compacto, diseñado para soportar las cargas a las que será sometido. Este planteamiento busca reducir espacios en la vía, mejorando la infraestructura, el peso, los sistemas de sujeción y la visibilidad con una señalética adecuada, cumpliendo con las



normas de tránsito establecidas en el Ecuador. Esta propuesta brinda una solución óptima al problema de investigación, minimizando costos de fabricación y asegurando que el dispositivo trabaje de una manera eficiente y segura en cualquier entorno al que sea sometido [3].

1.2. Justificación

Para el desarrollo de vehículos autónomos de categoría L3 representa una evolución significativa en la tecnología del transporte, el diseño de un remolque específico para este tipo de vehículos aborda una necesidad tecnológica emergente y contribuye al desarrollo y expansión de la industria [4].

Con el diseño del prototipo de remolque se garantizará el transporte de vehículos de categoría L3 ya sea a largos o cortos periodos distancias mínimas o largas, cumpliendo normativas de seguridad Nacionales e Internacionales [5].

De acuerdo con el cambio de matriz productiva 2015 "Crece" nos plantea que en Metalmecánica: bienes de capital, la fabricación de metales comunes y productos elaborados de metal, diversas máquinas y equipos. Acorde con este párrafo este proyecto encuentra de manera estratégica y tecnológica nuevos emprendimientos. Creando así un objetivo de aumentar el crecimiento y las grandes necesidades económicas y la incorporación de conocimiento [6].



1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo General*

Diseñar y construir un remolque eficiente para el transporte seguro de vehículos de categoría L3, que no superen un peso de 300kg y una longitud de 2.50m x 2m cumpliendo normativas Nacionales e Internacionales.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

- Crear un prototipo de remolque utilizando el software CAD.
- Simular cargas y esfuerzos del prototipo con el software CAD.
- Implementar el diseño aprobado tras los análisis y simulaciones optimas de funcionamiento.
- Validar el remolque, teniendo en cuenta las normas de homologación Nacionales e Internacionales.

1.4. Alcance

Este proyecto se centra en crear un prototipo de remolque transversal mediante el uso del software SolidWorks, que permite tener un enfoque en el diseño y modelado con precisión, llevando a cabo simulaciones en cada etapa de construcción del remolque transversal para vehículos de categoría L3, obteniendo resultados sobre cargas y esfuerzos en cualquier entorno al que fuera sometido [7]. La ejecución de este proyecto requiere un enfoque primordial en la selección del material de construcción. En este remolque, optaremos por un enfoque mixto, utilizando principalmente ASTM A500 Grado C (Acero al Carbono), para la base y las estructuras que estarán sometidas a

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

esfuerzos, ASTM A36, esta son planchas antideslizantes se colocarán estratégicamente en la base y en el riel destinado para las ruedas de las motocicletas, al igual que los guardafangos que serán de plancha lisa de calidad ASTM 36 y para diferentes partes del remolque.

La consideración de las cargas máximas que el proyecto puede soportar es importante para garantizar su buen funcionamiento y la seguridad. Al establecer una capacidad de carga máxima de 300 kg, se demuestra que esta capacidad de carga proporciona un margen de seguridad, permitiendo la operación segura y eficiente al transportar vehículos de categoría L3. La elección de este límite refleja una planificación segura, garantizando la eficiencia del proyecto [8].



CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Definición Remolque

El remolque es un vehículo diseñado para el transporte de carga que no dispone de un sistema de propulsión propio. Su función principal es ser acoplado a un vehículo motorizado, el cual le proporciona la fuerza necesaria para su desplazamiento. Este tipo de vehículo se utiliza comúnmente para trasladar mercancías, maquinaria o materiales de diversa índole, adaptándose a distintas necesidades operativas y logísticas [9].

La estructura de un remolque puede variar según el tipo de carga que se transporte y las condiciones de operación a las que esté expuesto. Generalmente, está compuesto por un chasis de gran resistencia, un conjunto de ruedas y una plataforma de carga que puede incluir sistemas de sujeción y mecanismos de elevación o apertura para facilitar las labores de carga y descarga. En algunos casos, dependiendo de su tamaño y peso, incorpora sistemas de frenos propios que garantizan un mayor control y seguridad durante su uso [10].

Desde una perspectiva funcional, el remolque constituye un elemento clave dentro del sistema de transporte moderno. Su diseño responde a criterios de ingeniería que buscan maximizar la capacidad de carga, la estabilidad y la eficiencia en el traslado de mercancías. Gracias a estas características, los remolques permiten incrementar la productividad del transporte sin aumentar el número de vehículos motorizados, lo que los convierte en una alternativa rentable y versátil para los sectores industrial, agrícola y comercial [11].



Por otra parte, los remolques pueden clasificarse en diversas categorías según la función principal para la cual fueron diseñados. Entre las más comunes se encuentran los remolques destinados al transporte de carga, los remolques vivienda o habitacionales y aquellos utilizados para actividades comerciales móviles, como los de venta ambulante.

2.2. Tipos de Remolques

2.2.1. *Remolque de Transporte de Carga.*

Se trata de un vehículo carente de sistema de propulsión propio, diseñado específicamente para ser acoplado a un vehículo de carga pesada. Su estructura está concebida para soportar y trasladar diferentes tipos de mercancías, entre ellas contenedores u otros elementos de gran volumen y peso, brindando estabilidad y eficiencia durante el transporte [12].

Figura 1 *Remolque de Carga*



Tomado de: Remolque de Carga para 2 o más motos [13]

2.2.2. *Remolque Balanceado*

Esta unidad de carga, o remolque, cuenta con un único eje situado estratégicamente en las proximidades de su centro de gravedad. Esta disposición estructural permite distribuir el peso de



manera equilibrada sobre el chasis, evitando concentraciones excesivas de carga en un solo punto. Gracias a esta configuración, se mejora la estabilidad del vehículo durante el desplazamiento, se optimiza el control al momento de maniobrar y se reduce el desgaste tanto de los neumáticos como de los componentes de suspensión. En consecuencia, la ubicación del eje no solo cumple una función estructural, sino que también responde a criterios de seguridad y eficiencia en el transporte [14].

Figura 2 *Remolque Balanceado*



Tomado de: Remolque Balanceado para moto [15]

2.2.3. Remolque de Enganche o Remolque Completo

Se trata de remolques que incorporan dos ejes o, como mínimo, un eje directriz, y que cuentan con un sistema de acoplamiento capaz de moverse de forma vertical respecto a la estructura del remolque. Este tipo de diseño permite que la carga transferida al vehículo tractor sea mínima, generalmente inferior a los 1000 kilogramos. Dicha característica contribuye a mantener la estabilidad del conjunto durante el desplazamiento y a reducir el esfuerzo estructural sobre el vehículo de tracción [16].



Figura 3 *Remolque de Enganche*



Tomado de: Remolque de Enganche para moto [17]

2.2.4. Remolque Elevador

El presente diseño corresponde a un remolque destinado al transporte de motocicletas de gran tamaño y alta cilindrada, como las motocicletas tipo touring. Su característica más destacable, y que lo diferencia de los modelos convencionales, es la incorporación de un sistema mecánico que permite descender la plataforma de carga hasta quedar completamente apoyada sobre el suelo. Esta funcionalidad facilita de manera significativa las operaciones de carga y descarga, al eliminar la necesidad de rampas adicionales y mejorar la seguridad durante el transporte [18].

Figura 4 *Remolque Elevador*



Tomado de: Remolque Elevador [19]



2.3. Componentes de un Remolque

2.3.1. Bastidor o Estructura

Se trata de una estructura esquelética sobre la cual se fijan varias componentes mecánicas, tales como neumáticos, conjuntos de ejes, sistema de tiro, sistema eléctrico, entre otros. La función principal del bastidor es mantener la carga del vehículo, necesitando solidez y una resistencia significativa a la tracción para resistir impactos, vibraciones, torsiones y otras tensiones, previniendo así su fractura [20].

2.3.2. Material de un Remolque

Durante la operación, los aceros estructurales suelen enfrentarse a tensiones concentradas generadas por irregularidades geométricas como agujeros, esquinas afiladas, soldaduras, entre otras, que son frecuentes en estructuras de acero como las que cumplen con las especificaciones ASTM A500 grado C, así como en planchas antideslizantes o lisas ASTM A36 [21].

El material puede ser unido mediante técnicas de soldadura como SMAW, soldadura por arco eléctrico. Estas opciones permiten la formación de uniones soldadas de calidad adecuada para aplicaciones estructurales [22].

2.3.3. Semi Eje de Torsión

El componente esencial para la generación de movimiento en un automóvil o remolque es el eje de transmisión, el cual posibilita el giro de las ruedas. Para la fabricación de estos ejes, se prefiere el uso de acero de alta calidad. No obstante, se enfrentan desafíos como la necesidad de abordar cuestiones relacionadas con la amortiguación y la rigidez, lo que puede limitar la aplicabilidad de



aceros de alta calidad en la producción de ejes de transmisión [23]. Por ende, un Semi Eje de transmisión de metal ofrece numerosas ventajas gracias a sus excelentes propiedades mecánicas, tales como su peso reducido, elevada rigidez específica, resistencia específica destacada y menor nivel de ruido [24].

2.3.4. Neumáticos

Los neumáticos desempeñan un papel crucial, siendo la única parte del vehículo que entra en contacto directo con la superficie. Cumplen varias funciones durante situaciones de aceleración, desaceleración y dirección, generando fuerzas y momentos entre el neumático y la carretera [25]. La carga total y la distribución de la carga en cada rueda se vinculan directamente con el desempeño y la exactitud del control basado en el modelo [26]. Así, la principal fuente de generación de fuerza en el ámbito de la dinámica del vehículo proviene de la interacción entre el neumático y la superficie de la carretera [27].

2.3.5. Rueda de Maniobra

Es una rueda maniobrable fijada en un eje vertical, con la posibilidad de ajustar su altura gracias a una manivela en el extremo del eje. Su sujeción al remolque se realiza mediante una abrazadera. La principal función de esta rueda es permitir el desplazamiento del remolque cuando no está acoplado a ningún vehículo remolcador, desempeñando un papel de soporte y facilitando la nivelación. Además, cumple con la tarea de sostener el peso del remolque cuando no está conectado al vehículo [28].



2.3.6. Sistema de Iluminación LED

Un sistema de iluminación LED adecuadamente diseñado potencia la gestión, seguridad y señalización en las vías al ofrecer una mejor visibilidad desde distancias mayores, con el propósito de minimizar la incidencia de accidentes. La mejora de la visibilidad en entornos viales durante la noche mediante la iluminación contribuye a la disminución de accidentes de tráfico, beneficiando tanto a conductores como a peatones [29]. La iluminación de un remolque juega un papel crucial en este aspecto y está sujeta a normativas confiables [30].

La iluminación LED presenta numerosas ventajas, tales como una prolongada duración, consumo energético reducido, alta resistencia a la humedad, eficiencia elevada y transición rápida, en contraste con las fuentes de iluminación convencionales como las lámparas incandescentes y fluorescentes [31].

2.4. Normativas y Reglamentos

De acuerdo con Hernán Pérez Acosta [32], la Normativa Internacional de España, tiene los requisitos generales del remolque, para su homologación y normativa respectiva son:

2.4.1. El Real Decreto 2822, del 23 diciembre, año 1998

Busca establecer las regulaciones técnicas, que los vehículos tienen que acatar a la circular en España. Estipula criterios tales como emisiones, iluminación, frenos y neumáticos, con la finalidad de asegurar la seguridad en las vías [33].

El Reglamento General de Vehículos, tiene como propósito principal fijar las normas técnicas y administrativas que deben cumplir todos los vehículos que circulan por las vías públicas en España.



Este decreto establece los requisitos mínimos en aspectos fundamentales como las emisiones contaminantes, los sistemas de iluminación, los frenos, los neumáticos y otros elementos que garantizan el correcto funcionamiento y la seguridad de los vehículos. Además, el decreto busca armonizar la normativa nacional con las disposiciones europeas, asegurando que los vehículos cumplan con estándares ambientales y de seguridades comunes en toda la Unión Europea.

De esta manera, se promueve no solo la protección del medio ambiente mediante el control de las emisiones, sino también la seguridad vial, al exigir condiciones óptimas en los componentes mecánicos y estructurales de los automóviles.

2.4.2. El Real Decreto 750, del 4 junio, año 2010

Es una normativa legal en España que establece las reglas y procedimientos para la certificación vehicular, remolques o acoplados, junto con los sistemas, componentes relacionados de transporte terrestre [34].

Las normativas más importantes en materia de homologación y certificación de vehículos en España. Su principal objetivo es regular los procedimientos que deben seguir los fabricantes y distribuidores para garantizar que los vehículos, remolques, semirremolques y sus componentes cumplan con los estándares técnicos y de seguridad exigidos antes de ser puestos en circulación.

Esta disposición legal define los requisitos para la homologación de tipo, es decir, el proceso mediante el cual se verifica que un modelo o sistema cumple con las normas establecidas tanto a nivel nacional como europeo. Además, incluye las condiciones para la emisión de certificados de conformidad, necesarios para el registro y la comercialización de los vehículos.



Con este decreto, el Estado español busca asegurar que todos los elementos relacionados con el transporte terrestre sean seguros, respetuosos con el medio ambiente y técnicamente fiables. Así mismo, fomenta la transparencia y la uniformidad en los procedimientos de control, evitando que vehículos o componentes que no cumplan las normas accedan al mercado.

2.4.3. El Real Decreto 2028, del 6 junio, año 1986

Son normas aplicables de ciertas Directivas de la Comunidad Económica Europea, relacionadas con la validación de tipos de transporte, remolques o acoplados, es esencial para permitir la libre circulación [35].

Tiene como propósito principal adaptar la normativa española a las Directivas de la entonces Comunidad Económica Europea (CEE) en materia de homologación y control técnico de los vehículos a motor, sus remolques y componentes. Este decreto resulta fundamental para asegurar que los vehículos que circulan en España cumplan con los estándares técnicos y de seguridad exigidos a nivel europeo, favoreciendo así la compatibilidad normativa entre los distintos Estados miembros.

En esencia, su aplicación garantiza que los vehículos y sus elementos como sistemas de frenos, iluminación, emisiones o estructuras de acoplamiento sean evaluados y aprobados bajo criterios comunes, evitando obstáculos comerciales y facilitando la libre circulación y comercialización dentro del mercado europeo.

Además, el decreto promueve la seguridad vial y la protección ambiental, ya que la homologación técnica asegura que los productos cumplan con requisitos de calidad, resistencia y eficiencia. De



este modo, el Real Decreto 2028/1986 no solo tiene un valor técnico, sino también económico y social, al armonizar las regulaciones nacionales con las europeas y consolidar un marco común que fortalece la confianza en los vehículos fabricados y comercializados dentro de la Unión Europea.

Tabla 1 Pesos y Dimensiones Europeo [36].

Descripción	Peso Máximo Permitido (Toneladas)	Longitudes Máximas Permitidas (metros)		
		Largo	Ancho	Alto
Remolque 1 Eje	10	12	2.55	4
Remolque 2 Ejes	18	12	2.55	4
Remolque 3 Ejes	24	12	2.55	4

El reglamento Ecuatoriano de transporte, [37], establece que los requisitos generales del remolque son:

2.4.4. Reglamento Ecuatoriano de Transporte Art. 119

Este artículo establece la obligación de obtener el certificado de homologación como un requisito esencial para los medios de transporte terrestre y sus componentes como remolques o acoplados, lo cual ayuda a garantizar la seguridad y cumplimiento de las normativas aplicables en el ámbito del transporte terrestre en el país correspondiente.

2.4.5. Reglamento Ecuatoriano de Transporte, Art. 177

Este artículo establece la obligatoriedad de que los vehículos dispongan de placas de identificación vehicular, para garantizar su circulación legal.



Este artículo determina que todos los vehículos deben contar obligatoriamente con placas de identificación vehicular, las cuales funcionan como un medio oficial para reconocer y registrar cada unidad dentro del sistema de tránsito. Su principal propósito es asegurar que los vehículos circulen de forma legal, facilitando el control por parte de las autoridades y contribuyendo a la seguridad vial. Además, esta medida permite verificar la propiedad, evitar el uso indebido o ilegal de los automotores y promover la responsabilidad de los conductores. En consecuencia, las placas no solo cumplen una función administrativa, sino también social y jurídica, ya que garantizan la trazabilidad y autenticidad del vehículo en cualquier procedimiento legal o de control.

2.4.6. Reglamento Ecuatoriano de Transporte, Art. 184

Este artículo requiere que las luces en las unidades de carga cumplan con los estándares detallados en la normativa técnica ecuatoriana, para garantizar su adecuado funcionamiento y cumplimiento de las regulaciones.

2.4.7. Reglamento Ecuatoriano de Transporte, Art. 185

Este artículo tiene un alcance general, pues se aplica a toda clase de vehículos sin distinción, incluyendo remolques y acoplados. Su propósito es establecer una normativa uniforme que garantice que todos los medios de transporte, independientemente de su estructura o función, cumplan con las mismas exigencias legales y técnicas para poder circular. De esta manera, se asegura la coherencia en el sistema de tránsito, se facilita la fiscalización por parte de las autoridades y se promueve la seguridad tanto de los conductores como del resto de usuarios de la vía. Además, al incluir remolques y acoplados, se reconoce su papel dentro del transporte de carga



y se refuerza la necesidad de que también estén regulados bajo los mismos criterios de identificación y control.

2.4.8. *Reglamento Ecuatoriano de Transporte Art. 335*

Este artículo considera vehículo a motor a cualquier automotor que transite por las carreteras del país, incluyendo remolques, acoplados u otros dispositivos similares sin propulsión, siendo también considerados como vehículos motorizados sujetos al seguro obligatorio.

Tabla 2 Pesos y Dimensiones Ecuatoriano [38].

Descripción	Peso Máximo Permitido (Toneladas)	Longitudes Máximas Permitidas (metros)		
		Largo	Ancho	Alto
Remolque 1 Eje	11	10	2.60	4.10
Remolque 2 Ejes	14	10	2.60	4.10
Remolque 3 Ejes	21	10	2.60	4.10
Semiremolque de 1 Eje	11	13.20	2.60	4.10
Semiremolque de 2 Ejes	20	13.20	2.60	4.10
Semiremolque de 3 Ejes	24	13.20	2.60	4.10
Remolque Balanceado de 1 Eje	7	10	2.60	4.10
Remolque Balanceado de 2 Ejes	14	10	2.60	4.10
Remolque Balanceado de 3 Ejes	21	10	2.60	4.10

2.5. Sistema de Anclaje (Enganche de Bola)

Este sistema comprende una bola conectada a una placa sólidamente fijada al chasis del vehículo remolcador. En el extremo del remolque, se encuentra una protuberancia (tortuga de enganche), con forma de cuchara que se acopla en la parte superior. Para asegurar la conexión, se emplea un



cierre que sostiene el sistema de anclaje del remolque de manera segura, eliminando cualquier posibilidad de apertura [39].

2.6. Software de Diseño y Simulación

SolidWorks, es un software de modelado tridimensional CAD, que agiliza la creación de productos mejorados y optimiza el proceso de diseño. Permite a los diseñadores plasmar ideas excepcionales de manera rápida y rentable, generando de manera ágil los planos esenciales para la fabricación de piezas u otros componentes [40].

Un sistema de evaluación de diseño que brinda soluciones de simulación para análisis estáticos lineales y no lineales, junto con funciones de optimización. Facilita la resolución intuitiva de problemas durante el proceso de diseño al proporcionar programas precisos y eficientes. Esta capacidad optimiza la búsqueda de resultados de diseño óptimos, contribuyendo a la reducción del tiempo de lanzamiento del producto al mercado y permitiendo un ahorro significativo de tiempo y esfuerzo [41].

2.7. Factores de Carga

De acuerdo con F.Arias, G.Arcos, D.Zurita, et al, [42], revela que: Determina y analiza las fuerzas o cargas que influirán sobre la estructura de un remolque. Busca identificar las diferentes fuerzas externas y presiones a las que la estructura del remolque estará expuesta durante su operación. Esto implica considerar factores como el peso de la carga transportada, las tensiones dinámicas y estáticas.



2.7.1. Carga Muerta

Corresponde al peso propio permanente de todos los elementos que conforman el remolque, tales como el bastidor, semi ejes, piso y demás componentes estructurales fijos. Esta carga actúa de manera constante durante toda la vida útil de la estructura, generando esfuerzos estáticos que deben ser considerados en el diseño.

2.7.2. Carga Viva

Corresponde a la suma de la carga transportada junto con una sobrecarga equivalente al 10% de la carga transportada, estableciendo así un margen de seguridad para prevenir posibles accidentes por exceso de carga.

2.7.3. Carga Transportada

La carga total, también conocida como carga útil, hace referencia al peso completo que el remolque es capaz de transportar durante su utilización, es un factor crítico en el diseño y la operación eficiente del remolque.

2.7.4. Carga Geográfica de Viento

Es una resistencia que contrarresta el movimiento de cualquier objeto, manifestándose en sentido horizontal. Esta resistencia, también denominada "resistencia aerodinámica", tiene en cuenta los datos específicos de la ubicación geográfica donde se empleará la estructura.

2.7.5. Carga de Impacto

Se manifiesta de manera transitoria del remolque en movimiento, siendo especialmente cuando experimenta irregularidades en la superficie de la vía. Estas irregularidades pueden incluir



desniveles, baches u otros obstáculos que generan cambios bruscos en la velocidad o dirección del objeto en movimiento.

2.7.6. Factor de Seguridad

Es una precaución adoptada para garantizar la capacidad de carga en diseños operativos. El factor de seguridad se elige basándose en la experiencia, considerando cargas y simetría. Se puede optar por un valor superior a 1 para prevenir fallos, variando según el material y el propósito de la estructura o máquina [43].

2.7.7. Soldadura por Arco Eléctrico (Smaw)

Este método de soldadura, con orígenes en la década de 1790, fue pionero y eficaz tanto técnicamente como económicamente. Aunque superado por aplicaciones modernas, su concepto esencial sigue influyendo en la soldadura al arco con electrodo auto protegido [44].

2.7.7.1. Electrodo E6011

El electrodo celulósico se adapta a corriente alterna y continua con electrodo positivo. Facilita la rápida solidificación del metal, mejorando la soldadura en posiciones verticales y sobre cabeza. Permite manejar el arco con facilidad en cualquier posición, tolerando altas velocidades de acumulación [45].

2.7.7.2. Electrodo E7018

Cumple con una estructura limitada de hidrógeno, incluye un 30% de hierro pulverizado en su revestimiento. Versátil, opera con Corriente Continua o Alterna invertida. El carbonato de calcio



proporciona gases protectores, el fluoospato forma escoria y el polvo de hierro estabiliza el arco eléctrico [46].

2.8. Vehículo Categoría L3

Un medio de transporte con dos ruedas propulsado por un motor de combustión interna. Su estructura primordial incluye el chasis y las ruedas, siendo la rueda delantera la encargada de la dirección, mientras que la rueda trasera se encarga de impulsar el vehículo hacia adelante [47].

Los vehículos clasificados como L3 son una elección de transporte ampliamente adoptada, contando con modelos asequibles, así como opciones que superan el valor de un vehículo de gama media. Proporcionan una movilidad flexible que abarca desde puerta a puerta [48]. De acuerdo M.Arias-Paz [49], da a conocer que los vehículos de Categoría L3 se clasifican en:

2.8.1. Deportivas

En términos de diseño, buscan emular la apariencia de las motocicletas de competición de velocidad mediante la inclusión de carenados que optimizan la aerodinámica. Estas motocicletas se destacan por su potencia, ya que cuentan con motores diseñados para ofrecer un rendimiento óptimo tanto a bajas como a altas velocidades, siempre integrando las últimas tecnologías disponibles.



Figura 5 *Motocicleta deportiva*



Tomado de: Moto Suzuki GSX-8R [50].

2.8.2. *Gran Turismo*

Dotadas de carenados extensos, estas motocicletas ofrecen una notable protección a los usuarios. Se distinguen por su comodidad, al contar con asientos ajustables electrónicamente en todos sus lugares. El equilibrio de su peso se logra mediante motores de gran cilindraje y elevada potencia.

Figura 6 *Motocicleta Gran Turismo*



Tomado de: Moto Honda GL1800 Gold Wing Tour [51].

2.8.3. *Turismo*

Las motocicletas pueden ser categorizadas en diferentes cilindradas sin poner énfasis en el rendimiento deportivo, abarcando opciones como las Naked, que prescinden de carenado o presentan uno de dimensiones reducidas, enfocándose principalmente en la practicidad.



Figura 7 *Motocicleta Turismo*



Tomado de: Moto Yamaha Tenere 700cc [52].

2.8.4. Custom

Hasta hace unos años, solían denominarse chopper debido a su aspecto característico. A pesar de la impresión que pueda sugerir su imagen, estas motocicletas tienden a ser incómodas, ya que proporcionan una conducción no aerodinámica y suelen ser considerablemente pesadas.

Figura 8 *Motocicleta Custom*



Tomado de: Moto Keeway 302 cc [53].

2.8.5. Naked

Su nombre es impactante al derivar del término en inglés "Naked," que se traduce como "desnuda". Estas motocicletas, carentes de carenado, adoptan una perspectiva completamente deportiva, donde la estética juega un papel crucial.



Figura 9 *Motocicleta Naked*



Tomado de: Moto KTM Súper Duke 1290cc [54].

2.8.6. *Scooter*

Es un vehículo práctico y automatizado diseñado para ofrecer una conducción segura y eficaz, especialmente adecuado para entornos urbanos al eliminar la necesidad de cambios de velocidades en la mayoría de las situaciones.

Figura 10 *Motocicleta Scooter*



Tomado de: Moto Scooter Daytona DY 150cc [55].

2.8.7. *Trail*

En sus inicios, estas motocicletas eran adaptaciones de modelos todoterreno diseñadas para el uso en entornos urbanos, destacando por sus suspensiones de largo recorrido. Se caracterizan por contar con ruedas de tamaños distintos, siendo la delantera de mayor dimensión, y algunas de ellas pueden alcanzar cilindradas de hasta 1150cc.



Figura 11 *Motocicleta Trail*



Tomado de: Yamaha DT 400cc [56].

2.8.8. *Trial*

Con dimensiones reducidas para mejorar la maniobrabilidad, la posición de conducción está diseñada para permitir estar de pie. Estos vehículos suelen incorporar tanto motores de 2 tiempos como de 4 tiempos.

Figura12 *Motocicleta Trial*



Tomado de: Moto One Gold Series Trrs Gold 2023 [57].

2.8.9. *Cross*

Su velocidad y potencia han sido en especial ajustadas para operar eficazmente tanto en circuitos de tierra como en asfalto, enfrentándose a condiciones extremas.



Figura 13 *Motocicleta Cross*



Tomado de: Yamaha YZ 450cc [58].

2.8.10. Enduro o Todo Terreno

Su especialización es comparable al motocross, aunque se diferencia al llevarse a cabo en circuitos abiertos que involucran caminos desafiantes y senderos de extensa longitud. Debido a esto, incluyen un sistema de iluminación para cumplir con las homologaciones requeridas.

Figura 14 *Motocicleta Enduro*



Tomado de: Moto KTM 300cc XC [59].



Tabla 3 Cuadro Comparativo de Parámetros de Motocicletas

CUADRO COMPARATIVO DE DIMENSIONES (MOTOCICLETAS YAMAHA)							
TIPO	MOTOCICLETAS	PESO (Kg)	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	CILINDRAJE (CC)	Distancia entre ejes (mm)
Scooter	BWS FI	118	1.910	775	1.125	124.8	1.305
Scooter	NMAX	127	1935	740	1160	155	1340
Scooter	BWS X	123	1910	715	1090	124.8	1290
Paseo	CRYPTON FI	96	1940	715	1090	114	1235
Paseo	LIBERO 125 RV	121	1980	745	1050	124	1290
Urbana	FZ 25	146	2015	775	1075	249	1360
Urbana	XTZ 150	131	2050	830	1140	149	1350
Super Deportiva	R 15	137	1990	775	1135	155	1325
Super Deportiva	R1	199	2055	690	1150	998	1405
Super Deportiva	R7	188	2070	705	1160	689	1395
Hyper Naked	MT- 03	165	2090	745	1380	321	1380
Hyper Naked	MT-07	183	2065	780	1110	689	1395
Hyper Naked	MT-10	212	2100	800	1165	998	1405
Adventure Touring	New Tenere 700	208	2370	935	1455	689	1595
Sport Touring	Tracer 9 GT	214	2160	850	1430	890	1500
Sport Heritage	Bolt R Spec	246	2290	830	1120	942	1570
Enduro	YZ-450FX	116	2175	825	1280	449	1480
Enduro	WR-450F	117	2170	825	1265	450	1470
Motocross	YZ-450F	112	2185	825	1285	450	1485
Motocross	YZ-85 LW	75	1895	760	1175	85	1285

Tomado de: Catálogo Yamaha Motos [60].



CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Para el desarrollo y materialización del presente proyecto, la selección de los materiales e insumos constituye una de las fases más críticas, ya que de esta depende directamente la viabilidad, seguridad y funcionalidad del remolque. En esta sección se detallan todos los recursos involucrados en las distintas etapas de la investigación: desde los softwares CAD empleados para la conceptualización y validación del diseño, hasta los equipos de levantamiento de datos geométricos y los insumos físicos necesarios para la construcción.

La elección de las herramientas computacionales se fundamenta en la necesidad de prever el comportamiento estructural del remolque y optimizar su geometría de manera precisa antes de proceder a la manufactura.

3.1.1. *SOLIDWORKS*

SolidWorks es una herramienta de diseño asistido por computadora ampliamente utilizada en ingeniería para elaborar modelos tridimensionales de piezas y ensamblajes. Su principal ventaja radica en que trabaja con un sistema paramétrico, lo que permite modificar medidas, relaciones y detalles del diseño sin necesidad de rehacer por completo el modelo. Esto facilita el proceso de diseño, ahorra tiempo y permite realizar ajustes con mayor precisión. En el desarrollo de esta investigación, SolidWorks se empleará para el modelado 3D del remolque y de sus componentes,



ya que permitirá representar de forma clara la geometría de la estructura, comprobar dimensiones y preparar el modelo para su posterior análisis y validación [61].

Figura 15 *SolidWorks*



Tomado de: ResearchGate [62]

3.1.2. ANSYS

ANSYS es una herramienta de simulación ampliamente utilizada en ingeniería para analizar cómo se comporta una pieza o una estructura antes de ser fabricada. Su uso permite trabajar con el método de elementos finitos, asignando propiedades al material, condiciones de apoyo y diferentes tipos de carga, con el fin de obtener resultados como esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad. En esta investigación, ANSYS servirá de gran ayuda porque permite evaluar de manera previa la respuesta estructural del remolque ante distintas condiciones de trabajo, lo que facilita la validación del diseño y reduce la necesidad de recurrir únicamente a pruebas físicas [63].

Figura 16 *Ansys*

Tomado de: Wikimedia Commons [64]

3.1.3. *Escáner 3D*

El escáner 3D es un equipo que permite captar la forma real de un objeto y convertirla en información digital para su posterior tratamiento en programas de diseño. Esta tecnología resulta especialmente útil cuando se necesita trabajar con componentes de geometría compleja o con piezas comerciales de las que no se dispone de planos detallados, ya que facilita los procesos de ingeniería inversa y mejora la precisión del modelado. En el presente trabajo, el escáner 3D es una herramienta importante para obtener la geometría del eje de torsión, lo que servirá como base para su posterior reconstrucción digital e integración dentro del diseño general del remolque [65].

Figura 17 *Escáner 3D*

Tomado de: Star3D [66]



3.1.4. *Materiales y Equipos Utilizados para la Elaboración del Remolque*

Para la construcción del remolque se emplearon materiales metálicos de uso estructural, seleccionados en función de su resistencia mecánica, disponibilidad comercial y costo. Adicionalmente, se utilizaron elementos comerciales estandarizados como el sistema de enganche, suspensión, ejes y ruedas. Las operaciones de fabricación requirieron el uso de máquinas y herramientas convencionales de taller, tales como equipos de corte, soldadura y desbaste, así como instrumentos de medición para el control dimensional. Los insumos de soldadura y materiales de acabado superficial fueron seleccionados para asegurar una adecuada unión de los componentes y una protección eficaz contra la corrosión.

- Los materiales para la estructura se detallan en la tabla 5:

Tabla 4 *Materiales para la Fabricación de Estructura*

Detalle	Especificación	Ubicación
Tubo cuadrado	60x60x2 mm	Estructura principal
Tubo cuadrado	40x40x3 mm	Estructura principal
Perfil angular	25x25x3 mm	Guías para desplazamiento
Plancha antideslizante	2 mm	Piso y rampa para motocicleta
Plancha lisa	1,5 mm	Guardafangos
Plancha lisa	2 mm	Estructura de coche deslizante
Placas lisas	5 mm	Sujeción de suspensión
Placas lisas	8 mm	Refuerzo de punta para enganche

- Los materiales disponibles comercialmente se detallan en la tabla 6.

Tabla 5 *Materiales Disponibles Comercialmente*

Detalle	Especificación	Ubicación
Rodachines	50 mm	Coche deslizante
Barras de torsión	Capacidad 400 kg	Suspensión
Acoplamiento de bola	Para tubo de 2.5 pulgadas	Punta de Remolque
Wincha Eléctrica	Capacidad 1000 kg	Piso Remolque



- Para el proceso de fabricación se utilizaron las máquinas y herramientas detalladas en la tabla 7.

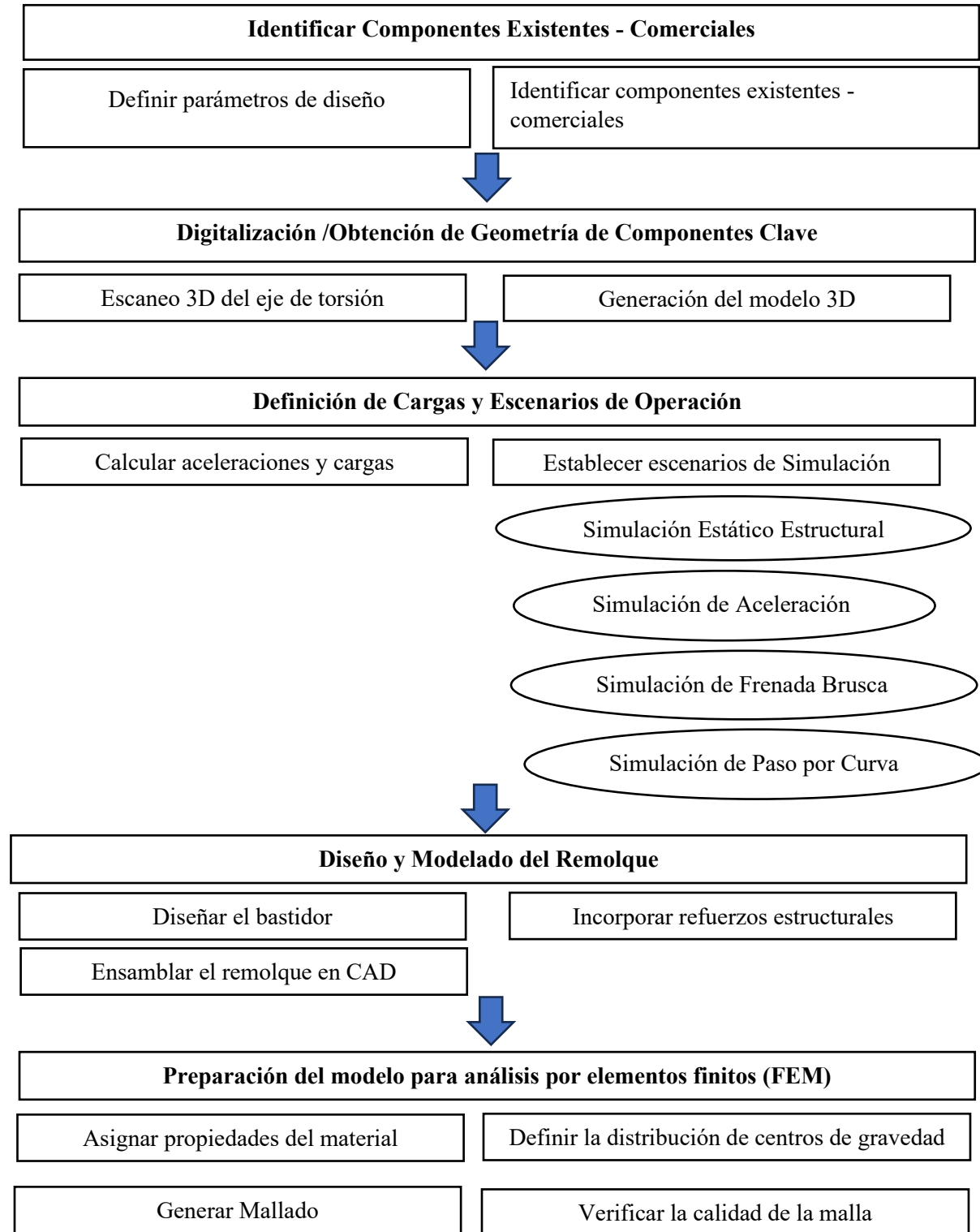
Tabla 6 Máquinas y Herramientas Utilizadas

Máquinas	Herramientas	Equipos de Medición	Equipos de Protección Personal
Tronzadora	Destornilladores	Calibrador Vernier	Gafas
Taladro de mano	Llaves	Flexómetro	Guantes de trabajo
Esmeril	Martillo	Escuadras	Guantes de cuero
Suelda GMAW	Mesa de trabajo	Graduador	Botas de seguridad
Cortadora plasma CNC	Entenalla		Tapones auditivos
Compresor	Pistola de pintura		Mandil

3.2. Flujograma del Proceso Metodológico para el Diseño, Simulación, y Validación del remolque

Para entender bien cómo se desarrolló este remolque, es necesario ver el proyecto como un camino donde cada paso depende del anterior. El diseño en ingeniería no se hace de forma aislada; por el contrario, los datos que se obtienen en una etapa son los que permiten avanzar y asegurar que la siguiente sea correcta y segura.

Con la idea de ordenar y explicar este proceso de manera clara, se diseñó un flujograma metodológico que sirve como una guía de ruta para el proyecto. Este esquema ayuda a ver de forma lógica cómo conectar las actividades principales: desde la recolección de los datos técnicos y el escaneo en 3D del eje, pasando por el modelado en la computadora y las simulaciones estructurales (FEM), hasta terminar con la validación final del diseño, A continuación el flujograma:





Simulaciones estructurales (validación por FEM)

Aplicar condiciones de borde y restricciones

Simular el ensayo estático estructural

Simular el ensayo de paso por curva

Simular el ensayo de aceleración

Simular el ensayo de frenado brusco



Postproceso y Evaluación de Resultados (criterios de aceptación)

Comparar resultados con criterios de aceptación

Esfuerzo de Von Mises

Deformación máxima

Factor de seguridad



Validación Final del Remolque

Validación estructural final

Validación dimensional del Diseño

Consolidación del Diseño Final



3.3. Parámetros de Diseño y Requerimientos Generales de Diseño

Antes de iniciar el proceso de diseño del remolque, es indispensable definir los parámetros y requerimientos generales que orienten su concepción estructural y funcional. Estos lineamientos permitirán establecer las condiciones mínimas necesarias para asegurar que el remolque cumpla con un desempeño seguro, estable y confiable durante su operación. Asimismo, la correcta determinación de dichos parámetros garantiza que el diseño sea compatible con todos los vehículos de categoría L3, considerando sus diferentes dimensiones, pesos y características geométricas.

En el proceso de diseño del remolque transversal se adoptó como modelo de referencia la motocicleta CFMoto 650MT (2023–2024), seleccionada por poseer una de la mayor distancia entre ejes del mercado, lo que permite establecer parámetros de diseño que aseguran la compatibilidad con motocicletas de todas las dimensiones.

Tabla 7 *Parámetros Motocicleta CFMoto 650MT*

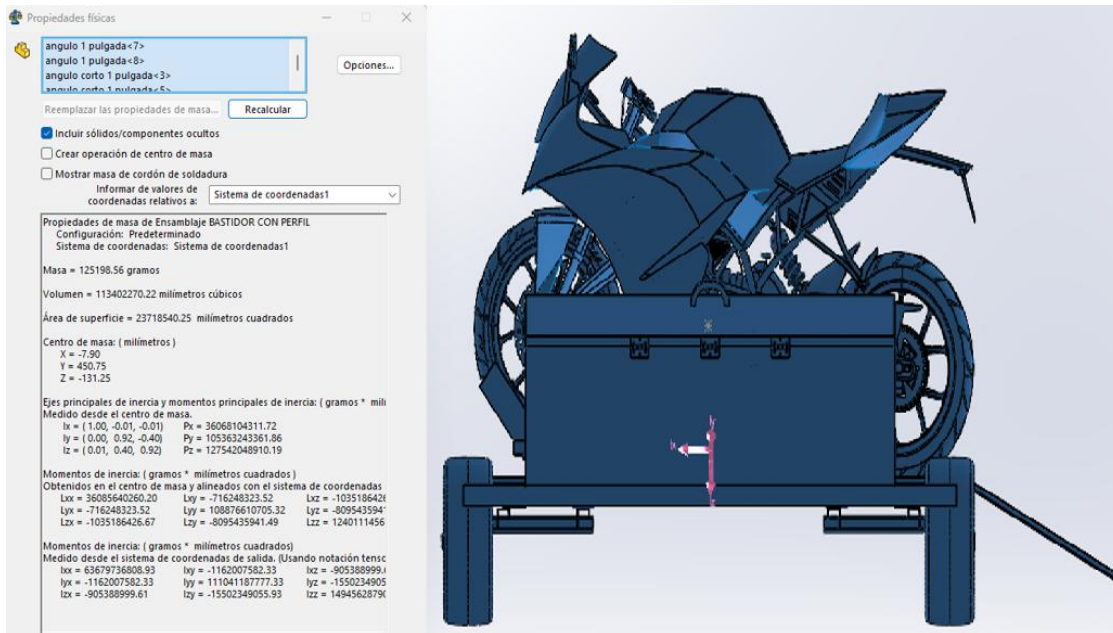
PARÁMETROS	
Dimensiones	Peso
Longitud máxima	2.150 mm
Anchura máxima	835 mm
Altura máxima	1.332 mm
Distancia entre ejes	1.415mm
Altura de asiento	840 mm
Capacidad del depósito	18 l.
Peso en seco	213 kg

Tomado de: MotoFichas [67]

- **Altura del centro de gravedad:** Aproximadamente 131.25 mm (determinado en base al modelo CAD con la ubicación de los elementos más representativos).
- **Peso del coche deslizante:** 7 kg (obtenido desde SolidWorks mediante el diseño CAD).



Figura 18 Altura Centro de Gravedad en Base al Modelo CAD



3.4. Cálculo de Aceleraciones y Cargas

Las simulaciones realizadas a la estructura del remolque de acuerdo con las condiciones de uso fueron:

- Estático Estructural
- Aceleración
- Frenada Brusca
- Paso por curva

Las solicitaciones más exigentes para un remolque se dan en la aceleración, frenada brusca y paso por curva, para lo cual se realiza la simulación en términos de la inercia generada en función de los valores calculados de aceleración para cada condición. No se aplicaron fuerzas puntuales con el objetivo de reducir la aparición de singularidades y en su lugar se realizó la simplificación usando puntos remotos y masa puntuales.



Por tanto, se utilizó el centro de gravedad (CG) de los elementos más representativos en cuanto a la masa total del remolque, su masa y la simplificación de puntos remotos para conectar estas cargas al bastidor. Esta simplificación permite tener las siguientes ventajas:

- Reducción de gasto computacional debido a la disminución de elementos de malla del modelo.
- Reducción de singularidades de tensiones en zonas de contacto de elementos.

Por otra parte, las principales cargas que actúan sobre el remolque son cargas permanentes (G) como el peso del remolque y la motocicleta y cargas variables (Q) propias de la dinámica vehicular.

A fin de garantizar la seguridad y la durabilidad del remolque, se decidió multiplicar las cargas y aceleraciones a usar por un factor de seguridad [68].

- Las cargas permanentes tendrán un factor de $\gamma_G = 1,33$
- Las cargas variables tendrán un factor de $\gamma_Q = 1,50$

3.4.1. Simulación de Aceleración

La aceleración máxima a la que va a estar sometido el remolque, está determinada por la adherencia entre los neumáticos y la calzada del vehículo que lo arrastra. El pico máximo de aceleración sin pérdidas de tracción se rige por la ecuación [69].

$$a \leq \mu \cdot g$$

Donde:

a = aceleración (m/s^2)

μ = Coeficiente de fricción

g = Gravedad (m/s^2)



Considerando que el vehículo con el remolque circula por una superficie de asfalto el coeficiente de fricción correspondiente es de 0,6 [69]. Por lo que la aceleración máxima que podría desarrollar está definida por:

$$a \leq 0,6 \cdot (9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$a \leq 5,89 \text{ m/s}^2$$

Esta aceleración se multiplica por el factor γ_Q mencionado anteriormente previo a la aplicación en el software CAE.

$$a = 5,89 \text{ m/s}^2 * 1,50$$

$$a = 8,835 \text{ m/s}^2$$

3.4.2. Simulación de Frenada Brusca

El remolque de igual manera al estar acoplado a un vehículo puede someterse a condiciones de frenado brusco, por lo que se hace necesario calcular la distancia de frenado, correspondiente a la distancia que recorre un vehículo desde que se pisan los frenos hasta que se detiene por completo.

Se calcula utilizando la siguiente ecuación [70]:

$$df = \frac{v^2}{2 * g * u}$$

Donde:

df = Distancia de frenado (m)

v = Velocidad al momento del frenado (km/h)

u = Coeficiente de fricción neumático-suelo

g = Gravedad (m/s^2)



Se considera una velocidad de circulación de 70 km/h (19,44 m/s) al momento de aplicar los frenos y un coeficiente de fricción de neumáticos de 0,6. Esta velocidad se toma debido a que es la velocidad máxima permitida para vehículos de carga en carretera.

$$df = \frac{(19,44 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,6}$$

$$df = 32,15 \text{ m}$$

La máxima desaceleración provocada por el frenado es:

$$a_f = \frac{v^2}{2 * df}$$

$$a_f = \frac{(19,44 \text{ m/s})^2}{2 * 32,15 \text{ m}}$$

$$a_f = 5,88 \text{ m/s}^2$$

Esta desaceleración se multiplica por el factor γ_Q mencionado anteriormente previo a la aplicación en el software CAE.

$$a_f = 5,88 \text{ m/s}^2 * 1,50$$

$$a_f = 8,82 \text{ m/s}^2$$

3.4.3. Simulación de Paso por Curva

Para el cálculo, se consideró que la transferencia de carga se produce al tomar una curva de 60 m de radio de curvatura a una velocidad máxima de 40 km/h (velocidad máxima permitida en curvas



en carretera en Ecuador). En este caso, se calcula la aceleración normal que experimenta el remolque durante la curva.

$$a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

Donde:

a_n = Aceleración normal (m/s²)

v = Velocidad (m/s)

ρ = Radio de la curva (m)

$$a_n = \frac{11,11^2}{60}$$

$$a_n = 2,06 \text{ m/s}^2$$

Esta aceleración normal se multiplica por el factor γ_Q mencionado anteriormente previo a la aplicación en el software CAE.

$$a_n = 2,06 \text{ m/s}^2 * 1,50$$

$$a_n = 3,09 \text{ m/s}^2$$

3.5. Modelado 3D de Remolque y Elementos Auxiliares

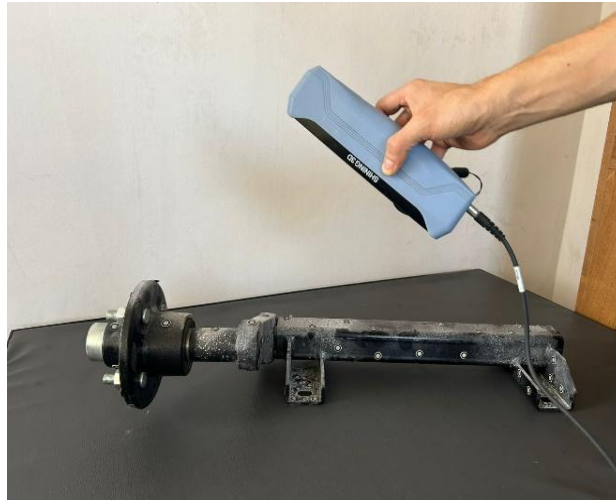
3.5.1. Selección de Elementos Disponibles Comercialmente

Previo al diseño del remolque se optó por adquirir elementos auxiliares para el remolque como son el sistema de suspensión, acoplamiento para bola de tiro, aros y neumáticos. Los elementos adquiridos fueron modelados en 3D para su uso en el diseño del remolque a fin de lograr un ensamble adecuado una vez construido.



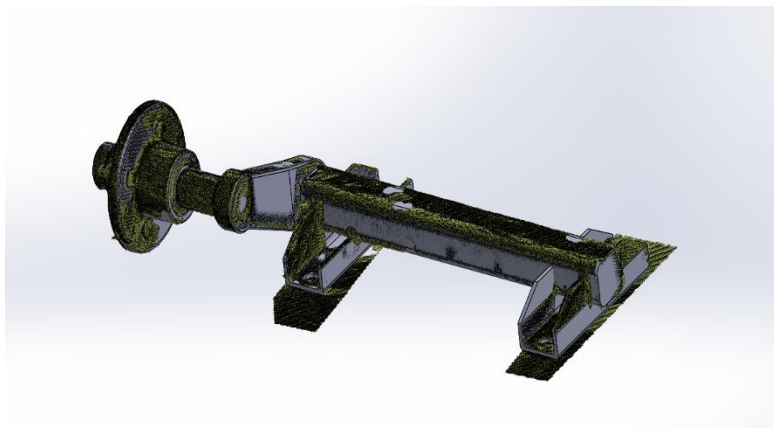
El modelado de los ejes de torsión para el sistema de suspensión requirió del uso de escaneo 3D a fin de lograr la mayor precisión en el diseño.

Figura 19 *Escaneo 3D de Eje de Torsión para Sistema de Suspensión*



Con el archivo STL del eje de torsión se realizó el modelo CAD del elemento en el software SolidWorks.

Figura 20 *Modelado Sistema de Suspensión*





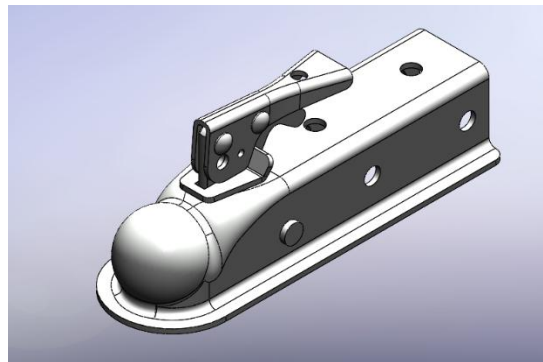
La figura 20 muestra el modelo tridimensional del sistema mecánico diseñado en SolidWorks. Este modelo permite visualizar la estructura, verificar la geometría y analizar la interacción entre sus componentes antes de su fabricación. La representación CAD facilita la evaluación de esfuerzos y condiciones de operación mediante simulaciones, lo que contribuye a validar la resistencia y funcionalidad del diseño.

Figura 21 *Modelado Aros Rin 13 y Neumáticos*



La figura 21 muestra el modelo CAD de una rueda conformada por un rin metálico y un neumático, diseñado en SolidWorks para evaluar su desempeño estructural y geométrico. El modelado del neumático facilita la revisión del perfil de contacto y la compatibilidad dimensional del conjunto.

Figura 22 *Modelado Acoplamiento para Bola de Tiro*



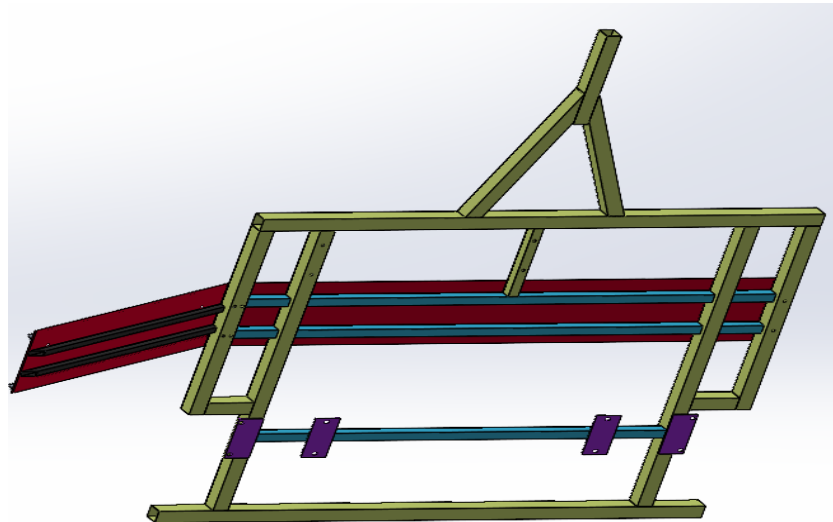


La figura 22 muestra el modelo CAD de un acoplador tipo bola para sistemas de remolque, diseñado en SolidWorks para evaluar su geometría y funcionamiento. El componente incluye una base perforada para su montaje, una carcasa que sostiene la bola de arrastre y un mecanismo de cierre que asegura la unión con el enganche.

3.5.2. *Diseño del Bastidor*

El modelado 3D del bastidor se lo ha desarrollado mediante la utilización de miembros estructurales que para este caso se ha utilizado dos perfiles, el primero perfil cuadrado de 60 x 60 x 2 mm y el segundo perfil cuadrado de 40 x 40 x 3 mm. Perfiles que se los han elegido de investigaciones previas aplicados a remolques y que en lo posterior será validada su viabilidad mediante los factores de seguridad en cada ensayo.

Figura 23 *Vista Inferior del Remolque con Perfiles Estructurales Cuadrados y Elementos Sólidos*



La figura 23 muestra la utilización de perfiles estructurales y elementos que se han distribuido de la siguiente manera:

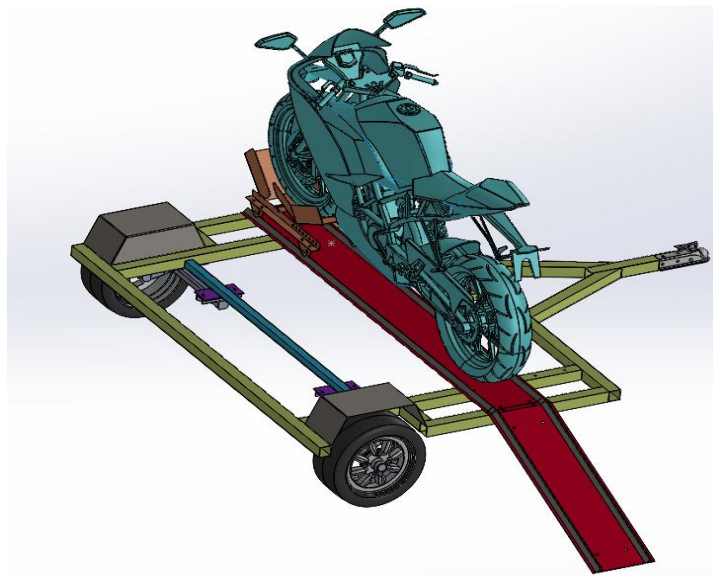


- Perfil cuadrado de 60 x 60 x 2 mm en color verde (estructura del bastidor).
- Perfil cuadrado de 40 x 40 x 3 mm en color azul (estructura del bastidor).
- Elemento sólido de 3 mm en color rojo (piso del bastidor).
- Elemento sólido de 5 mm en color morado (soportes para barras de torsión).
- Perfil cuadrado de 25 x 25 x 1.5 mm en color gris (estructura de la rampa de ascenso).

3.5.3. *Ensamble de Remolque*

La Figura 24 muestra el modelo CAD del remolque ensamblado, integrando el bastidor, el sistema de suspensión, las ruedas, al igual que la motocicleta y el bloqueo de la llanta delantera. Esta representación permite verificar la correcta disposición de los componentes, la distribución del peso y la compatibilidad dimensional del conjunto. El modelado tridimensional asegura que el diseño cumpla con los requerimientos estructurales y funcionales antes de su construcción.

Figura 24 *Ensamble General del Remolque*





3.6. Metodología para Análisis de la Estructura por Elementos Finitos

Se realizó un análisis estructural estático en el software CAE, para lo cual se consideró los parámetros detallados a continuación.

3.6.1. Propiedades y Dimensiones de Material

El material utilizado para el análisis del bastidor es el acero ASTM A500 grado C, disponible en el mercado nacional.

Figura 25 *Propiedades Mecánicas del Material*

Physical Properties	Metric
Density	7.85 g/cc
Mechanical Properties	Metric
Tensile Strength, Ultimate	425 MPa
Tensile Strength, Yield	315 MPa
Elongation at Break	21 %
Bulk Modulus	160 GPa
Shear Modulus	80.0 GPa
Component Elements Properties	Metric
Carbon, C	<= 0.27 %
Copper, Cu	<= 0.18 %
Iron, Fe	98 %
Manganese, Mn	<= 1.4 %
Phosphorous, P	<= 0.050 %
Sulfur, S	<= 0.063 %

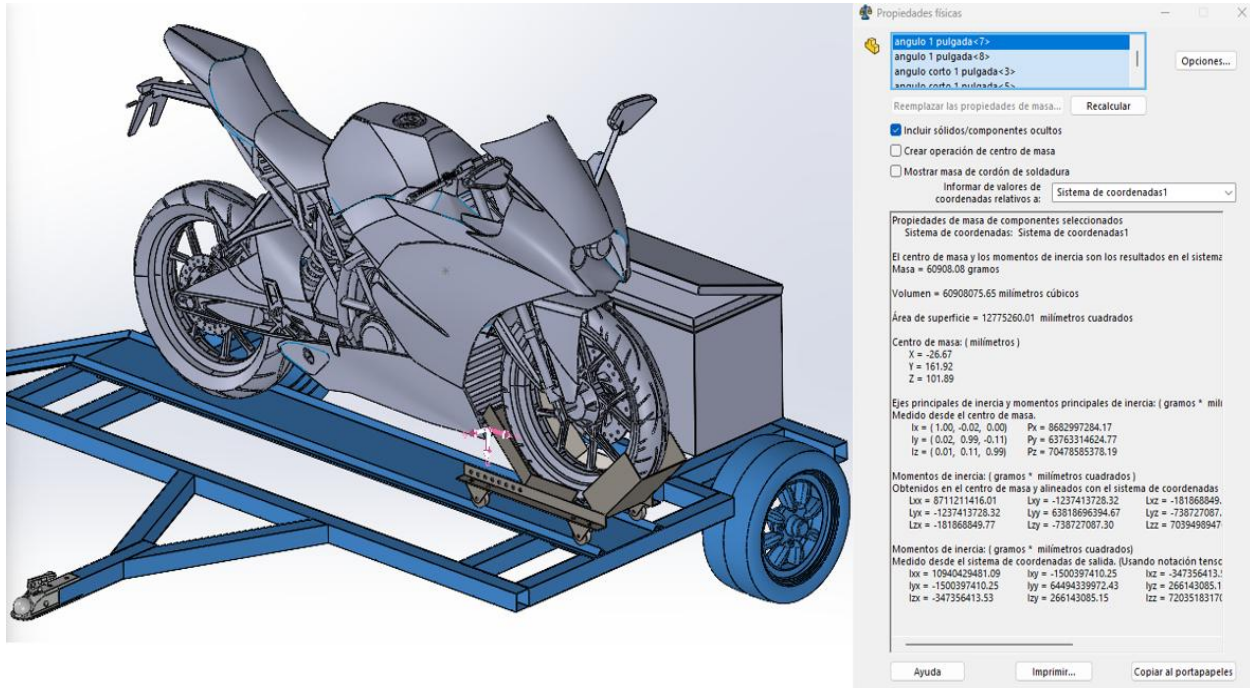
Tomado de: MatWeb [71]

3.6.2. Distribución de Centros de Gravedad

A continuación, se detalla los centros de gravedad (CG) de cada uno de los elementos de mayor masa para las simulaciones CAE.



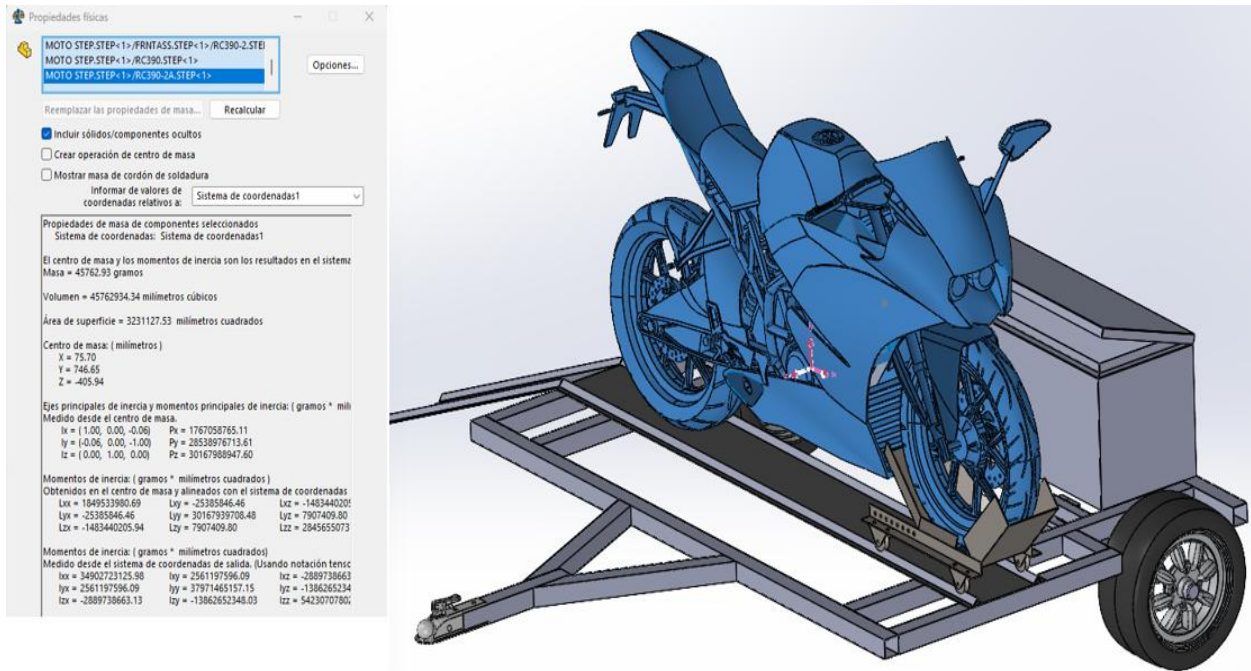
Figura 26 CG de la estructura tubular



La figura 26 muestra las coordenadas del centro de gravedad del bastidor lo que corresponde a: $X = -26.67 \text{ mm}$; $Y = 161.92 \text{ mm}$; $Z = 101.89 \text{ mm}$. Estos valores permiten evaluar la estabilidad del diseño y su comportamiento bajo cargas durante la operación. La combinación del modelo CAD facilita verificar que la distribución de masa y la rigidez estructural sean adecuadas para el funcionamiento seguro del remolque.



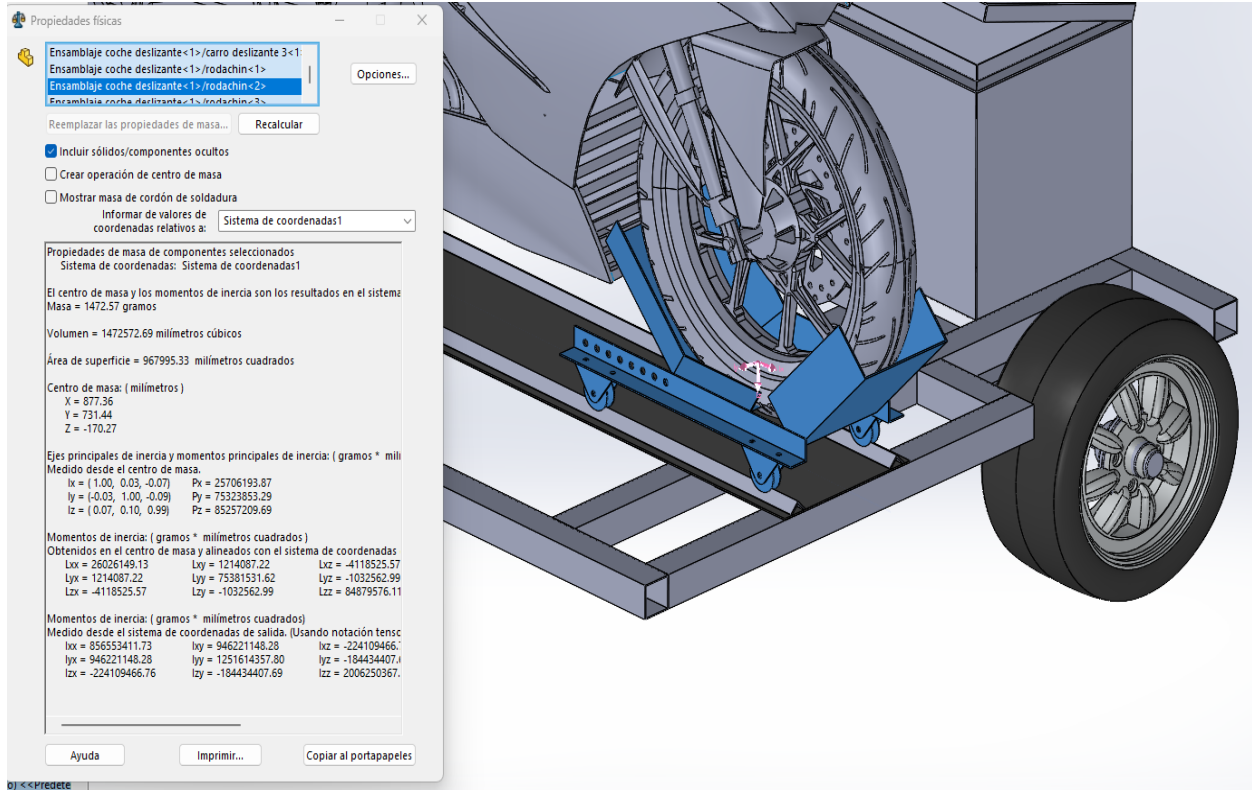
Figura 27 CG de Motocicleta



La figura 27 muestra el centro de gravedad de la motocicleta teniendo las siguientes coordenadas: $X = 75.70 \text{ mm}$; $Y = 746.65 \text{ mm}$; $Z = -405.94 \text{ mm}$. cálculo de las propiedades físicas del modelo CAD de la motocicleta en SolidWorks. Estos parámetros permiten analizar la estabilidad y el comportamiento dinámico del vehículo, asegurando que la distribución del peso y la geometría del diseño sean adecuadas antes de avanzar en su desarrollo.



Figura 28 CG del Coche Deslizante



En la figura 28 muestra otra carga significativa será el coche deslizante porta llanta, este tiene unas coordenadas de: $X = 877.36 \text{ mm}$; $Y = 731.44 \text{ mm}$; $Z = -170.27 \text{ mm}$. Se analiza el centro de gravedad del coche deslizante destinado a asegurar la rueda delantera de la motocicleta durante su transporte en el remolque. Este componente, modelado en SolidWorks y resaltado en color azul, permite posicionar y fijar la motocicleta de manera estable sobre la plataforma. El cálculo del centro de gravedad proporciona información esencial para evaluar su equilibrio, la distribución de peso y el comportamiento del conjunto cuando la moto es montada sobre el sistema.



Los centros de gravedad han sido necesarios para considerar la masa de cada uno de ellos en la simulación. Esta masa será aplicada como masa remota y ubicada en el centro de gravedad de los elementos antes nombrados.

3.6.3. Mallado

Para el proceso de simulación FEM, el diseño se lo ha llevado a cabo bajo modelado de elementos superficiales en todo lo que corresponde a los perfiles estructurales y los elementos sólidos mismos previamente existentes. A los elementos superficiales se les ha dado el espesor correspondiente a los perfiles estructurales usado según corresponda.

El proceso de mallado se lo ha efectuado con malla para elementos de superficie o 2D y para elementos sólidos o 3D. A continuación, se muestran ciertas características de la malla.

La calidad de la malla es crucial para obtener resultados precisos en simulaciones. Una malla de buena calidad tendrá métricas dentro de rangos aceptables, representará correctamente la física del problema y capturará los detalles de la geometría. Es importante verificar las métricas y mejorar la malla si es necesario.

Para la validación de calidad de malla se utilizó el criterio “Element Quality”, el cual oscila entre 0 y 1, siendo 0 la calidad más baja (inaceptable) y 1 la más alta (excelente). Para el análisis de la estructura del remolque se obtuvo un valor promedio de 0,87 que indica que el mallado es muy bueno dando confiabilidad a los resultados de las simulaciones.



Figura 29 *Espectro de Métrica de Calidad de Malla.*

Skewness mesh metrics spectrum:



Orthogonal Quality mesh metrics spectrum:



Tomado de [72] Independencia de Malla en Tubos Torsionados para Intercambio de Calor

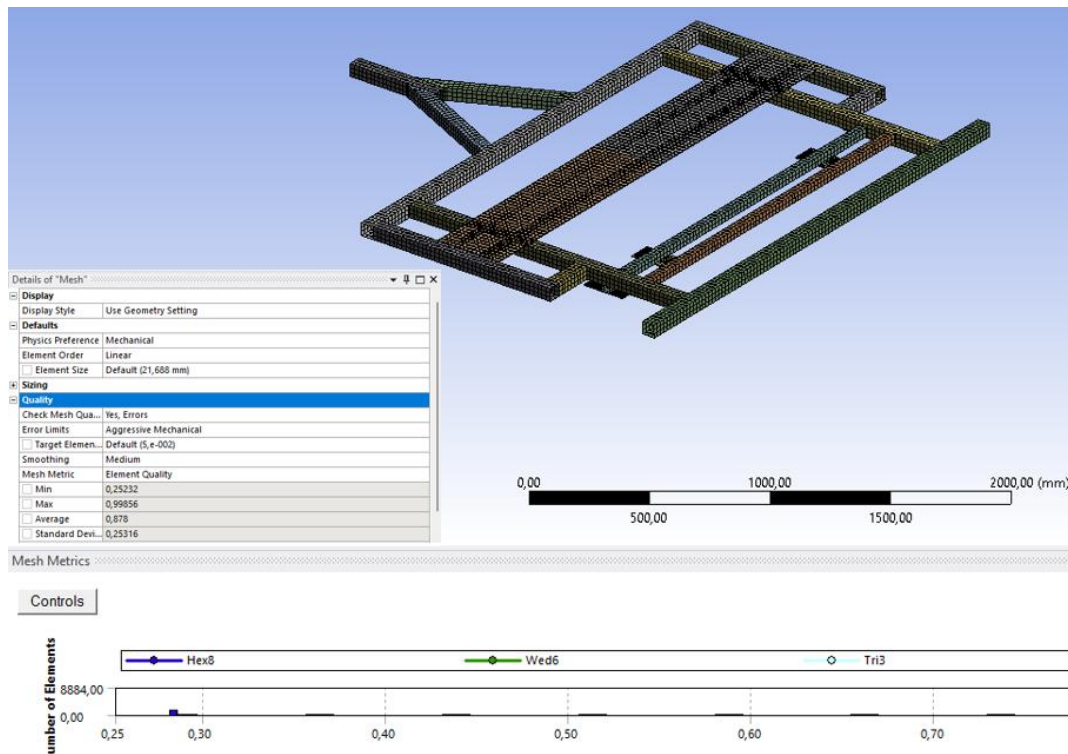
3.6.3.1. Calidad de malla del bastidor

- Tipo de malla: Malla mixta (Shell y solid mesh)
- Número total de nodos: 27677
- Número total de elementos: 11420

La malla mixta es un modelo numérico que utiliza simultáneamente elementos sólidos (solid elements) y elementos de cascarón o lámina (shell elements) dentro de un mismo análisis estructural. Este enfoque permite representar cada parte del modelo con el tipo de elemento que mejor se ajusta a su geometría y comportamiento mecánico.



Figura 30 Calidad de Malla del Bastidor



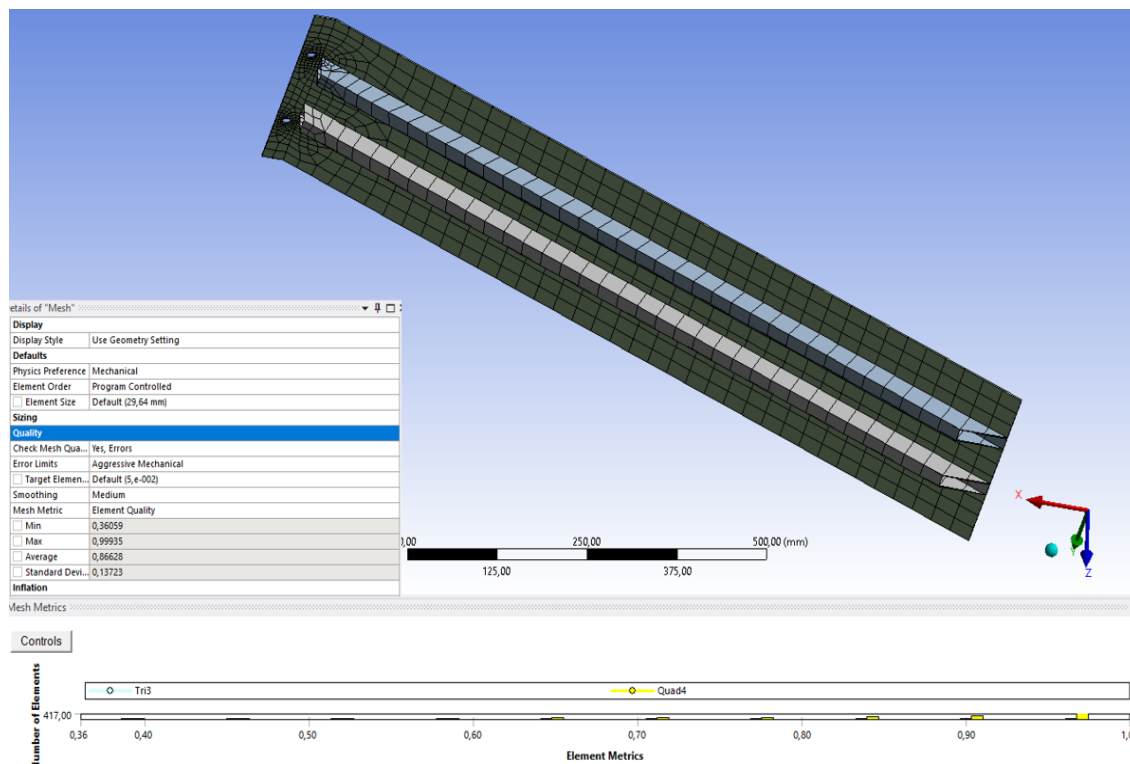
En la figura 30, se puede apreciar la calidad de malla obtenida para el diseño del bastidor objeto de análisis. Considerando el criterio de validación antes nombrado se tiene un valor promedio de 0.87 lo que se estaría dentro de un rango muy bueno dando confiabilidad a los resultados que en lo posterior se obtenga.

3.6.3.2. Calidad de Malla de la Rampa de Ascenso

- *Tipo de malla:* Malla mixta (Shell y solid mesh)
- Número total de nodos: 1142
- Número total de elementos: 1057



Figura 31 Calidad de Malla de la Rampa de Ascenso



En la figura 31, se puede apreciar la calidad de malla obtenida para el diseño del bastidor objeto de análisis. Considerando el criterio de validación antes nombrado se tiene un valor promedio de 0.86 lo que se estaría dentro de un rango muy bueno dando confiabilidad a los resultados que en lo posterior se obtenga.

3.6.4. Condiciones de Borde para Simulación Estático Estructural

3.6.4.1. Estructura del Bastidor

El primer análisis FEM que se ha llevado a cabo a la estructura del bastidor corresponde a un análisis estático estructural.

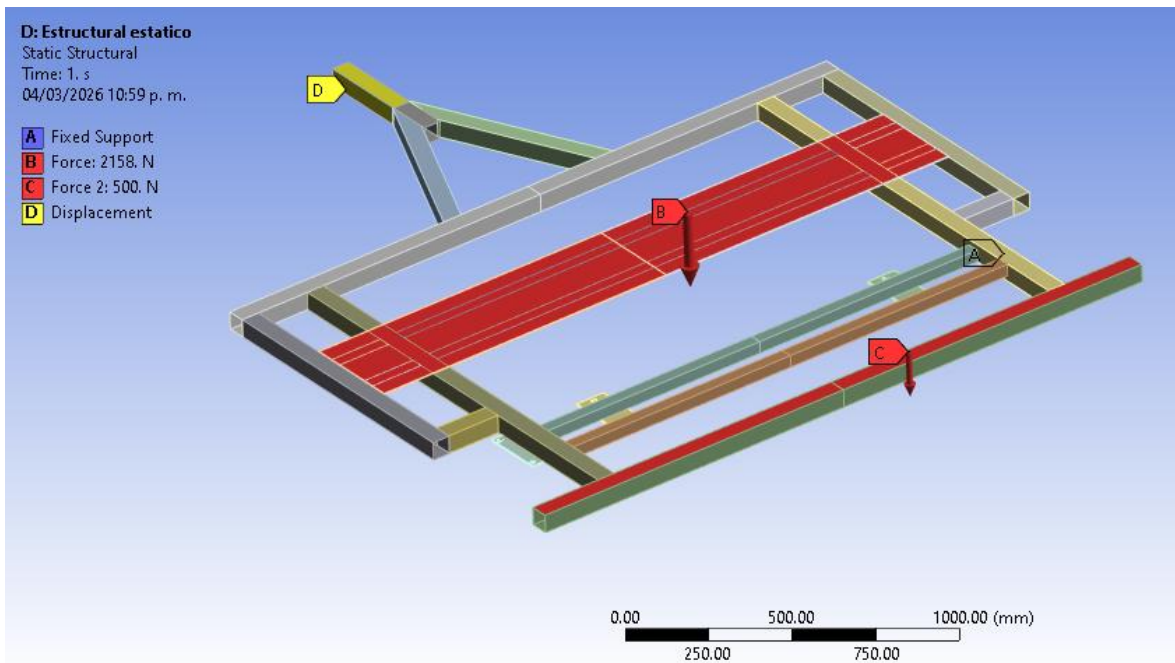
Las condiciones de borde ubicadas en esta simulación fueron:

**Cargas:**

- Peso sobre el piso: **2158N** (**2088 N** peso de la moto + **70N** peso del coche deslizante) vertical y hacia abajo.

Restricciones:

- Soporte de suspensión: Restringidos los desplazamientos en direcciones longitudinal, transversal y vertical.
- Acople para bola de arrastre: Restringidos los desplazamientos verticales y transversales, mientras que en el eje longitudinal queda libre.

Figura 32 Condiciones para la Simulación Estático Estructural del Bastidor del Remolque



En la figura 32 muestra la configuración de cargas y restricciones aplicadas al bastidor del remolque en ANSYS Mechanical, necesaria para ejecutar el análisis estructural mediante elementos finitos. Las cargas distribuidas y los puntos de apoyo permiten reproducir las condiciones reales de operación, evaluando la respuesta del bastidor ante esfuerzos y deformaciones. Esta etapa asegura que la simulación refleje con precisión el comportamiento del diseño y verifique su resistencia antes de proceder a su construcción.

3.6.4.2. Estructura de la Rampa de Ascenso

El análisis FEM que se ha llevado a cabo a la estructura de la rampa de ascenso corresponde a un análisis estático estructural.

Las condiciones de borde ubicadas en este ensayo fueron:

Cargas:

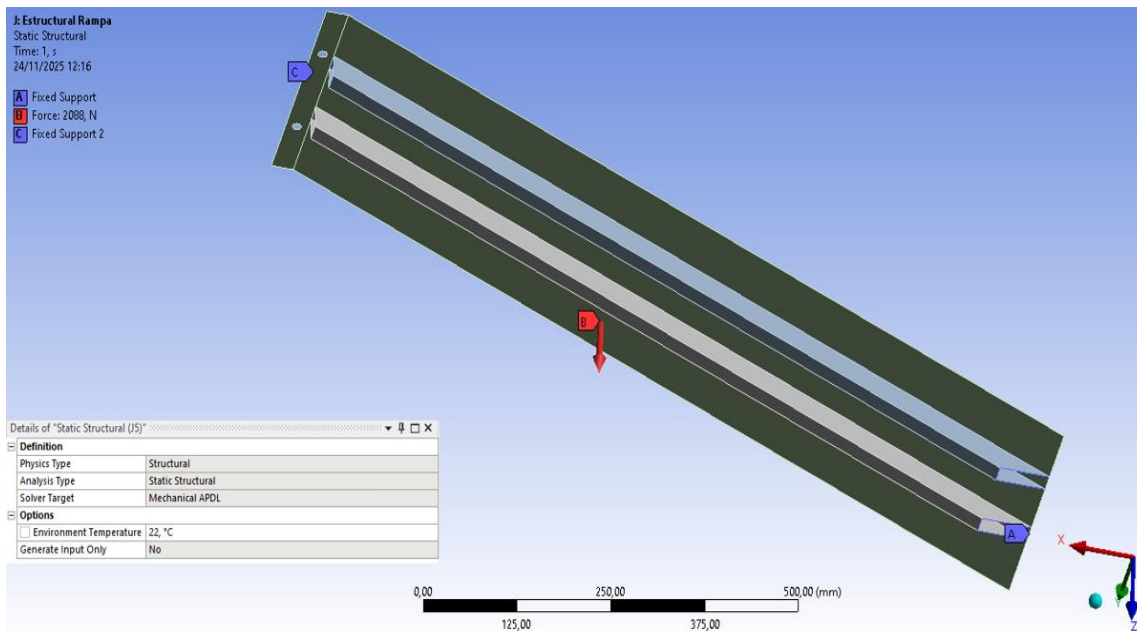
- Peso de la moto: **2088 N** vertical y hacia abajo.

Restricciones:

- Soporte de acoplamiento al bastidor del remolque y de apoyo al piso: Restringidos los desplazamientos en direcciones longitudinal, transversal y vertical.



Figura 33 Condiciones para el Ensayo Estático Estructural de la Rampa de Ascenso



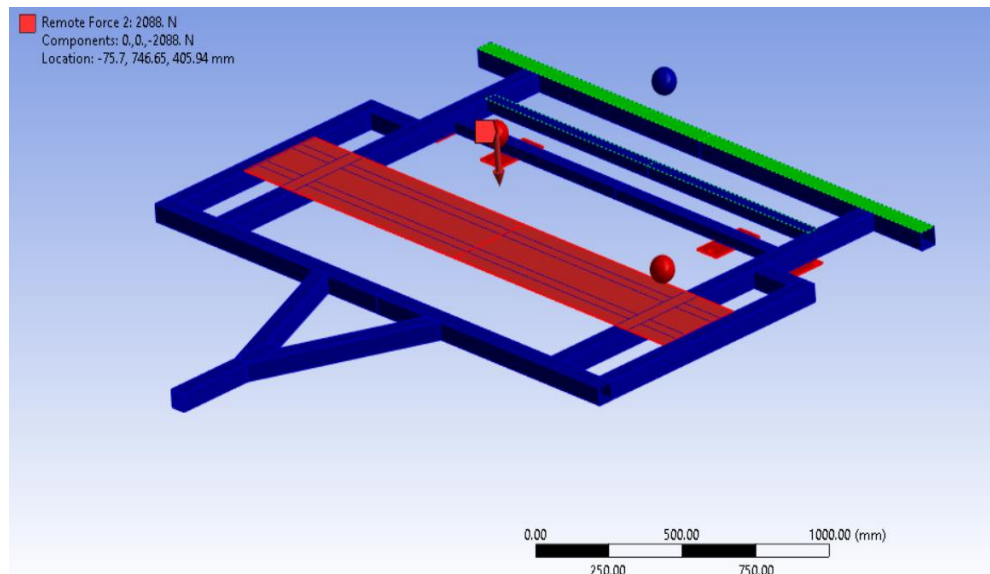
La figura 33 muestra el ingreso de las condiciones de borde para el análisis estructural de la rampa de ascenso, es decir, las restricciones y cargas. Los apoyos fijos representan los puntos de contacto con el remolque, mientras que la carga concentrada simula el peso de la motocicleta durante el proceso de subida. Este modelo permite evaluar el comportamiento estructural del elemento bajo condiciones reales de operación.

3.6.5. Condiciones de Borde Generales para Simulaciones Dinámicas

A continuación, se han llevado a cabo ciertas simulaciones dinámicas bajo tres escenarios siendo estos: aceleración, frenada brusca y paso por curva, con el fin de evaluar el comportamiento del bastidor para estos tipos de casos. Para este tipo de simulaciones se ha visto necesarios considerar la masa tanto de la moto y coche deslizante y será aplicada como fuerza remota en los centros de gravedad de cada uno de ellos.

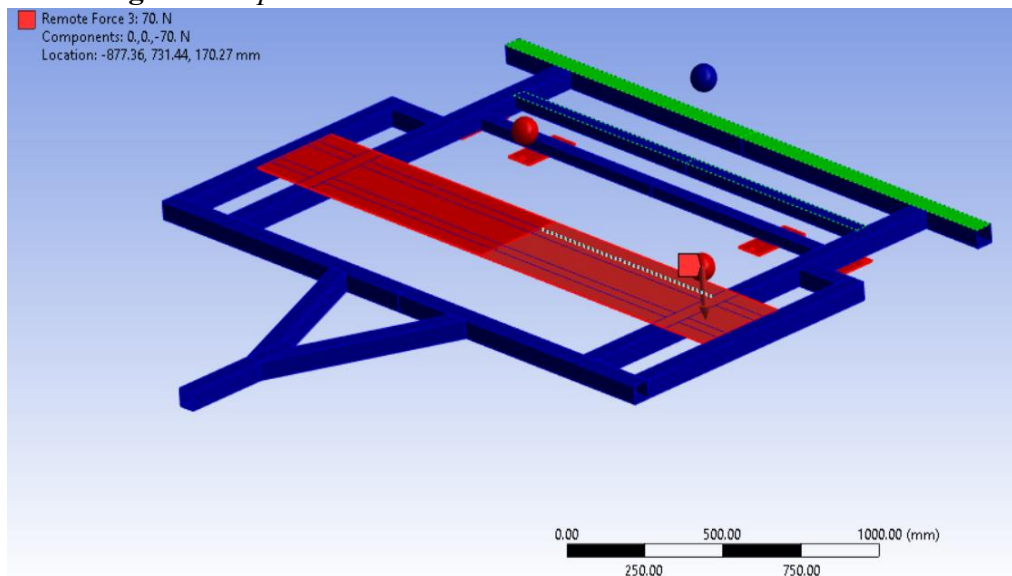


Figura 34 *Aplicación de la Fuerza Remota de la Motocicleta*



La figura 34 muestra la aplicación de la fuerza remota correspondiente a la motocicleta aplicado en su centro de gravedad.

Figura 35 *Aplicación de la Fuerza Remota del Coche Deslizante*



La figura 35 muestra la aplicación de la fuerza remota correspondiente al coche deslizante aplicado en su centro de gravedad.



3.6.5.1. Condiciones de Borde para Simulación de Aceleración

Las condiciones de borde ubicadas en esta simulación fueron:

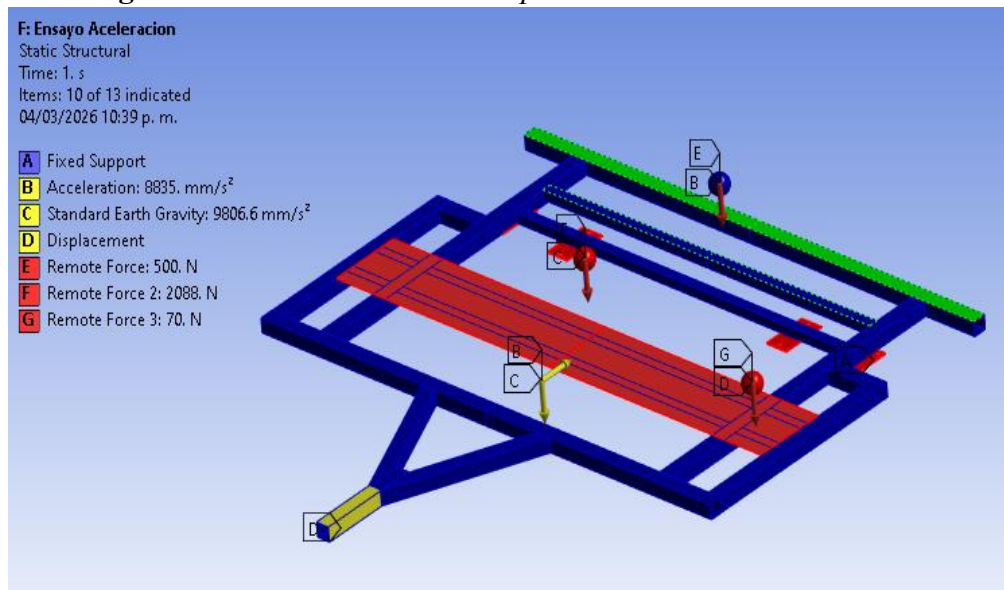
Cargas:

- Aceleración de la gravedad: $9,81 \text{ m/s}^2$ vertical y hacia abajo.
- Aceleración: $8,835 \text{ m/s}^2$ en dirección longitudinal y hacia atrás debido a las fuerzas de inercia en sentido opuesto a la aceleración de una partícula.

Restricciones:

- Soporte de suspensión: Restringidos los desplazamientos en direcciones longitudinal, transversal y vertical.
- Acople para bola de arrastre: Restringidos los desplazamientos verticales y transversales, mientras que en el eje longitudinal queda libre.

Figura 36 Condiciones de Borde para Simulación de Aceleración





En la figura 36 se muestra el ingreso de las condiciones de borde (restricciones y cargas) utilizadas para la simulación de aceleración aplicado al bastidor del remolque. El modelo incluye apoyos fijos que representan los puntos de anclaje al eje, así como la aplicación de una aceleración longitudinal equivalente a la experimentada durante un proceso de arranque brusco. También se incorpora la gravedad estándar y desplazamientos restringidos para replicar el comportamiento real del sistema.

Esta configuración permite evaluar la respuesta estructural del bastidor ante cargas dinámicas representativas, garantizando que el diseño pueda soportar las sollicitaciones generadas durante maniobras de aceleración.

3.6.5.2. Condiciones de Borde para Simulación de Frenada Brusca

Las condiciones de borde ubicadas en esta simulación fueron:

Cargas:

- Aceleración de la gravedad: **9,81 m/s^2** vertical y hacia abajo.
- Aceleración: **8,82 m/s^2** en dirección longitudinal y hacia adelante debido a las fuerzas de inercia en sentido opuesto a la aceleración de una partícula.

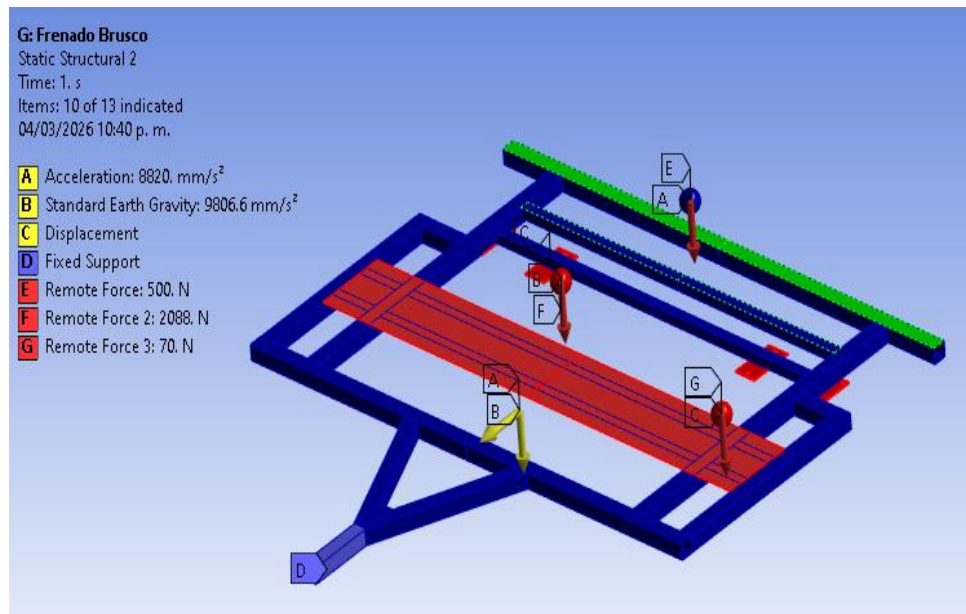
Restricciones:

- Acople para bola de arrastre: Restringidos los desplazamientos en direcciones longitudinal, transversal y vertical sobre los extremos del montaje del eje.



- Soporte de suspensión: Restringidos los desplazamientos verticales y transversales, mientras que en el eje longitudinal queda libre.

Figura 37 Condiciones de Borde para Simulación de Frenada Brusca



En la figura 37 se muestra el ingreso de las condiciones de borde (restricciones y cargas) empleadas para la simulación de frenada brusca aplicado al bastidor del remolque. El modelo incorpora apoyos fijos en la zona del acoplamiento, la acción de la gravedad y una aceleración negativa que simula la desaceleración súbita experimentada durante una frenada intensa. Asimismo, se restringen desplazamientos específicos para reproducir el comportamiento real del sistema.

Esta configuración permite evaluar la respuesta estructural del bastidor ante cargas dinámicas de frenado, verificando que la estructura soporte adecuadamente las sollicitaciones generadas sin comprometer su seguridad.



3.6.6. Condiciones de Borde para Simulación Paso por Curva

Las condiciones de borde ubicadas en esta simulación fueron:

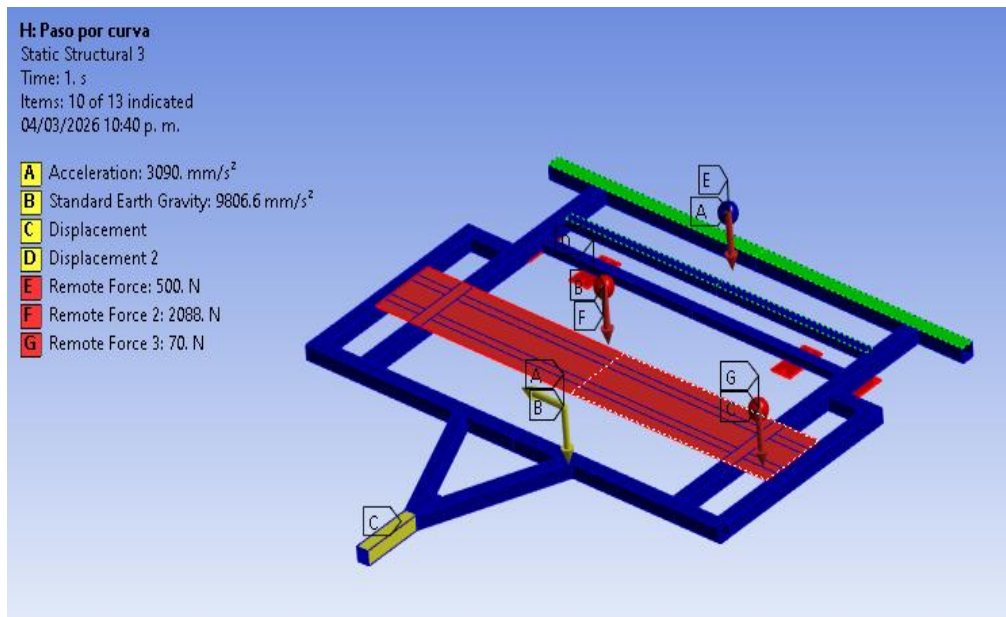
Cargas:

- Aceleración de la gravedad: $9,81 \text{ m/s}^2$ vertical y hacia abajo.
- Aceleración normal: $3,09 \text{ m/s}^2$ en dirección transversal.

Restricciones:

- Acople para bola de arrastre: Restringidos los desplazamientos en direcciones transversal y vertical, mientras que en el eje longitudinal queda libre.
- Soporte de suspensión: Restringidos los desplazamientos verticales y transversales, mientras que en el eje longitudinal queda libre.

Figura 38 Condiciones de Borde para Simulación de Paso por Curva



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

En la figura 38 se representan las condiciones de borde utilizadas para la simulación de paso por curva aplicado al bastidor del remolque. En este caso se aplica una aceleración lateral que simula la fuerza centrífuga generada durante la maniobra, junto con la acción de la gravedad y restricciones específicas de desplazamiento para reproducir el comportamiento real del sistema. Asimismo, se mantienen apoyos fijos en la zona del acoplamiento, garantizando una correcta transferencia de cargas.

Esta configuración permite evaluar cómo responde la estructura ante sollicitaciones transversales propias de un giro, verificando la estabilidad del bastidor y asegurando que el diseño pueda soportar las cargas laterales sin comprometer su integridad.



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Determinación Medidas Remolque

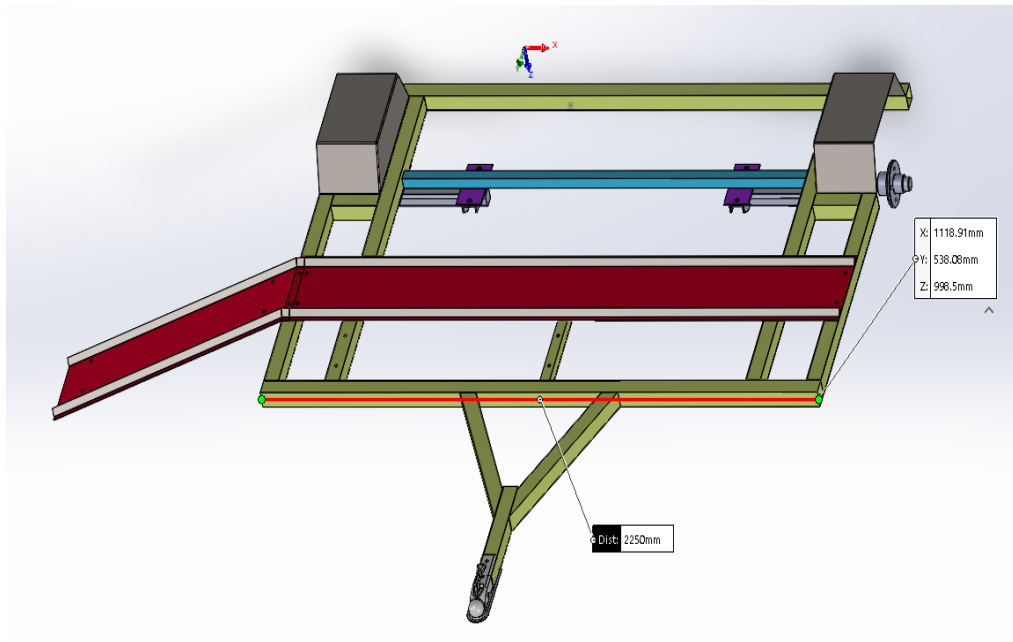
El diseño del remolque constituye una etapa fundamental del proyecto, ya que de él dependen la seguridad estructural, la estabilidad dinámica y la funcionalidad del sistema durante su operación. En este apartado se definen los criterios técnicos y normativos que rigen la configuración geométrica, la selección de materiales y la distribución de cargas del remolque, considerando las condiciones reales de uso y las sollicitaciones mecánicas a las que estará sometido.

4.1.1. Determinación Ancho Total Remolque

En la Figura 39 se presenta la vista superior frontal del remolque, donde la línea roja indica el ancho total del remolque, medido de manera transversal al eje longitudinal del chasis. Esta dimensión corresponde a la distancia entre los extremos laterales del bastidor principal, considerando la estructura portante y excluyendo elementos sobresalientes no estructurales. El ancho determinado mediante el modelo CAD es de **2250 mm**, valor que ha sido definido en función de la estabilidad lateral del remolque, la correcta distribución de cargas y el espacio requerido para la disposición de los componentes mecánicos y estructurales.



Figura 39 Determinación Ancho Remolque



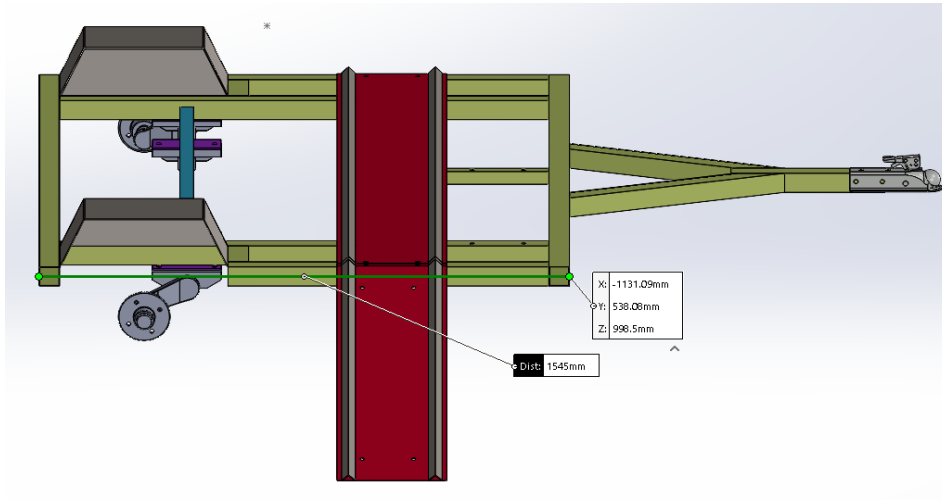
4.1.2. Determinación Longitud Total Remolque

En la Figura 40 se muestra la vista lateral del remolque diseñado, donde la línea verde representa la longitud efectiva del remolque, medida en el sentido longitudinal de la estructura principal. Esta longitud corresponde a la distancia entre el extremo posterior del bastidor y el punto frontal del chasis previo al inicio del sistema de enganche, excluyendo el dispositivo de acople.

El valor obtenido para esta dimensión es de **1545 mm**, tal como se indica en la medición del modelo CAD. Esta longitud ha sido definida considerando criterios de estabilidad, distribución de cargas y maniobrabilidad del remolque durante su operación.



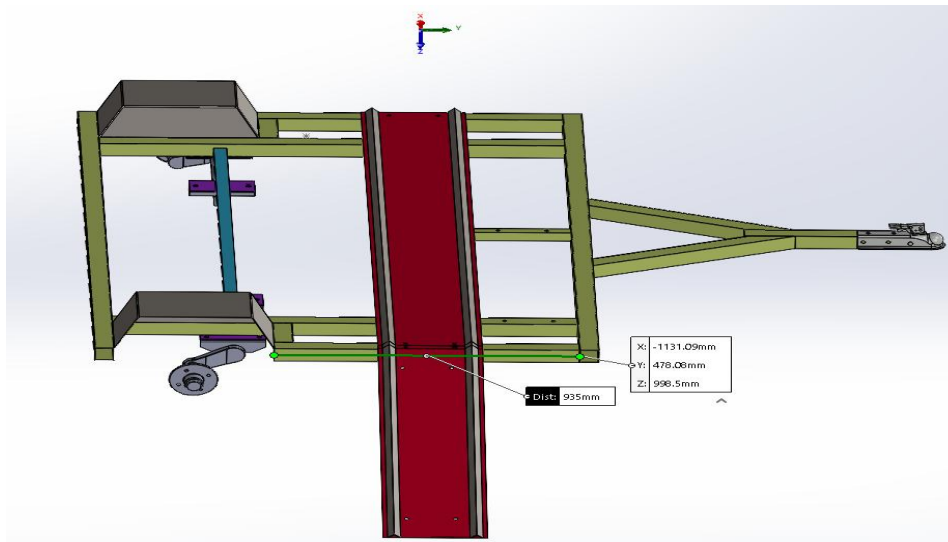
Figura 40 Determinación Longitud Total Remolque



4.1.3. Determinación Larguero de Bastidor

Como se observa en la Figura 41, el bastidor incorpora un refuerzo longitudinal, cuya dimensión característica es de **935 mm**, el cual contribuye a mejorar la rigidez estructural y la distribución de cargas en la zona inferior del remolque.

Figura 41 Determinación Larguero del Remolque



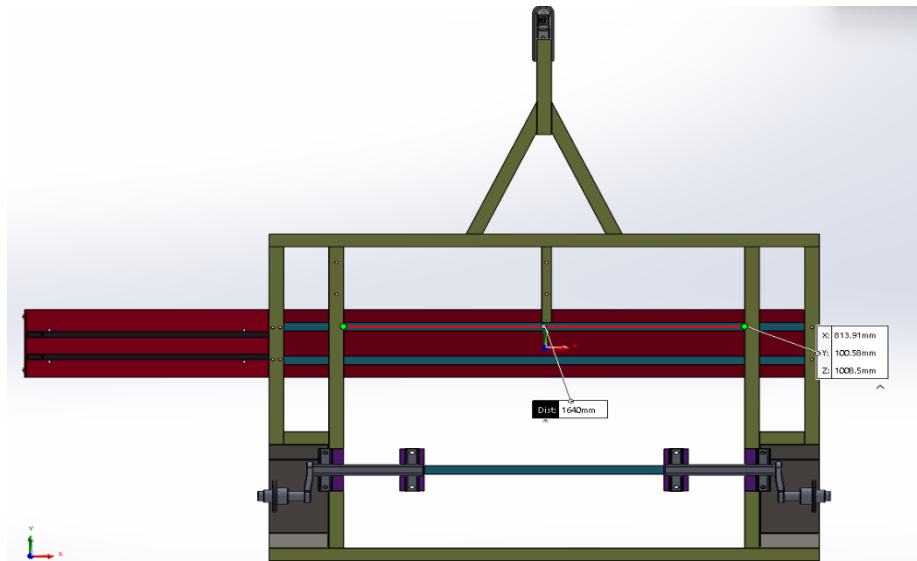


4.1.4. Determinación Travesaño de Bastidor

En la Figura 42 se presenta el refuerzo transversal incorporado al bastidor del remolque, cuya dimensión característica es de **1640 mm**. Este elemento cumple una función estructural fundamental, ya que incrementa la rigidez del conjunto y contribuye a una distribución más uniforme de las cargas transmitidas al bastidor principal.

La incorporación de este refuerzo permite reducir deformaciones por flexión y torsión, especialmente bajo condiciones de carga dinámica, mejorando el comportamiento estructural del remolque durante su operación

Figura 42 Determinación Travesaños del Remolque



4.1.5. Determinación Anclaje Remolque

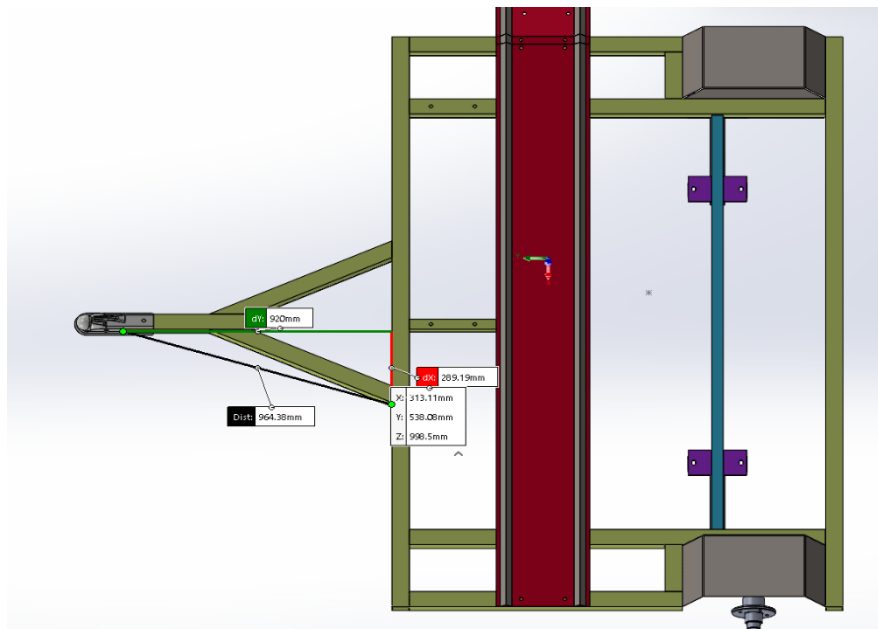
En la Figura 43 se muestra el sistema de anclaje del remolque, donde se aprecia la disposición de los tubos de tiro en configuración en V. La distancia efectiva entre dichos tubos, indicada mediante



la línea de referencia, es de aproximadamente **964 mm**, dimensión que ha sido definida con el objetivo de mejorar la estabilidad estructural y la distribución de esfuerzos transmitidos desde el vehículo tractor hacia el bastidor del remolque.

Esta separación permite reducir concentraciones de esfuerzo en la zona de anclaje, incrementa la rigidez frente a cargas de tracción, frenado y torsión, y contribuye a un comportamiento más estable del remolque durante su operación, especialmente en condiciones de carga dinámica y maniobras de giro.

Figura 43 *Determinación Sistema de Anclaje del remolque*



4.1.6. Comparación Medidas Reales vs Normativas

Una vez establecidas las dimensiones finales y la capacidad de carga de la estructura, es indispensable comprobar que el diseño no solo sea funcional y seguro, sino también



completamente legal para circular. Para garantizar la viabilidad del proyecto, se procedió a contrastar los datos geométricos y de peso obtenidos en el modelo con las exigencias viales vigentes.

Tabla 8 *Comparativa de las Medidas Reales vs Normativas*

Parámetros	Normativa Europea (Directiva 96/53/CE)	Normativa Ecuatoriana (MTOPE / ANT)	Remolque Propuesto
Longitud máxima (m)	12	10	1.75
Altura Máxima (m)	4	4.10	1
Ancho Máximo (m)	2.55	2.60	2.25
Peso Máximo Permitido (kg)	10000	11000	300
Peso Bruto Vehicular (kg)	40000	42000	500

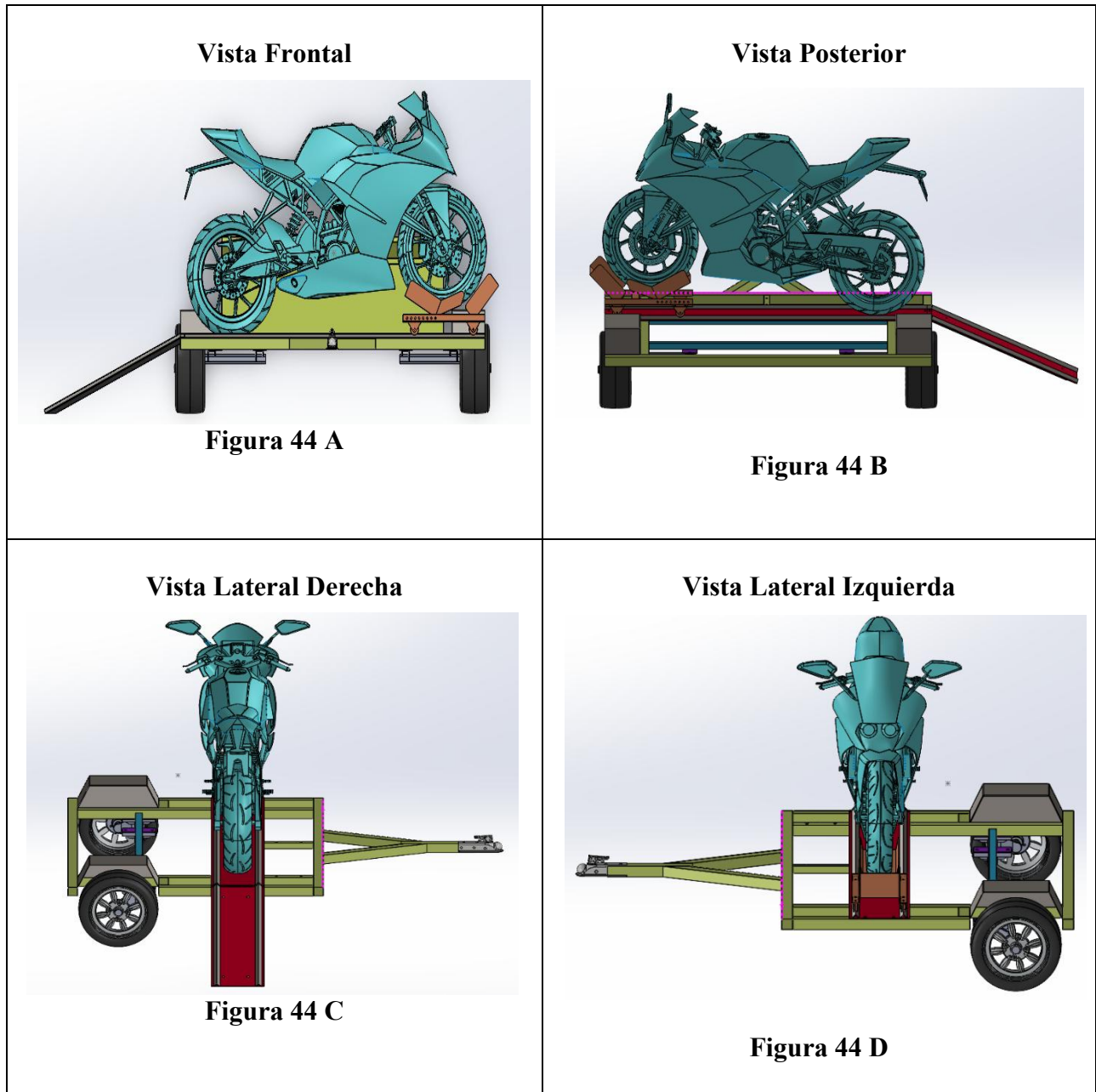
Para este análisis se tomó en cuenta la normativa ecuatoriana (regulada por el MTOPE y la ANT), asegurando así su aplicabilidad a nivel nacional. De igual manera, se utilizó la directiva europea (96/53/CE) como un referente internacional de alta exigencia. Contrastar nuestra propuesta con estos reglamentos nos permite confirmar que el prototipo se mantiene dentro de los márgenes permitidos, evitando problemas de sobredimensionamiento o exceso de peso que puedan comprometer la maniobrabilidad y la seguridad en las vías.

4.1.7. Diseño Final Remolque

La Figura 44 corresponde a las vistas frontal, posterior y laterales del remolque permiten evaluar de manera integral la configuración geométrica, la distribución de cargas y la funcionalidad del sistema de transporte transversal de motocicletas. A partir del modelo tridimensional se obtienen los siguientes resultados.



Figura 44 Vistas Diseño Remolque



- **En la vista frontal:** Se observa en la (Figura 44 A) que la motocicleta queda posicionada de forma transversal y centrada respecto al eje del remolque. Este resultado evidencia que



el centro de masa de la carga se mantiene cercano al eje, lo cual contribuye a una distribución equilibrada de cargas y a la reducción de esfuerzos torsionales en la estructura.

- **En la vista posterior:** En la (Figura 44 B), se aprecia la continuidad estructural del chasis, evidenciando una transmisión adecuada de las cargas hacia el eje y las ruedas.
- **En la vista lateral derecha:** Se verifica en la (Figura 44 C), que la rampa de carga se encuentra alineada con la plataforma del remolque, permitiendo un acceso directo y seguro para el ascenso y descenso de la motocicleta. El resultado obtenido confirma que la altura de la plataforma es adecuada, facilitando la operación sin comprometer la estabilidad estructural.
- **En la vista lateral izquierda:** Se observa en la (Figura 44 D), la simetría del diseño y la correcta alineación de los componentes estructurales. Se observa que el sistema de rampa, el guardafango y el bloqueo de la llanta delantera de la motocicleta, mantienen una relación geométrica adecuada, garantizando protección y funcionalidad durante la operación del remolque.

4.2. Resultados Correspondientes A La Estructura Del Remolque

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis estructural del remolque, con el fin de evaluar su comportamiento frente a las distintas condiciones operativas a las que será sometido durante su uso real. Los ensayos desarrollados permiten identificar la distribución de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad bajo cargas estáticas y dinámicas, proporcionando una visión integral del desempeño del diseño.



4.2.1. Simulación Estático Estructural

El análisis estático estructural permitirá determinar el comportamiento del remolque cuando se encuentra sometido a cargas fijas y constantes, tales como su propio peso y el peso de la motocicleta transportada. Esta simulación proporciona información fundamental sobre la distribución de esfuerzos, deformaciones y zonas críticas del bastidor, garantizando que la estructura mantenga su integridad bajo condiciones de uso normal. Los resultados obtenidos permiten verificar si el diseño cumple con los niveles de resistencia requeridos para operar con seguridad.

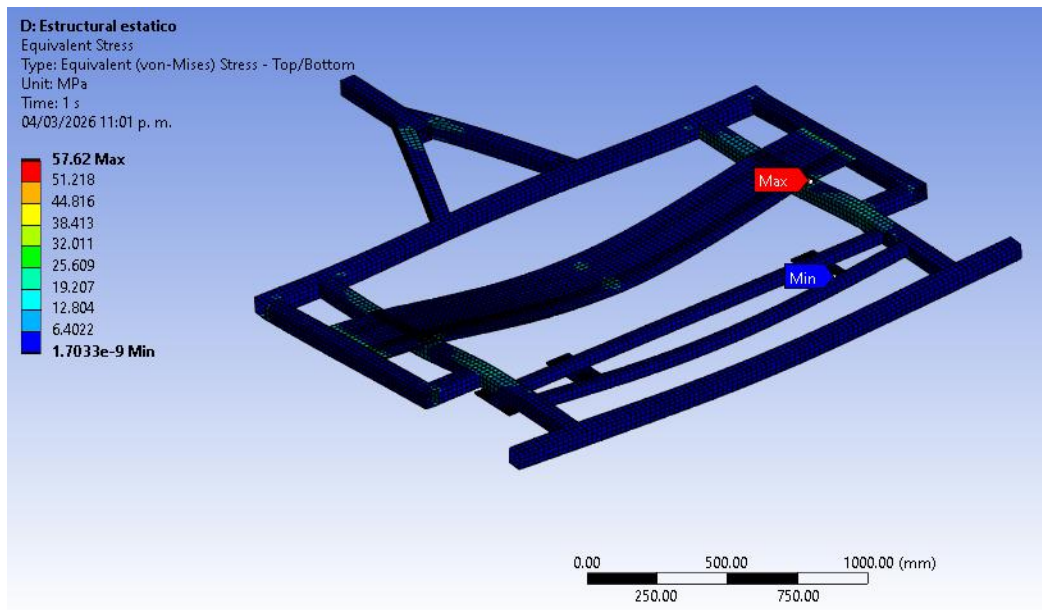
4.2.1.1. Esfuerzo de Von Mises

En la figura 45 se presenta el resultado del análisis de esfuerzos equivalentes (Von Mises) aplicado al bastidor del remolque mediante ANSYS Mechanical. La distribución de colores permite identificar las zonas sometidas a mayor sollicitación, alcanzando un valor máximo de **58,62 MPa**.

Considerando que el bastidor será fabricado con acero ASTM A500 Grado C, cuyo límite elástico es de 315 MPa, los esfuerzos obtenidos representan menos del 18 % de la capacidad resistente del material, indicando que la estructura trabaja muy por debajo de su límite de fluencia y posee un margen adecuado frente a fallas por esfuerzos combinados. En conjunto, el análisis confirma que el diseño del bastidor es estructuralmente seguro y capaz de soportar las cargas aplicadas en las condiciones de operación evaluadas.



Figura 45 Esfuerzo de Von Mises en la Simulación Estático Estructural

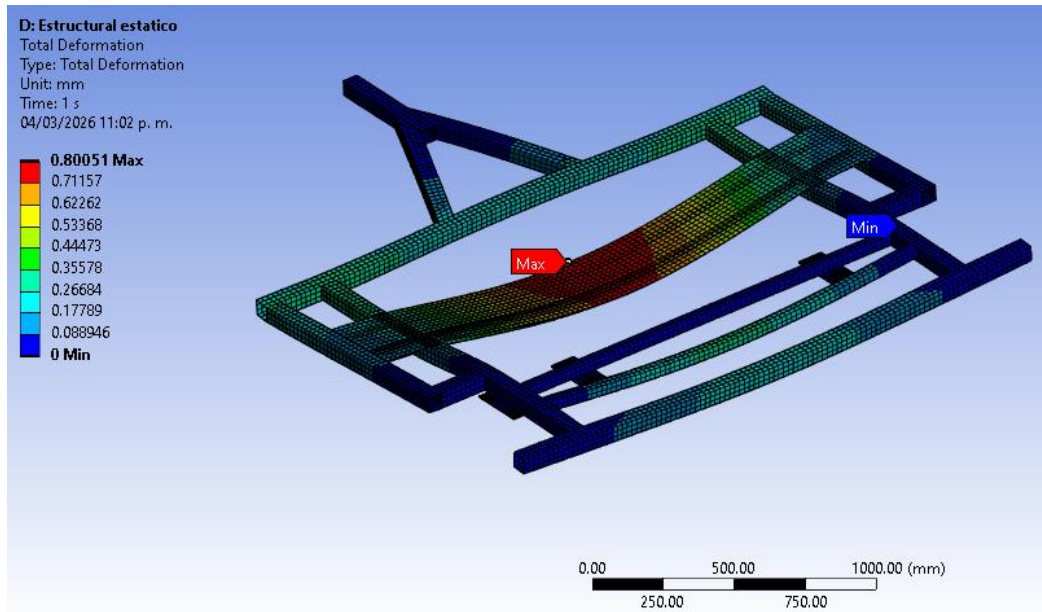


4.2.1.2. Deformación Máxima

En la figura 46 se presenta el análisis de deformación máxima del bastidor, realizado mediante ANSYS Mechanical bajo las condiciones de carga establecidas. La distribución de colores evidencia que la deformación máxima registrada es de aproximadamente **0,80 mm**, Esta zona corresponde a la parte media de la plancha sólida en donde se alojaría la motocicleta, donde se concentran las mayores sollicitaciones. Este valor es extremadamente bajo en relación con las dimensiones generales del bastidor, lo que refleja una elevada rigidez estructural.



Figura 46 Deformación Total en la Simulación Estático Estructural

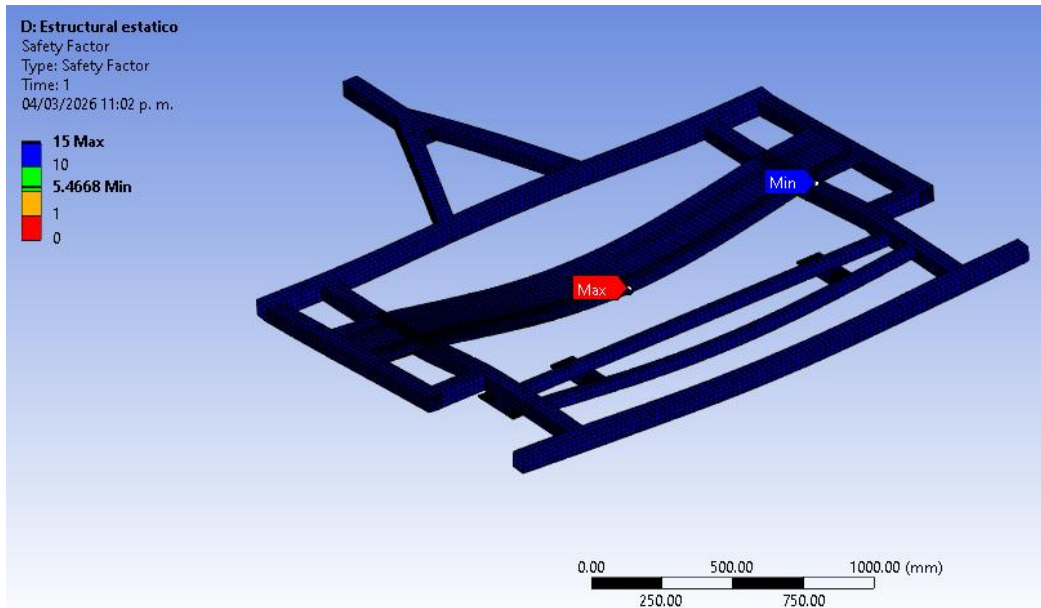


4.2.1.3. Factor de Seguridad

En la figura 47 se muestra el análisis del factor de seguridad del bastidor del remolque obtenido en ANSYS Mechanical. El mapa de colores indica que el factor de seguridad mínimo es de aproximadamente **5.46** lo que corresponde a un diseño seguro para las cargas al cual está siendo sometido. Concentrado en las zonas de unión más solicitadas, mientras que el resto de la estructura presenta valores superiores. Por lo tanto, se confirma que la estructura trabaja con un margen de seguridad amplio frente a la fluencia del material bajo las condiciones de carga evaluadas.



Figura 47 Factor de Seguridad en la Simulación Estático Estructural



4.2.2. Simulación de Aceleración

La simulación de aceleración evalúa la respuesta estructural del remolque ante las fuerzas dinámicas generadas cuando el vehículo remolcador acelera. Durante esta prueba se analiza la aparición de cargas inerciales que actúan sobre el bastidor y los puntos de anclaje, identificando posibles concentraciones de esfuerzo, lo que permite determinar si la estructura soporta adecuadamente sin comprometer la estabilidad del conjunto.

4.2.2.1. Esfuerzo de Von Mises

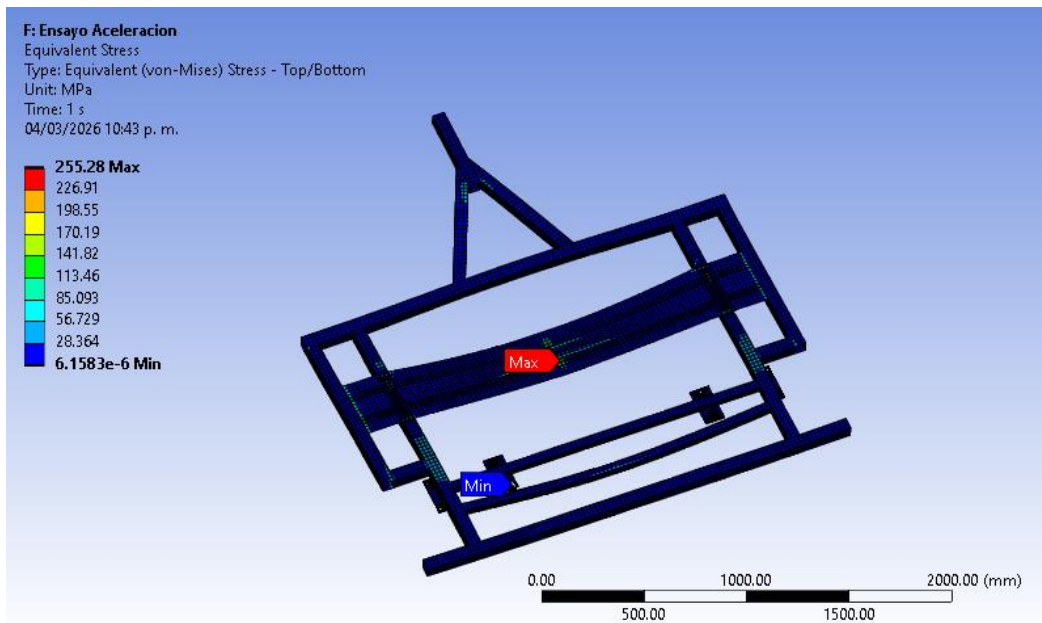
En la figura 48 se presentan los resultados del análisis del esfuerzo de Von Mises correspondiente a la simulación de aceleración aplicado al bastidor del remolque. El campo de colores permite identificar que el esfuerzo máximo alcanza **255,28 MPa**, localizado en zonas específicas sometidas a mayor sollicitación durante la maniobra de arranque. Cabe recalcar que este valor es alto debido



a la condición extrema de aplicar una aceleración elevada de $8,835 \text{ m/s}^2$ que difícilmente se produciría.

Considerando que el material del bastidor es ASTM A500 Grado C, con un límite elástico de 315 MPa, los esfuerzos registrados representan alrededor del 67 % de su capacidad resistente, manteniéndose por debajo del valor de fluencia del material. Esto indica que, aunque el estado de carga durante la aceleración genera condiciones más exigentes que otros casos evaluados, la estructura continúa operando dentro de un rango seguro.

Figura 48 Esfuerzo de Von-Mises en la Simulación de Aceleración



4.2.2.2. Deformación Máxima

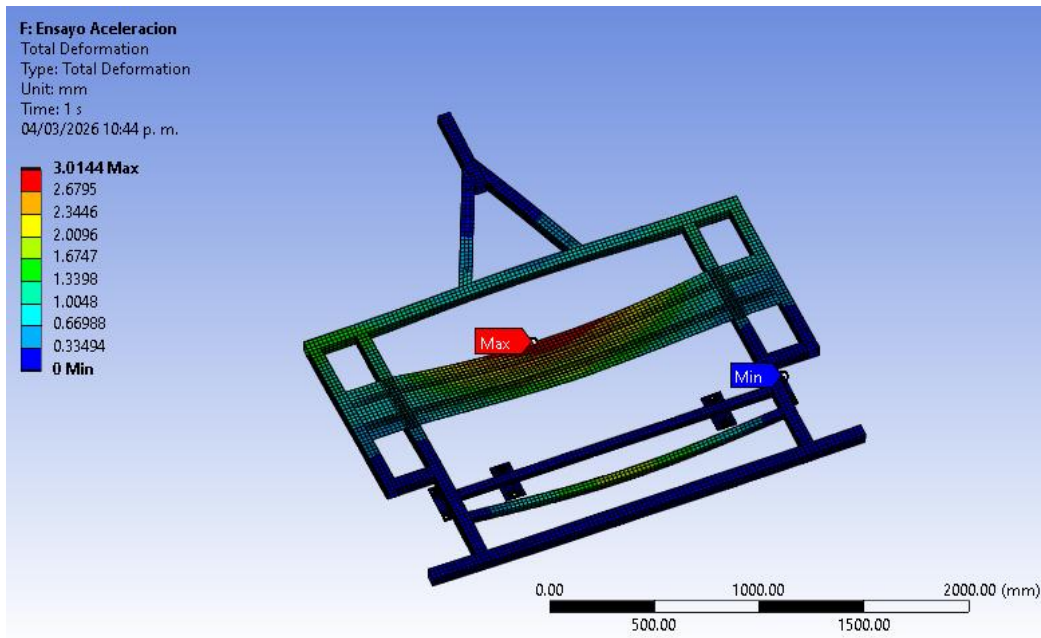
En la figura 49 se muestra el análisis de deformación máxima correspondiente a la simulación de aceleración aplicado al bastidor del remolque. La escala de colores indica que la deformación



máxima alcanza un valor de **3.01 mm**. Esta zona corresponde a la parte media de la plancha sólida en donde se alojaría la moto.

A pesar de tratarse del escenario más exigente en términos de desplazamiento, este valor sigue siendo reducido en comparación con las dimensiones de la estructura, lo que evidencia una buena rigidez del conjunto. En combinación con los esfuerzos obtenidos y la resistencia del material ASTM A500 Grado C, la deformación registrada confirma que el bastidor se comporta de manera segura y estable bajo las condiciones dinámicas de aceleración analizadas.

Figura 49 Deformación máxima en la Simulación de Aceleración



4.2.2.3. Factor de Seguridad

En la figura 50 se presenta el análisis del factor de seguridad correspondiente a la simulación de aceleración aplicado al bastidor del remolque. El mapa de colores muestra que el valor mínimo

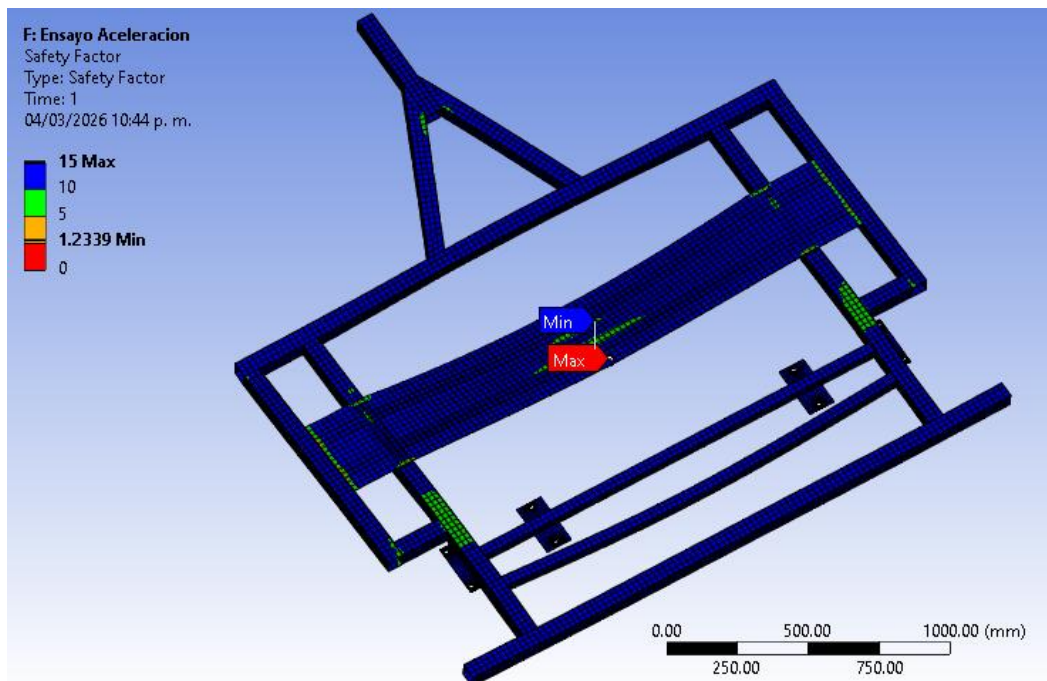


obtenido es **1,2**, localizado en la zona central donde los esfuerzos son más elevados durante la maniobra de arranque. Este factor de seguridad nos indica que soportaría la aceleración brusca de $8,835 \text{ m/s}^2$ que como lo había dicho antes sería un caso extremo y difícil de suceder.

Aunque este escenario representa la condición más exigente, el factor de seguridad se mantiene por encima del límite crítico de 1, lo que indica que la estructura no alcanza su límite de falla.

Estos resultados confirman que, incluso bajo aceleraciones severas, el diseño conserva un margen mínimo de resistencia que evita la deformación permanente del material.

Figura 50 Factor de seguridad en la Simulación de Aceleración





4.2.3. Simulación de Frenada Brusca

La simulación de frenada brusca permite evaluar el comportamiento estructural del remolque cuando se somete a una desaceleración repentina, situación en la que las cargas inerciales se incrementan significativamente. Este análisis es esencial para identificar las zonas sometidas a mayores sollicitaciones y asegurar que la estructura mantenga su rigidez y estabilidad durante maniobras de emergencia. Los resultados obtenidos permiten verificar que el remolque puede resistir frenadas fuertes sin fallas estructurales.

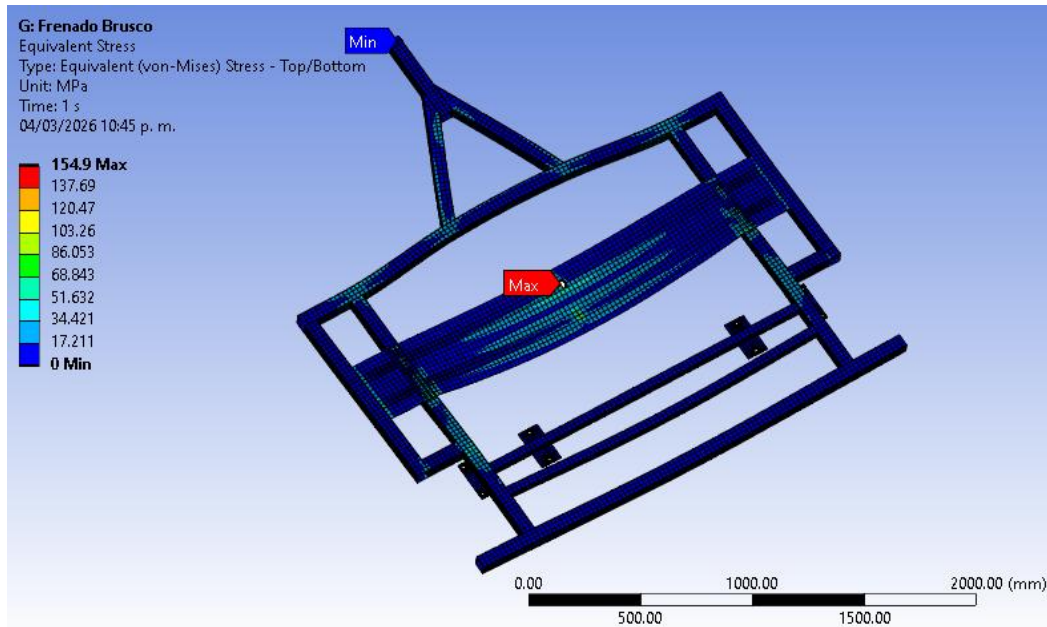
4.2.3.1. Esfuerzo de Von Mises

En la figura 51 se muestran los resultados del análisis de esfuerzo equivalente de Von-Mises para la simulación de frenada brusca aplicado al bastidor del remolque. El mapa de colores revela que el esfuerzo máximo alcanza **154.9 MPa**, concentrado en la zona central del bastidor donde se generan las mayores sollicitaciones durante la desaceleración súbita.

Aunque este valor es significativo, se mantiene por debajo del límite elástico del acero ASTM A500 Grado C (315 MPa), representando alrededor del 50 % de su capacidad resistente. Esto indica que la estructura no alcanza condiciones de fluencia y que el bastidor conserva un margen de seguridad adecuado bajo cargas asociadas a un frenado intenso, garantizando la integridad del diseño durante esta maniobra crítica.



Figura 51 Esfuerzo de Von-Mises en la Simulación de Frenada Brusca



4.2.3.2. Deformación Máxima

En la figura 52 se presenta el análisis de deformación máxima del bastidor durante la simulación de frenada brusca. La distribución de colores muestra que la deformación máxima alcanza un valor de **2.64 mm**, localizada en la zona central del bastidor. Esta área corresponde al sector central de la plancha sólida donde se ubicaría la motocicleta.

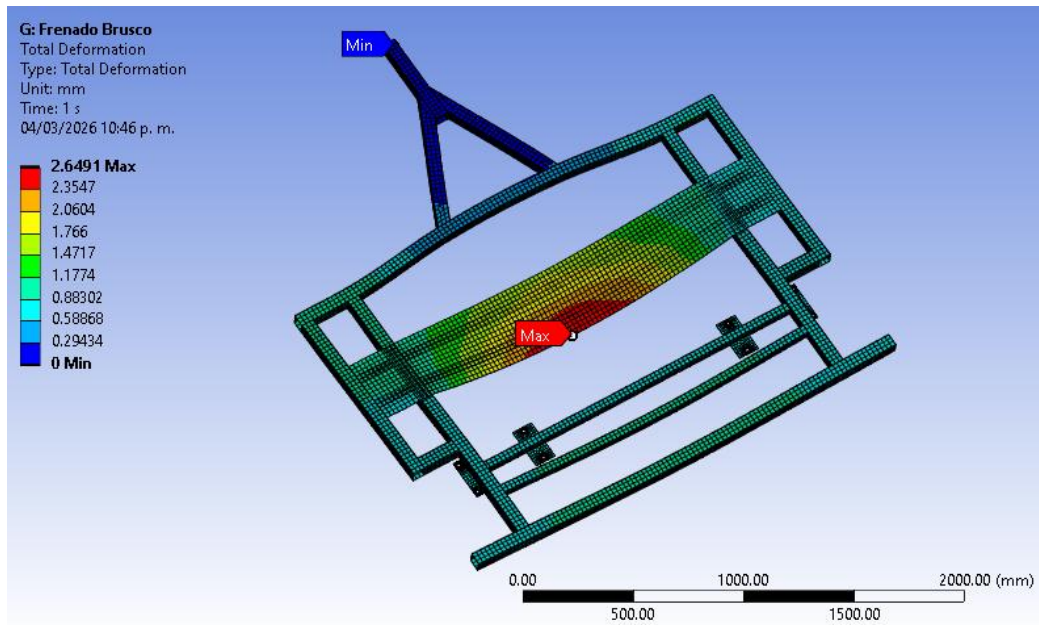
A pesar de tratarse de un escenario de carga severa, el desplazamiento registrado es reducido en comparación con las dimensiones globales de la estructura, lo que refleja una adecuada rigidez del diseño.

Considerando que el bastidor está fabricado en acero ASTM A500 Grado C y que los esfuerzos asociados a este caso se mantienen por debajo del límite elástico del material, la deformación



obtenida confirma que la estructura conserva su comportamiento elástico y opera de manera segura durante una frenada intensa.

Figura 52 Deformación máxima en la Simulación de Frenada Brusca



4.2.3.3. Factor de Seguridad

En la figura 53 se muestra el análisis del factor de seguridad correspondiente a la simulación de frenada brusca aplicado al bastidor del remolque. El mapa de colores indica que el valor mínimo registrado es **2.03** ubicado en la zona central donde se generan los mayores esfuerzos durante la desaceleración repentina.

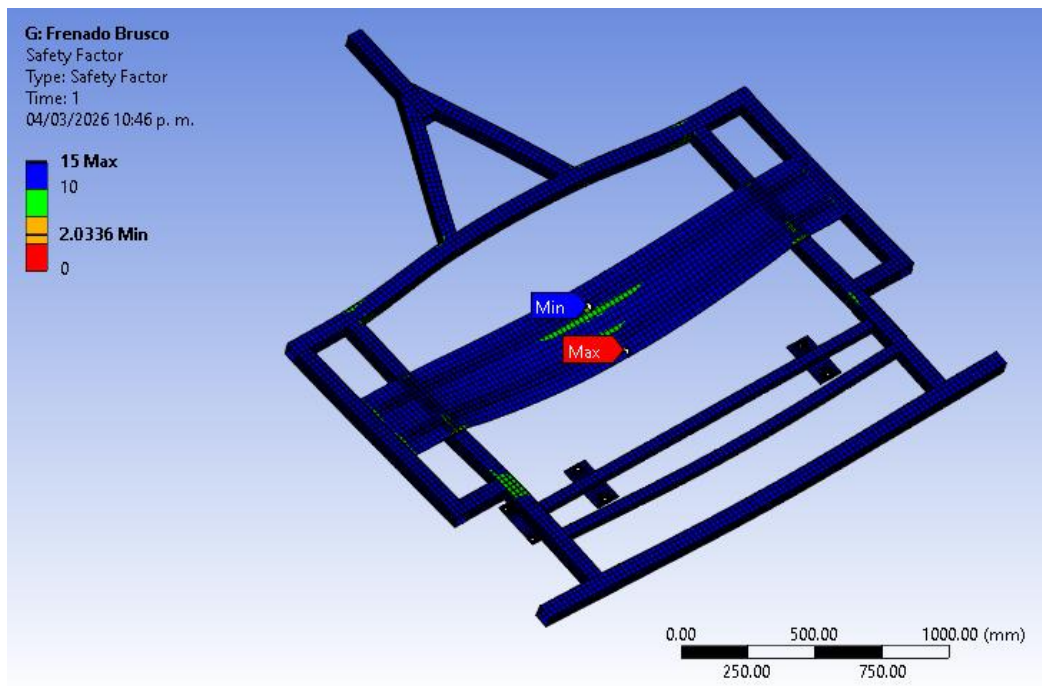
Aunque este caso representa una condición de carga severa, el factor de seguridad permanece por encima del límite crítico de 1, lo que confirma que la estructura no alcanza la fluencia del material.

Dado que el bastidor está fabricado con acero ASTM A500 Grado C, cuyo límite elástico es de



315 MPa, y que los esfuerzos máximos obtenidos en este ensayo rondan los 173 MPa, se verifica que la estructura conserva un margen de resistencia adecuado.

Figura 53 Factor de seguridad en la Simulación de Frenada Brusca



4.2.4. Simulación de Paso por Curva

La simulación de paso por curva analiza la resistencia del remolque frente a las fuerzas laterales generadas durante el giro del conjunto vehicular. Estas sollicitaciones provocan esfuerzos de torsión y flexión en la estructura, por lo que su evaluación es fundamental para determinar la estabilidad y el comportamiento dinámico del remolque en maniobras reales. Los resultados de este análisis permiten comprobar si el diseño soporta adecuadamente las cargas transversales sin comprometer la seguridad del transporte.

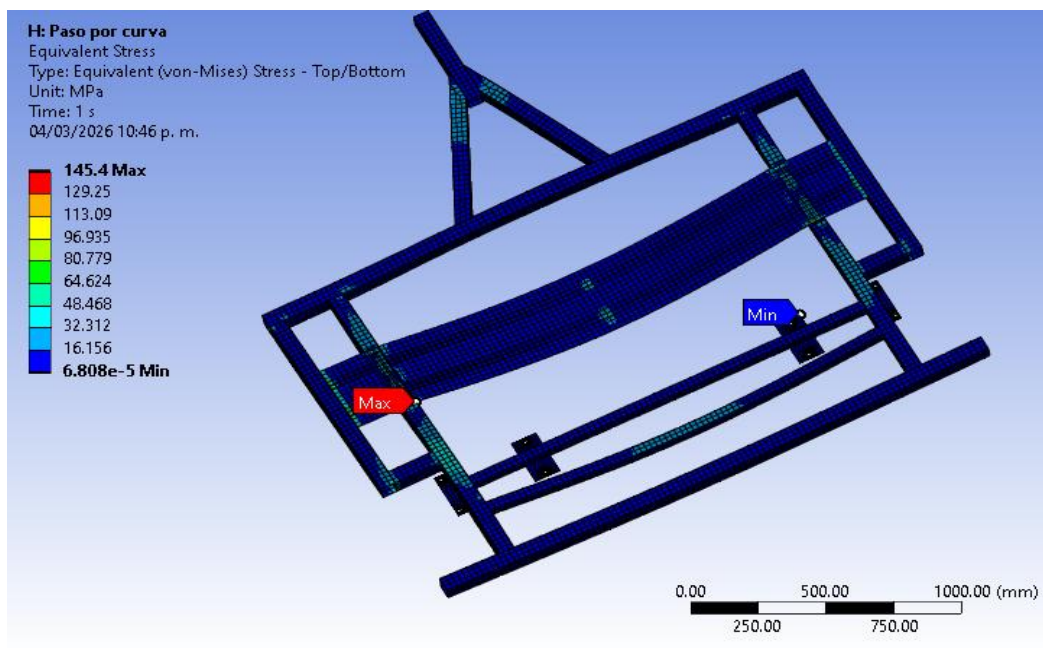


4.2.4.1. Esfuerzo de Von Mises

En la figura 54 se presentan los resultados del análisis de esfuerzo equivalente de Von-Mises correspondiente a la simulación de paso por curva hacia la derecha. La distribución de colores muestra que el esfuerzo máximo alcanza **145.4 MPa**, localizado en la zona lateral izquierda del bastidor, donde se concentran las solicitaciones debido a la acción de la aceleración lateral propia del giro.

Este valor representa alrededor del 23 % del límite elástico del acero ASTM A500 Grado C (315 MPa), lo que indica que la estructura opera con un margen de seguridad amplio y sin riesgo de alcanzar la fluencia del material. En consecuencia, el bastidor mantiene un comportamiento estable bajo las cargas transversales generadas durante la maniobra de curva, confirmando la resistencia y adecuación del diseño para este tipo de solicitaciones.

Figura 54 Esfuerzo de Von-Mises en la Simulación de Paso por Curva a la Derecha



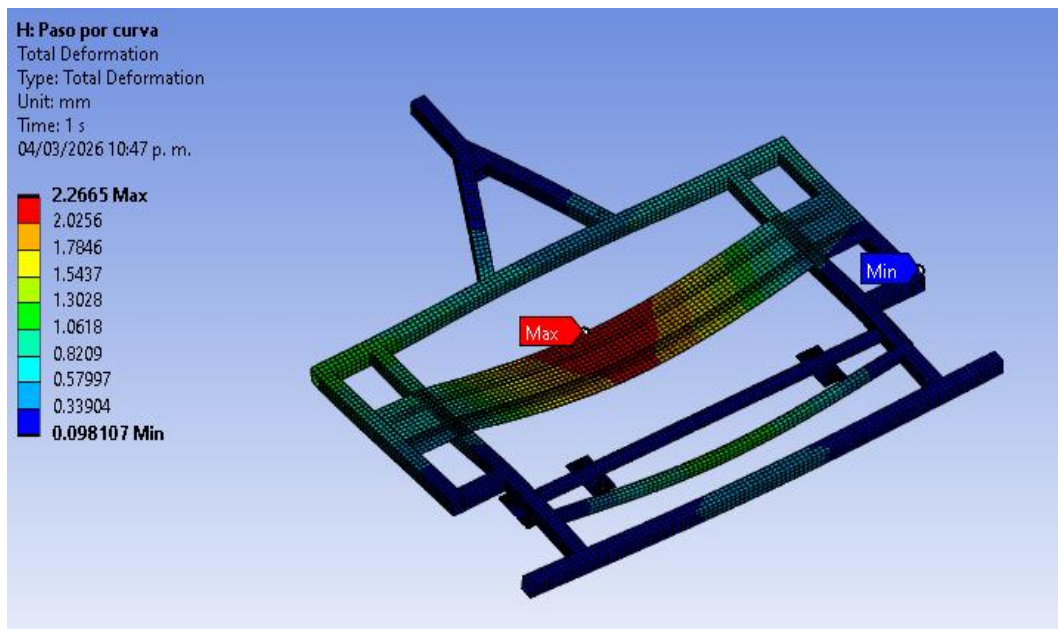


4.2.4.2. Deformación Máxima

En la figura 55 se muestra el análisis de deformación máxima correspondiente a la simulación de paso por curva hacia la derecha. La distribución de desplazamientos indica que la deformación máxima alcanza **2.26 mm**, concentrándose en la zona lateral del bastidor que recibe la mayor carga durante la maniobra de giro. Este sector pertenece a la parte central de la plancha sólida destinada al soporte de la motocicleta.

Este valor es reducido en comparación con las dimensiones globales de la estructura, lo que revela que el bastidor mantiene una rigidez adecuada aún bajo solicitaciones laterales. Además, la magnitud de la deformación se mantiene dentro del rango elástico del acero ASTM A500 Grado C, corroborando que la estructura no experimenta deformaciones permanentes y conserva un comportamiento estable durante el paso por curva.

Figura 55 Deformación Máxima en la Simulación de Paso por Curva a la Derecha



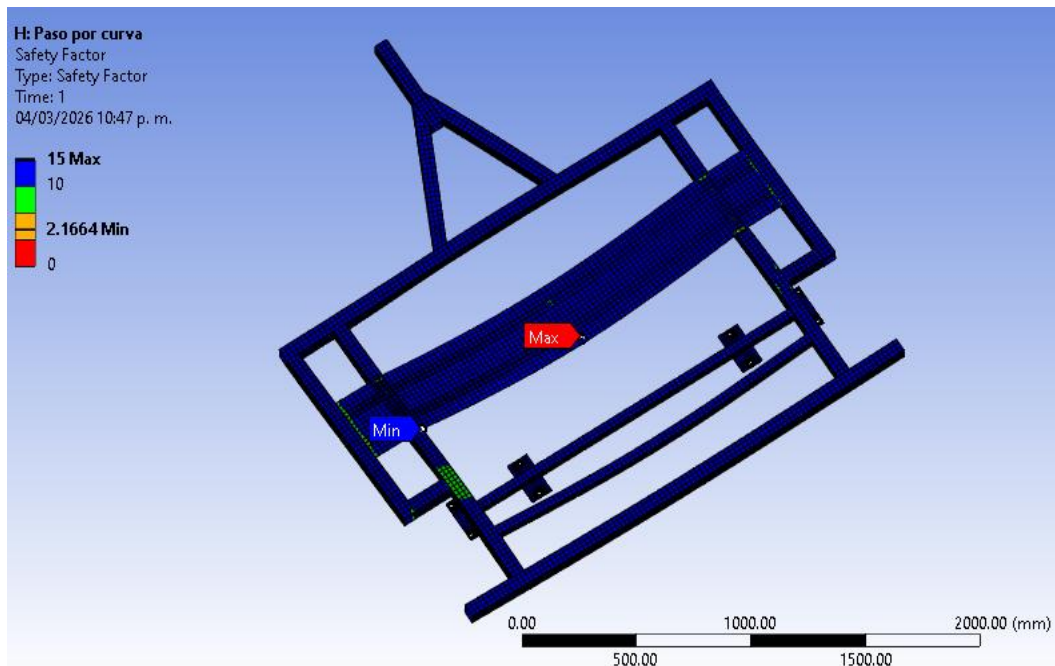


4.2.4.3. Factor de Seguridad

En la figura 56 se muestra el análisis del factor de seguridad correspondiente a la simulación de paso por curva hacia la derecha aplicado al bastidor del remolque. El mapa de colores evidencia que el valor mínimo obtenido es **2.16**, ubicado en la zona lateral donde se concentran los esfuerzos durante la maniobra de giro.

Este valor, significativamente superior al límite crítico de 1, confirma que la estructura opera con un margen de seguridad amplio frente a la fluencia del acero ASTM A500 Grado C, cuyo límite elástico es de 315 MPa. Además, los esfuerzos máximos registrados en este caso ($\approx 78,86$ MPa) representan solo alrededor del 23 % de la capacidad resistente del material.

Figura 56 Factor de seguridad en la Simulación de Paso por Curva





4.3. Resultados Correspondientes a la Estructura de la Rampa

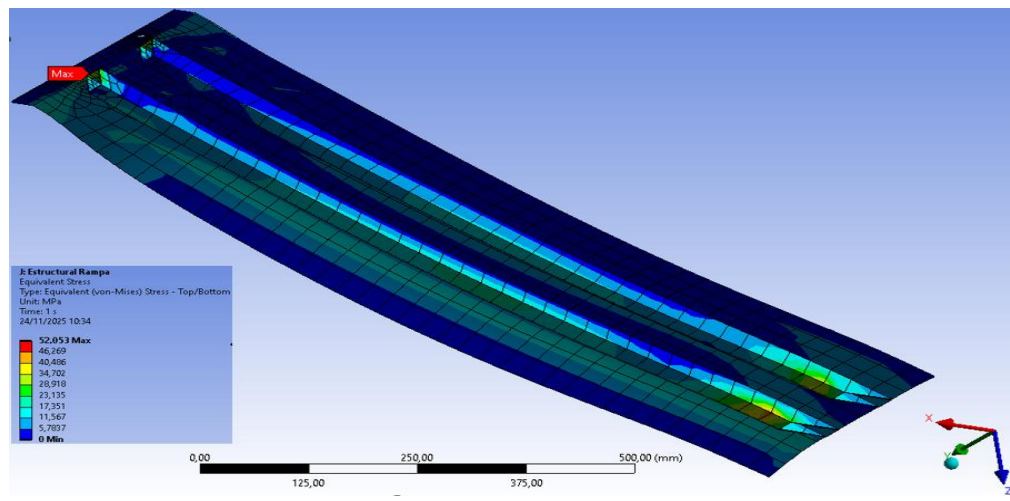
A continuación, se exponen los resultados derivados del estudio estructural de la rampa, cuyo propósito es analizar su respuesta ante las diferentes condiciones de operación que se presentarán durante su funcionamiento real. Las evaluaciones realizadas permiten determinar el comportamiento del diseño en términos de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad, tanto para cargas estáticas como dinámicas, ofreciendo una comprensión global de su desempeño estructural.

4.3.1. Simulación Estático Estructural

4.3.1.1. Esfuerzo de Von Mises

En la figura 57 se muestra el análisis estático estructural aplicado a la rampa para ascenso de la motocicleta tenemos el esfuerzo de Von Mises con un valor máximo de **52.05 MPa**. Este valor y la zona donde se está desarrollando este esfuerzo es en la unión superior del perfil estructural con el piso de la rampa.

Figura 57 Esfuerzo de Von Mises en la Simulación Estático Estructural de la Rampa

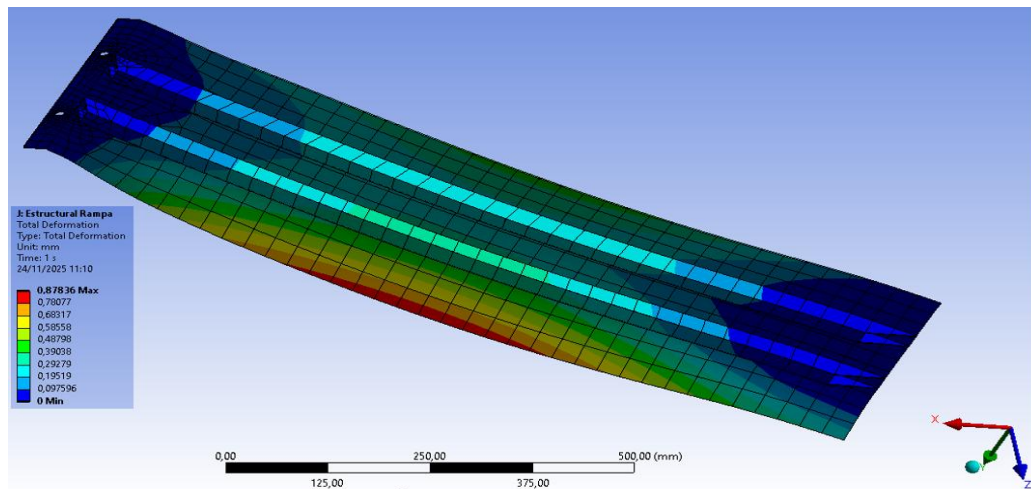




4.3.1.2. Deformación Total

En la Figura 58 de igual forma la deformación máxima es de **0.87 mm**, valores no significativos o que no superan el límite de fluencia del material como para que sufran una deformación plástica.

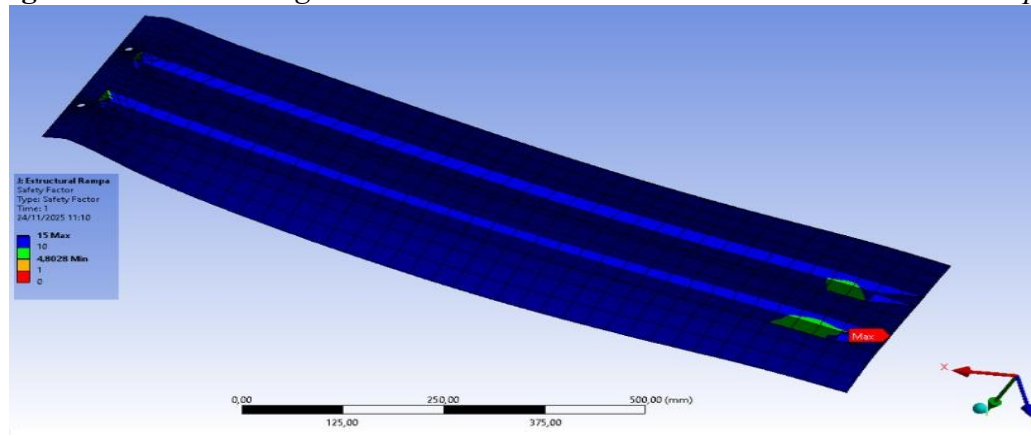
Figura 58 Deformación Máxima en la Simulación Estático Estructural de la Rampa



4.3.1.3. Factor de Seguridad

En la Figura 59, respecto al Factor de Seguridad tenemos un mínimo de **4.80** lo que corresponde a un diseño seguro para soportar el peso de la moto.

Figura 59 Factor de Seguridad en la Simulación Estático Estructural de la Rampa





4.4. Discusión de Resultados

El análisis estructural del remolque se desarrolló a partir de condiciones de borde previamente calculadas en el Capítulo III, las cuales representan escenarios reales y críticos de operación. Dichas condiciones incluyen cargas permanentes asociadas al peso de los componentes y cargas dinámicas derivadas de aceleración, frenada brusca y paso por curva. A partir de estas condiciones, se ejecutaron simulaciones mediante el método de elementos finitos, cuyos resultados se analizan a continuación de manera integrada.

4.4.1. Simulación Estático Estructural del Bastidor

Previo a la simulación estático estructural se definió considerando cargas permanentes, correspondientes al peso de la motocicleta de 2088 N aplicada verticalmente hacia abajo. Estas cargas representan la condición de uso normal del remolque cuando se encuentra estacionado y soportando la motocicleta.

- **Esfuerzo de Von Mises:** Bajo estas condiciones de borde, la simulación arrojó un esfuerzo máximo de **60,1 MPa**, valor que equivale aproximadamente al 18 % del límite elástico del acero ASTM A500 Grado C (315 MPa). Este resultado indica que la estructura trabaja muy por debajo de su capacidad resistente.
- **La deformación máxima:** Arrojó un resultado de **0,89 mm**, localizada principalmente en la zona central de la plancha sólida donde se apoya la motocicleta. Este desplazamiento resulta pequeño en relación con las dimensiones globales del bastidor, evidenciando una adecuada rigidez estructural.



- **El factor de seguridad:** Mínimo fue de **4,15**, lo que confirma que el bastidor posee un margen de seguridad amplio frente a las cargas estáticas consideradas. En conjunto, estos resultados validan el diseño del bastidor para condiciones de carga estática.

4.4.2. Simulación Aceleración

Para la simulación de aceleración, se realizó previamente el cálculo de la aceleración máxima considerando un coeficiente de fricción de 0,6 y la aceleración de la gravedad, obteniéndose una aceleración teórica de $5,89 \text{ m/s}^2$, la cual fue amplificada mediante un factor dinámico de 1,50, resultando en una aceleración aplicada de $8,835 \text{ m/s}^2$.

Esta aceleración se aplicó en la simulación como una carga inercial longitudinal, junto con la gravedad de $9,81 \text{ m/s}^2$, considerando además la masa de la motocicleta, la caja de herramientas y el coche deslizante mediante masas remotas ubicadas en sus respectivos centros de gravedad.

- **Esfuerzo de Von Mises:** Como resultado de esta condición extrema, la simulación mostró un esfuerzo máximo de **231,52 MPa**, localizado en zonas críticas del bastidor. Este valor representa aproximadamente el 67 % del límite elástico del material, manteniéndose aún dentro del régimen elástico.
- **La deformación máxima:** Registrada fue de **1,98 mm**, siendo la mayor entre todos los ensayos realizados, aunque sigue siendo reducida en relación con las dimensiones estructurales del remolque.
- **El factor de seguridad:** Mínimo obtenido fue de **1,07**, lo que indica que, incluso bajo una aceleración severa y poco probable en condiciones reales, la estructura no alcanza la falla



ni presenta deformación permanente. Este ensayo se identifica como el caso más crítico, pero confirma que el diseño cumple con los criterios mínimos de seguridad estructural.

4.4.3. Simulación Frenada Brusca

Para el ensayo de frenada brusca, se consideró una velocidad de 70 km/h (19,44 m/s) y un coeficiente de fricción de 0,6, lo que permitió calcular una distancia de frenado de 32,15 m. A partir de este valor, se obtuvo una desaceleración de 5,88 m/s², la cual fue incrementada mediante el factor dinámico, resultando en una desaceleración aplicada de 8,82 m/s².

En la simulación, esta desaceleración se aplicó en sentido longitudinal opuesto al movimiento, junto con la gravedad y las masas remotas correspondientes a los elementos principales del remolque.

- **Esfuerzo de Von Mises:** Bajo estas condiciones, el bastidor alcanzó un esfuerzo máximo de **173,51 MPa**, equivalente aproximadamente al 50 % del límite elástico del acero ASTM A500 Grado C.
- **Deformación máxima:** Fue de **1,77 mm**, valor inferior al registrado en el ensayo de aceleración, lo que evidencia un comportamiento estructural más favorable frente a este tipo de sollicitación.
- **El Factor de Seguridad:** Mínimo obtenido fue de **1,44**, confirmando que la estructura conserva un margen de seguridad adecuado incluso ante una frenada intensa. Estos resultados demuestran que el bastidor puede soportar maniobras de frenado brusco sin comprometer su integridad estructural.



4.4.4. Simulación Paso por Curva

La simulación de paso por curva se definió considerando una velocidad de 40 km/h (11,11 m/s) y un radio de curvatura de 60 m, a partir de los cuales se calculó una aceleración normal de 2,06 m/s². Al aplicar el factor dinámico correspondiente, se obtuvo una aceleración transversal de 3,09 m/s², utilizada como condición de borde en la simulación.

Esta aceleración lateral, combinada con la gravedad y las restricciones definidas en el sistema de suspensión y acoplamiento, permitió evaluar el comportamiento del bastidor frente a cargas transversales.

- **Esfuerzo de Von Mises:** Los resultados muestran un esfuerzo máximo de **78,86 MPa**, valor que representa aproximadamente el 23 % del límite elástico del material, siendo el menor de todos los ensayos dinámicos.
- **Deformación máxima:** Registrada fue de **1,23 mm**, manteniéndose dentro de valores reducidos y aceptables.
- **Factor de seguridad:** Mínimo obtenido fue de **3,17**, lo que evidencia un amplio margen de seguridad frente a este tipo de sollicitación.

Este ensayo confirma que las cargas laterales generadas durante el paso por curva resultan menos críticas que las producidas por aceleración y frenado brusco.



4.4.5. *Simulación Estático Estructural de la Rampa de Ascenso*

Para la rampa de ascenso, el análisis se realizó considerando únicamente el peso de la motocicleta de 2088 N, aplicado verticalmente hacia abajo, con restricciones completas en los puntos de apoyo al bastidor y al piso.

- **Esfuerzo de Von Mises:** Bajo estas condiciones, se obtuvo un esfuerzo máximo de **52,05 MPa**, localizado en la unión superior del perfil estructural con el piso de la rampa.
- **Deformación máxima:** Fue de **0,87 mm**, valor que no resulta significativo ni compromete la integridad del material.
- **Factor de seguridad:** Mínimo registrado fue de **4,80**, confirmando que la rampa presenta un diseño altamente seguro para soportar el ascenso de la motocicleta.

4.4.6. *Análisis Global*

En ningún caso los esfuerzos superan el límite elástico de **315 MPa**, y las deformaciones obtenidas son reducidas en comparación con las dimensiones estructurales del sistema.

La simulación de aceleración se identifica como el escenario más exigente, mientras que el paso por curva resulta el menos crítico. En conjunto, los factores de seguridad obtenidos confirman que tanto el bastidor como la rampa presentan un comportamiento estructural seguro, estable y adecuado para su aplicación en el transporte de motocicletas.

**Tabla 9** Cuadro Comparativo Resultados Correspondientes a la Estructura del Bastidor

Modelo	Bastidor
Tipo de Resultado	
Estructural Estático	
Esfuerzo Von Mises	60.9 MPa
Deformación	0.89 mm
Factor de Seguridad	4.15
Simulación Dinámica Aceleración	
Esfuerzo Von Mises	231.52 MPa
Deformación	1.98 mm
Factor de Seguridad	1.07
Simulación Dinámica Frenada brusca	
Esfuerzo Von Mises	173.51 MPa
Deformación	1.77 mm
Factor de Seguridad	1.44
Simulación Dinámica Paso por Curva	
Esfuerzo Von Mises	78.86 MPa
Deformación	1.23 mm
Factor de Seguridad	3.17

Tabla 10 Cuadro Comparativo Resultados Correspondientes a la Estructura de la Rampa

Modelo	Rampa
Tipo de Resultado	
Estructural Estático	
Esfuerzo Von Mises	52.05 MPa
Deformación	0.87 mm
Factor de Seguridad	4.80



4.4.7. Validación del Diseño de la Estructura Mediante Comparación con Investigaciones

Previas

4.4.7.1. Validación 1

Las características de la estructura conjuntamente con los materiales usados en la misma se fundamentan bajo los análisis FEM realizados en el presente trabajo de titulación, así también en investigaciones previas realizadas a diseños de la estructura de remolques.

Por ejemplo [73] en su trabajo de titulación “Diseño y construcción de un remolque con capacidad para dos motocicletas”, utilizan para la fabricación de la estructura principal tubo cuadrado de 60 x 2 mm y tubo cuadrado de 40 x 3 mm entre otros materiales, tabla 2 de la tesis de los autores antes mencionados y que se ha visto necesario hacer constar en la siguiente tabla:

Tabla 11 *Calculo del Peso Propio del Remolque para dos motocicletas*

Partes	Elemento	Peso Unitario (kg/m)	Dimensión (m)	Peso total (kg)
Travesaños	Tubo cuadrado estructural 40x3mm.	3.54	4.8	14.16
Largueros	Tubo cuadrado estructural 60x2mm.	3.66	4	14.64
Sist. de tiro	Tubo estructural cuadrado 60x2mm.	3.66	1.88	6.88
Tubo de eje	Tubo poste 70.3x2mm.	3.56	1.5	5.34
Sist. de sujeción	Tubo poste 25.4x1.8mm.	1.09	1.2	1.31
Rieles Fijas	Perfil estructural Canal “U200x50x2mm”.	4.61	4	18.44
Riel móvil	Perfil estructural Canal “U200x50x2mm”.	4.61	1.5	6.92
Ballestas	Daihatsu super Hormiga del.	10	2 unidades	20
Ruedas	Aros Rin 13”, neumáticos(.....)	5	2 unidades	10
TOTAL:				119.69

Tomado de [73] trabajo de titulación “Diseño y construcción de un remolque con capacidad para dos motocicletas”



Aunque las simulaciones CAE son distintas a las efectuadas en esta tesis, avalan la selección de materiales y de diseño ya que la estructura garantiza una capacidad de carga de hasta 400kg garantizando el transporte de las 2 motocicletas más aditamentos extras, su sistema de suspensión fue diseñado para evitar vibraciones excesivas y soportan una carga de 30% de la carga total de diseño y el conjunto de anclaje presentan características de carga superiores a las requeridas, además el material e insumos empleados son de fácil accesibilidad ya que se encuentra disponible en el mercado nacional evitándose incremento de costos por importaciones.

4.4.7.2. Validación 2

En una siguiente investigación titulada “Diseño de un remolque para el transporte de vehículos tipo KART KF4 para el grupo UPS Racing Team de la Universidad Politécnica Salesiana” desarrollada por [74] utilizan materiales disponibles en el mercado nacional lo que facilita si fuese el caso alternativas de reemplazo, para este caso usan tubos cuadrados y tubos rectangulares ASTM – A500 grado C, de medidas similares a las que se usó en esta tesis y que se los puede encontrar en acero negro o galvanizado.

La condición de frontera para la simulación estática estructural fue la aplicación de un peso total de 5051N de los cuales se obtuvo una deformación máxima de 0.37mm, un esfuerzo de 20.59MPa y un factor de seguridad de alrededor de 12.

De igual forma se realizó simulaciones al remolque bajo condiciones de paso por curva, con una carga aplicada de 5000N, en primer lugar, simulando un viraje a la derecha se obtuvo una




deformación máxima de 0.90mm, un esfuerzo de 53.51MPa y un factor de seguridad de alrededor de 4.67.

En segundo lugar, el paso por curva a la izquierda dando como resultados: deformación máxima de 0.76mm, un esfuerzo de 44.59MPa y un factor de seguridad de alrededor de 5.60. Adicional realizaron análisis aerodinámico que no viene al caso nombrarlos ya que no son escenarios de comparación con los realizados en esta tesis.

4.4.7.3. Validación 3

En la investigación “Diseño y construcción de un remolque utilitario para vehículo monoplaza de karting” desarrollado por [75], evidencia la utilización de tubos cuadrados como principal material para la estructura en las dimensiones de 50 x 4mm.

Tabla 12 Resumen del Remolque en la Simulación Para el Vehículo Monoplaza

Nombre de Documento y Referencia	Formulación	Propiedades	Ruta al documento / Fecha de modificación
Viga Principal (Tubo cuadrado 50 x 50 x 4) 	Viga 1, 2, 3, 4 – Sección Transversal Uniforme	Estándar de sección- iso/square tube/50 x 50 x 1.5 Área de sección: 0.000534796m ² Longitud: 1050 mm Volumen: 0.000561536m ³ Densidad: 7800 kg/m ³ Masa: 198.98 kg Peso: 1950 N	C:\Users\RogerP\Des ktop\REMOLQUE ROGER PIÑA.SLDPRT

Tomado de [75] trabajo de Titulación “Diseño y construcción de un remolque utilitario para vehículo monoplaza de karting”



Como condiciones de borde se aplica una carga en Newton distribuida de la siguiente forma: carrocería frontal de 2943N, carrocería central de 1968N y carrocería posterior de 981N y de los cuales bajo un escenario estático estructural se presenta los siguientes resultados: la deformación máxima fue de 0.2mm y el límite axial y flexión en ningún punto sobrepaso el límite elástico de 2.2N/m^2 .

4.4.8. Conclusión de la Validación

Bajo la comparación con las tres investigaciones previas se valida tanto la elección de los materiales que constituyen la presente tesis, así como el diseño ya que, si comparamos los resultados de las tesis que ha servido para validación, en primer lugar, se usa materiales similares a las investigaciones y existentes en el país y que además cumplen las exigencias de diseño.

En cuanto a los resultados de igual forma tenemos similitud en las simulaciones similares que se han desarrollado determinando que todos cumplen los requisitos mínimos que diseño ya que los factores de seguridad para cada una de las simulaciones efectuadas son superiores a 1 y los esfuerzos a los que se somete la estructura en ningún caso sobrepasa el límite de fluencia del material, es decir en ningún caso existe una deformación permanente que implique algún tipo de riesgo con la estructura del remolque, con la carga a transportar y con el usuario. Con todo lo mencionado se pasa a la siguiente etapa que es la de construcción.

4.5. Proceso de Construcción y Montaje del Remolque

El presente apartado describe de manera detallada el proceso constructivo del remolque. El proceso de construcción se desarrolló siguiendo criterios técnicos de seguridad, funcionalidad y facilidad



de fabricación, tomando como referencia el diseño previamente definido. Cada etapa fue ejecutada de forma secuencial con el fin de garantizar la correcta alineación, resistencia estructural y confiabilidad del remolque.

4.5.1. Preparación y Trazado de Elementos

Previo al proceso de fabricación, se realizó el trazado de cada uno de los elementos estructurales conforme a las dimensiones especificadas en el diseño. Esta etapa incluyó la medición, marcado y verificación de longitudes, ángulos y puntos de unión. Posteriormente, se procedió al corte de perfiles y planchas, cuidando que las tolerancias dimensionales se mantuvieran dentro de los rangos establecidos. Cada pieza fue identificada y clasificada para facilitar el orden y la secuencia durante el ensamblaje del remolque.

Figura 60 *Corte de Tubos Según Dimensiones de Diseño*

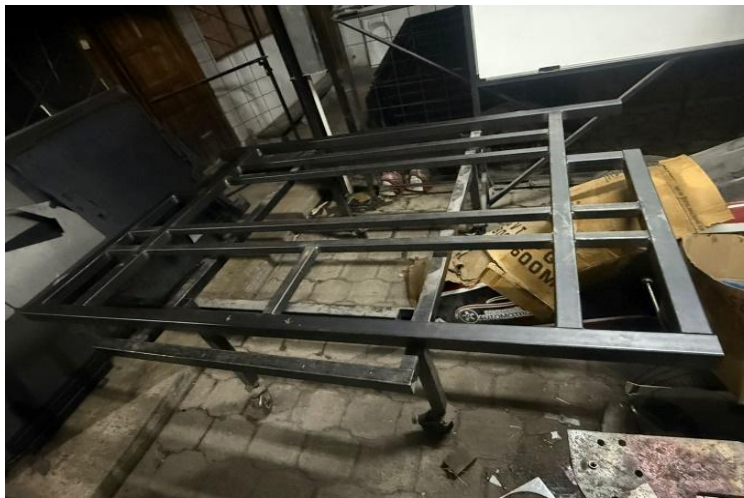




4.5.2. Procedimientos de Fabricación de los Elementos del Remolque

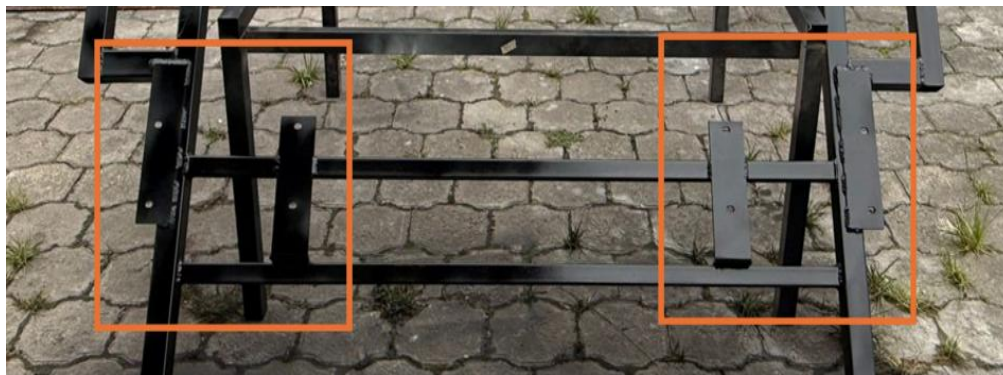
La fabricación del remolque inició con el chasis o bastidor principal, el cual constituye el elemento estructural base del sistema.

Figura 61 Estructura Principal (Bastidor)



En la figura 61 se observa la estructura principal soldada sobre la mesa de trabajo.

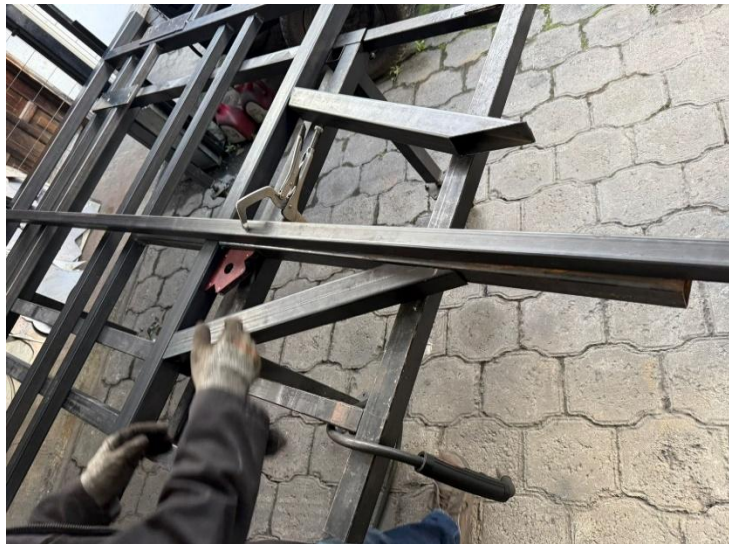
Figura 62 Fabricación del Sistema de Soporte de la Suspensión





Como se observa en la figura 62, se ubicaron los soportes del sistema de suspensión cortados con plasma CNC sobre los elementos de la estructura principal.

Figura 63 *Fabricación del Sistema de Tiro*



A continuación, se fabricó el sistema de tiro o lanza de enganche, asegurando su correcta alineación con el eje longitudinal del remolque según se detalla en la figura 63.

Figura 64 *Acoplamiento del Sistema de Enganche de Bola*





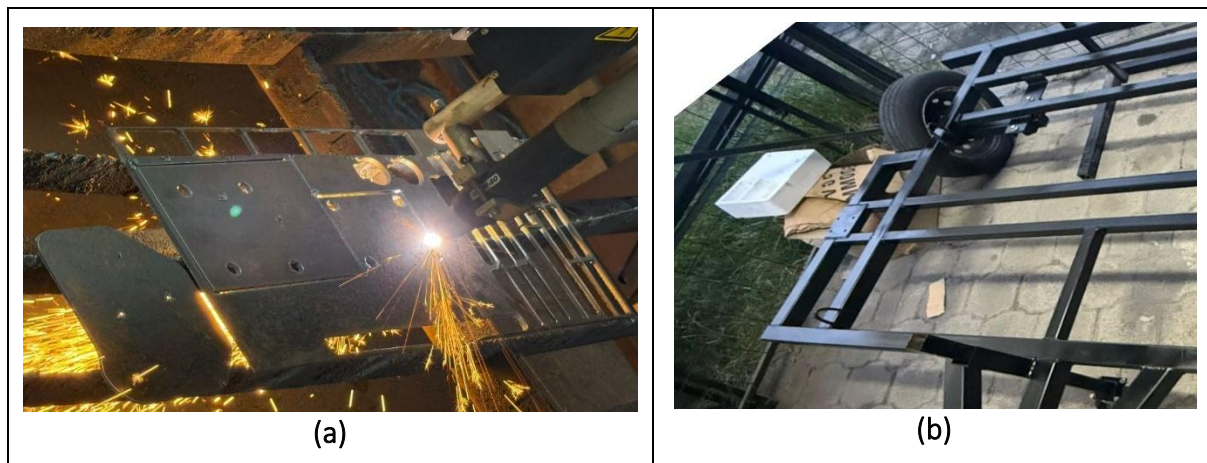
En la figura 64 se observa la ubicación del sistema de acoplamiento para la bola, el cual se ubicó sobre el tubo central principal y se colocaron placas de 8mm a cada lado para reforzar la punta a fin de evitar deformaciones durante su trabajo.

Figura 65 *Fabricación del Coche Deslizante*



A continuación, se elaboró los sistemas complementarios como es el coche Deslizante.

Figura 66 *Fabricación de Placas de Soporte de Wincha*





En la figura 66 se observa el corte de la placa de soporte para wincha (a) corte plasma, y su instalación en la estructura principal mediante soldadura (b) Instalación en Estructura.

Figura 67 *Fabricación del Piso y Rampa de Ascenso*



La figura 67 muestra el corte del piso del remolque con sus respectivas uniones mediante cordones de soldadura seccionados, así también la fabricación de la rampa de ascenso para la motocicleta.

4.5.3. Procesos de Soldadura

Las uniones entre los distintos elementos estructurales se realizaron mediante proceso de soldadura GMAW adecuado para el tipo de material empleado. Previamente a la soldadura, se efectuó la limpieza y preparación de las superficies de contacto, garantizando una correcta penetración del cordón. Durante el proceso se mantuvieron parámetros de soldadura uniformes, asegurando la



continuidad y resistencia de las juntas. Se utilizó alambre sólido ER70S-6 con gas de protección 100% de CO₂. Finalizada esta etapa, se realizó una inspección visual de los cordones para verificar la ausencia de defectos visibles como porosidades, grietas o falta de fusión.

Figura 68 *Proceso de Soldadura GMAW*



En la figura 68 se puede observar el proceso de soldadura aplicado en las diferentes uniones de los elementos del bastidor.

4.5.4. Acabados y Protección Superficial

Una vez concluida la fabricación y soldadura de la estructura, se procedió a la limpieza general del remolque, eliminando residuos de escoria, rebabas y partículas sueltas.



Figura 69 *Aplicación de Pintura en la Estructura Principal*



Posteriormente, se aplicó un recubrimiento anticorrosivo con el objetivo de proteger los elementos metálicos frente a la oxidación. Finalmente, se realizó la aplicación de la pintura de acabado, la cual además de brindar protección adicional, mejora la apariencia estética del prototipo como se observa en la figura 69.

4.5.5. Montaje de los Elementos del Remolque

El montaje del remolque se llevó a cabo siguiendo una secuencia lógica que permitió asegurar la correcta integración de todos los sistemas. Esta etapa fue ejecutada considerando condiciones de seguridad, alineación y funcionalidad, de manera que el conjunto final cumpla con los requisitos de operación previstos en el diseño.



Antes de iniciar el montaje, se verificó la correcta fabricación de cada componente, comprobando dimensiones, alineación y estado superficial. Se realizó la inspección de las soldaduras y se confirmó que el chasis presentara una geometría adecuada y libre de deformaciones. Estos parámetros previos permitieron minimizar errores durante el ensamblaje final.

El montaje se realizó en un área adecuada, con suficiente espacio y condiciones de iluminación apropiadas. Se respetó el orden recomendado de ensamblaje y se aplicaron medidas de seguridad personal durante toda la operación. Las herramientas empleadas fueron seleccionadas de acuerdo con el tipo de unión y el elemento a instalar.

El proceso de ensamblaje inició con el montaje del sistema de suspensión, seguido de la instalación del sistema de enganche. Posteriormente, se colocaron las planchas de soporte y rampa para la motocicleta con el sistema de sujeción, asegurando su correcta fijación al chasis.

4.6. Resultado del Proceso de Fabricación

Concluido el montaje, se realizaron inspecciones y pruebas con el objetivo de evaluar el comportamiento estructural y funcional del remolque en condiciones reales de operación. Estas pruebas permitieron validar el diseño y la calidad del proceso constructivo.



Figura 70 *Resultado del Proceso de Fabricación*



Se efectuó una inspección estática del remolque, verificando la rigidez del conjunto, la correcta fijación de los elementos y el funcionamiento de la wincha eléctrica. Esta evaluación permitió detectar posibles ajustes antes de someter el remolque a condiciones dinámicas.

La prueba de carga consistió en la colocación de una motocicleta sobre el remolque, asegurando su correcta sujeción. Se evaluó la estabilidad del sistema, la distribución del peso y el comportamiento del chasis bajo carga estática.

La prueba dinámica se realizó inicialmente sin carga y posteriormente con carga completa. Durante estas pruebas se observó el comportamiento del remolque en desplazamiento, frenado y maniobras de giro, verificando que no se presenten vibraciones excesivas ni inestabilidad.



Una vez finalizadas las pruebas, se realizó una inspección visual general del remolque, evaluando el estado de las soldaduras, el sistema de sujeción de la motocicleta y el funcionamiento de los elementos de seguridad.

Los resultados obtenidos durante las pruebas de campo evidencian que el remolque cumple con los criterios de diseño establecidos. El comportamiento estructural y funcional fue satisfactorio, permitiendo concluir que el prototipo es apto para su uso previsto.

4.7. Cumplimiento Normativo del Diseño del Remolque para transporte de Vehículos Categoría L3

El diseño y desarrollo del remolque para transporte de motocicletas presentado en este trabajo se realizó considerando tanto la normativa legal y técnica vigente en el Ecuador como la normativa internacional, tomando como referencia los reglamentos aplicables en España y la Unión Europea, con el objetivo de garantizar condiciones adecuadas de seguridad, estabilidad y correcta operación durante su circulación. En este apartado se justifica que el diseño cumple con los principales reglamentos aplicables, considerando pesos, dimensiones y condiciones generales de uso.

Cabe destacar que el remolque fue diseñado para el transporte de vehículos de categoría L3, es decir, para cualquier tipo de motocicleta, y que el dimensionamiento se realizó tomando como referencia la motocicleta más larga disponible en el mercado, considerada como el caso más desfavorable, con el fin de asegurar la compatibilidad del remolque con todo el rango de motocicletas de dicha categoría.



4.7.1. Cumplimiento de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial (Ecuador)

De acuerdo con la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, los remolques son considerados vehículos no motorizados destinados al arrastre por un vehículo tractor, los cuales deben cumplir requisitos de seguridad, estabilidad, señalización y límites dimensionales para su circulación en la red vial nacional.

Desde el punto de vista del diseño, el remolque fue concebido para el transporte de vehículos de categoría L3, considerando como condición de diseño una motocicleta con peso aproximado de **2088 N (\approx 213 kg)** y una longitud máxima representativa del mercado. Estos valores fueron utilizados como parámetros de referencia para garantizar que motocicletas de menor peso y longitud puedan ser transportadas sin inconvenientes operativos.

Asimismo, el diseño contempla una correcta distribución de la carga sobre el eje del remolque y un centro de gravedad bajo, reduciendo el riesgo de vuelco o pérdida de control durante maniobras normales de circulación.



Figura 71 *Correcta Distribución de la Carga Sobre el Eje del Remolque*



4.7.2. Conformidad con los lineamientos de la Agencia Nacional de Tránsito

La Agencia Nacional de Tránsito (ANT) establece los criterios técnicos para la homologación, revisión y circulación de remolques en el Ecuador. En este contexto, el diseño del remolque cumple con los requerimientos exigidos para su futura revisión técnica vehicular, al incorporar un sistema de acople seguro, señalización independiente y una estructura estable acorde a la carga máxima considerada.

El remolque incorpora un acople de bola normalizado y un sistema de seguridad secundaria, garantizando una unión confiable durante la operación y un comportamiento adecuado del conjunto vehículo–remolque.



Figura 72 Acople de Bola Normalizado



4.7.3. Aplicación de normas técnicas INEN y reglamentos técnicos ecuatorianos

El diseño del remolque se fundamenta en las normas técnicas emitidas por el INEN, las cuales regulan aspectos generales de seguridad vehicular. Aunque no existe una norma específica para remolques destinados al transporte de motocicletas, el diseño se alinea con los principios técnicos establecidos en dichas normativas.

En particular, se consideran los lineamientos del **RTE INEN 034**, relacionados con la seguridad general del vehículo, la integridad estructural y la ausencia de elementos peligrosos. De igual manera, se aplican los criterios de la **NTE INEN 1155** en lo referente a la incorporación de dispositivos reflectivos y sistemas de iluminación, garantizando la visibilidad del remolque durante su operación.



Figura 73 Sistema de Iluminación



Luces de Posición



Luces Estacionarias



Luces de Freno



Luces de Reversa



4.7.4. Cumplimiento de dimensiones, pesos y estabilidad (Ecuador)

Para la verificación de pesos y dimensiones en el Ecuador, se tomó como referencia la Tabla Nacional de Pesos y Dimensiones aplicable a vehículos y remolques. Para el caso de remolques de un eje, la normativa establece como valores máximos permisibles:

- **Peso Bruto Vehicular (PBV):** Hasta 11 toneladas / 11000 kg
- **Longitud máxima:** 10 m
- **Ancho máximo:** 2,60 m
- **Altura máxima:** 4,10 m.

Con base en estos límites, el remolque diseñado se mantiene dentro de los rangos permitidos, ya que el ancho total obtenido a partir del modelo CAD es de **2,25 m**, valor inferior al máximo normado de 2,60 m. Así mismo, la longitud total del remolque y su altura máxima con carga se encuentran por debajo de los valores establecidos en la normativa ecuatoriana.

Figura 74 Dimensiones Remolque





En cuanto a la carga considerada, el remolque fue dimensionado para transportar vehículos de categoría L3, tomando como referencia una masa máxima representativa de **aproximadamente 213 kg** y una longitud de diseño cercana a **2,50 m**, correspondiente al caso más desfavorable. Estos valores se mantienen muy por debajo de los límites de peso establecidos por la normativa nacional, garantizando que el eje, la suspensión y los neumáticos operen dentro de su capacidad admisible.

En consecuencia, el diseño cumple con los requisitos de pesos, dimensiones y estabilidad exigidos por la normativa ecuatoriana para la circulación de remolques livianos.

4.7.5. Cumplimiento de Normativa Internacional (España – Unión Europea)

Cumpliendo normativa internacional, se tomó como referencia la normativa vigente en España, enmarcada dentro de la regulación de la Unión Europea para remolques.

En el contexto europeo, los remolques se clasifican dentro de la **categoría O**, en función de su masa máxima autorizada. Dado que el remolque diseñado corresponde a un remolque liviano destinado al transporte de vehículos de categoría L3, se enmarca en la **categoría O1** (masa máxima ≤ 750 kg), utilizada como referencia internacional para el diseño.

En cuanto a dimensiones, el Reglamento General de Vehículos de España (Real Decreto 2822/1998) establece los siguientes límites máximos:

- **Peso Bruto Vehicular máximo:** Hasta 0.75 toneladas / 750 kg
- **Ancho máximo:** 2,55 m
- **Altura máxima (incluida la carga):** 4,00 m
- **Longitud máxima del remolque:** 12,00 m



El remolque diseñado presenta dimensiones inferiores a estos valores, incluso considerando la motocicleta de mayor longitud utilizada como referencia de diseño, por lo que cumple con la normativa española y europea en dimensiones y pesos.

Figura 75 *Altura Máxima Incluida la Carga*



Altura (1.50m)

4.7.6. Seguridad en la Sujeción de la Motocicleta

Aunque no existe una normativa específica que regule los sistemas de sujeción de motocicletas en remolques, tanto la normativa ecuatoriana como la europea establecen el principio de transporte seguro de la carga.

En cumplimiento de este principio, el diseño incorpora un sistema de bloqueo de la rueda delantera, una rampa de acceso con superficie antideslizante y puntos de anclaje para correas de sujeción,



asegurando la correcta inmovilización de la motocicleta durante el transporte, independientemente del modelo específico dentro vehículos de la categoría L3.

Figura 76 Sujeción Motocicleta



4.7.7. Validación Normativa del Diseño

En base a lo expuesto, se concluye que el remolque para transporte de motocicletas diseñado en este trabajo cumple tanto con la normativa nacional ecuatoriana como con la normativa internacional (España – Unión Europea), específicamente en lo referente a pesos, dimensiones, estabilidad, señalización y seguridad general.

Por lo tanto, el remolque propuesto satisface el alcance establecido, demostrando que el remolque transversal desarrollado es técnicamente apto para el transporte de cualquier vehículo de categoría L3, bajo criterios normativos nacionales e internacionales vigentes.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Figura 77 Cumplimiento Normativo del Remolque





CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.2. Conclusiones

- Se consolidaron de manera óptima las restricciones geométricas y de carga para el transporte transversal de vehículos de categoría L3 (hasta 300 kg), logrando un diseño mediante software CAD que optimiza el espacio dentro del volumen límite de 2.50 m × 2.00 m. La configuración geométrica adoptada garantizó un centro de gravedad bajo (aproximadamente 131.25 mm), un factor clave que distribuye eficientemente la masa de la motocicleta de referencia sobre el eje, mitigando los riesgos de vuelco y mejorando significativamente la estabilidad direccional en comparación con los remolques longitudinales convencionales.
- El análisis por elementos finitos, respaldado por un mallado de alta confiabilidad (calidad promedio de 0.87 según el criterio *Element Quality*), demostró la integridad estructural del bastidor ante las peores condiciones de operación. En estado estático, la estructura trabaja de forma adecuada con un esfuerzo de Von Mises de 60.9 MPa y un factor de seguridad de 4.15. Al evaluar las sollicitaciones dinámicas, el escenario de aceleración extrema (8.835 m/s²) representó la condición más crítica, elevando el esfuerzo a 231.52 MPa y reduciendo el factor de seguridad a un mínimo de 1.07; no obstante, tanto este caso como los de frenado brusco (FS = 1.44) y paso por curva (FS = 3.17) se mantuvieron estrictamente dentro del



régimen elástico del material (límite de 315 MPa), descartando cualquier riesgo de falla por deformación permanente.

- La verificación mediante los softwares CAD de los coeficientes de seguridad superiores a 1, justificó técnicamente el paso a la fase de construcción. La implementación del remolque se ejecutó mediante un proceso de fabricación secuencial enfocado en la facilidad de manufactura y la precisión geométrica para asegurar alineación, resistencia estructural y confiabilidad del remolque. Esto aseguró que el producto real conserve las propiedades mecánicas simuladas, garantizando un comportamiento robusto en componentes críticos como el sistema de la rampa de ascenso.
- Se constató la viabilidad legal y técnica del remolque al verificar el cumplimiento riguroso de las exigencias de la Normativa Nacional Ecuatoriana (regulación de la ANT, Ley de Transporte Terrestre, el reglamento RTE INEN 034 y la norma de visibilidad NTE INEN 1155), así como los estándares internacionales para la categoría O1 (Unión Europea / España). Esta concordancia legal, sumada al respaldo analítico-computacional del proyecto, clasifica al prototipo desarrollado como un sistema mecánicamente seguro, técnicamente viable y totalmente apto para su homologación y libre circulación en vías públicas.



5.3. Recomendaciones

- Dado que el escenario dinámico de aceleración fue el más exigente (231.52 MPa, deformación de 1.98 mm y $FS = 1.07$), se recomienda reforzar localmente las zonas de mayor concentración de esfuerzos mediante aumentos puntuales de espesor o rediseño de travesaños, elevando el margen de seguridad sin incrementar drásticamente el peso tara del remolque. Asimismo, se sugiere ampliar la simulación numérica en el software CAE aplicando la carga límite absoluta de 300 kg (el diseño base se usó una motocicleta de ≈ 213 kg / 2088 N) e incorporar un análisis complementario de fatiga mecánica bajo cargas cíclicas para asegurar la vida útil ante un uso severo y continuo.
- Para garantizar que el remolque conserve la precisión geométrica y rigidez estructural simulada en CAD, se recomienda estandarizar el proceso de fabricación secuencial utilizando plantillas de montaje, escuadras de precisión y puntos de referencia milimétricos antes de ejecutar el punteo y soldadura final. Esta práctica, junto a la clasificación previa de los perfiles cortados, es indispensable para mitigar distorsiones térmicas del arco de soldadura y evitar desalineaciones críticas en los anclajes del chasis, el sistema de acoplamiento y el mecanismo basculante de la rampa.
- Al integrar elementos homologados comerciales (barras de torsión con capacidad de 400 kg para suspensión y wincha eléctrica de 1000 kg para arrastre), se recomienda realizar pruebas de campo enfocadas en validar físicamente las holguras cinemáticas, la accesibilidad para mantenimiento y los torques de apriete específicos en las uniones pernadas. Esto garantizará que el rendimiento global y la seguridad del remolque no se



vean limitados por interferencias mecánicas o deficiencias durante la instalación física de dichos accesorios en el bastidor.

- Se recomienda que durante la operación del remolque la colocación del vehículo categoría L3 se realice siempre de forma transversal y simétrica, asegurando que el centro de gravedad permanezca en la posición baja calculada (≈ 131.25 mm) y aplicando una tensión uniforme en las correas de sujeción. Paralelamente, se aconseja efectuar un mantenimiento periódico directamente en la estructura que contemple la inspección visual de soldaduras mediante líquidos penetrantes, el engrase del acople de bola, la verificación del sistema eléctrico/reflectivo y la aplicación de recubrimientos anticorrosivos para evitar el deterioro del material.
- Para garantizar una operación segura en vías públicas y mitigar el riesgo de colisiones por alcance, se recomienda que la instalación y disposición física de los componentes del sistema de iluminación (luces de freno, direccionales y posición) junto con las cintas retrorreflectivas se mantengan bajo los criterios técnicos de distancias, ángulos estipulados en la norma NTE INEN 1155. Asimismo, se aconseja realizar inspecciones rápidas antes de cada viaje para asegurar la limpieza de los acrílicos y la correcta conexión del arnés eléctrico, garantizando la visibilidad total del remolque en condiciones climáticas adversas o manejo nocturno.



Referencias bibliográficas.

- [1] M. Gutiérrez, “Motos: ¿una amenaza o una alternativa? - Moviliblog.” Accessed: Nov. 23, 2023. [Online]. Available: <https://blogs.iadb.org/transporte/es/motos-una-amenaza-o-una-alternativa/>
- [2] D. Gasparini, “Modulo Seg. Ind. III 2021 | PDF | Engranaje | Seguridad y salud ocupacional.” Accessed: Nov. 23, 2023. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/527820263/Modulo-Seg-Ind-III-2021>
- [3] El Tiempo, “Usar remolque requiere usar la debida señalización pero no necesita un permiso especial - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com.” Accessed: Nov. 23, 2023. [Online]. Available: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3646980>
- [4] F. E. Cuenca Rodríguez-Monsalve, “Desarrollo de un vehículo autónomo a escala con capacidad de navegación y seguimiento de marcas viales,” 2020.
- [5] M. Morillo, “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA CON CAPACIDAD PARA DOS MOTOCICLETAS PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO,” 2019.
- [6] ENCMP, *ESTRATEGIA NACIONAL PARA EL CAMBIO DE LA MATRIZ PRODUCTIVA*. 2015.
- [7] J. Gómez, “Informe Final de Proyecto Remolque | PDF | Eje | Remolque (Vehículo).” Accessed: Nov. 23, 2023. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/534513703/Informe-Final-de-proyecto-remolque>
- [8] Esan, “Los factores que deben considerarse al elegir un vehículo de carga | Conexión ESAN.” Accessed: Nov. 23, 2023. [Online]. Available: <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/los-factores-que-deben-considerarse-al-elegir-un-vehiculo-de-carga-1>
- [9] F. A. Sánchez Jaramillo, “Estandarización de métodos y determinación de tiempos para la fabricación de remolques cañeros en Imecol SA,” 2008.
- [10] “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ‘DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA REMOLQUE CON SUSPENSIÓN MODIFICADA PARA TRANSPORTE DE VEHICULOS DE COMPETENCIA 4 x 4’ PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO.”
- [11] J. Forqués Puigcerver, J. Forqués, J. Gabriel, and S. Alcaraz, “Diseño de un remolque para el transporte de pequeñas embarcaciones MEMORIA PRESENTADA POR.”
- [12] E. M. Corrales Calderón and R. F. Martínez Rodríguez, “Diseño de una plataforma remolque para la transportación de vehículos y maquinaria.,” 2020.



- [13] “MT 1 CR Remolque para moto con cartolas | RemolquesESVA.com.” Accessed: Oct. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.remolquesesva.com/remolques/motos/1-2-motos/mt-1-cr-remolque-moto-cartolas>
- [14] F. X. Proaño, R. E. Mauricio, and Y. Moran, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.”
- [15] “Remolque para moto Quads Plataforma - Espíritu Comanche.” Accessed: Oct. 27, 2025. [Online]. Available: https://rcomanche.com/portfolio_page/remolque-para-moto-quads-plataforma/
- [16] D. Y. Construcción De Un Remolque, J. Luis López Terán, and M. Morillo Chamorro, “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA CON CAPACIDAD PARA DOS MOTOCICLETAS PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO.”
- [17] “Trailer Playo para Moto - Rami Trailers.” Accessed: Oct. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.ramitrailers.com.ar/producto/trailer-playo-para-moto/>
- [18] E. G. Rodríguez Mora, “Remolque elevador”.
- [19] “MOTOS 3 CR | RemolquesESVA.com.” Accessed: Oct. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.remolquesesva.com/remolques/motos/3-motos/motos-3-cr>
- [20] P. Chaturvedi, A. Gupta, and B. Kumar, “Analysis and Proposed Fabrication of Two-Wheeler Hybrid Chassis,” in *2019 International Conference on Automation, Computational and Technology Management (ICACTM)*, 2019, pp. 415–417. doi: 10.1109/ICACTM.2019.8776716.
- [21] H. U. Sajid and R. Kiran, “Influence of high stress triaxiality on mechanical strength of ASTM A36, ASTM A572 and ASTM A992 steels,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 176, pp. 129–134, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.018>.
- [22] S. Senthilkumar, S. Manivannan, R. Venkatesh, and M. Karthikeyan, “Influence of heat input on the mechanical characteristics, corrosion and microstructure of ASTM A36 steel welded by GTAW technique,” *Heliyon*, vol. 9, no. 9, p. e19708, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19708>.
- [23] A. Ahsan Feroz, Harshit, D. Chawla, and R. Kumar, “To study and analyze the design of drive shafts for automobiles using composite material through empirical review on literature,” *Mater. Today Proc.*, vol. 56, pp. 3820–3822, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2022.01.309.
- [24] R. Raushan, K. K. Dhande, N. I. Jamadar, and P. D. Malwe, “Material characterization, design and analysis of CF/PA66 drive shaft with high strength carbon steel,” *Mater. Today Proc.*, vol. 64, pp. 51–58, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.512>.
- [25] D. Jeong, S. Kim, J. Lee, S. B. Choi, M. Kim, and H. Lee, “Estimation of Tire Load and Vehicle Parameters Using Intelligent Tires Combined With Vehicle Dynamics,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 70, pp. 1–12, 2021, doi: 10.1109/TIM.2020.3031124.



- [26] D. Jeong, J. Lee, S. Choi, and M. Kim, "Load Estimation of Intelligent Tires Equipped with Acceleration Sensors," in *2019 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/SAS.2019.8705988.
- [27] N. Xu, H. Askari, Y. Huang, J. Zhou, and A. Khajepour, "Tire Force Estimation in Intelligent Tires Using Machine Learning," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 4, pp. 3565–3574, 2022, doi: 10.1109/TITS.2020.3038155.
- [28] V. Plaza Rincón, "Cálculo y diseño de remolque para Protección Civil," 2022.
- [29] L. Wei, M. B. Kobav, and G. Bizjak, "Relationship between lighting levels and vehicle speed in the urban area of Ljubljana," in *2021 Sixth Junior Conference on Lighting (Lighting)*, 2021, pp. 1–5. doi: 10.1109/Lighting49406.2021.9599019.
- [30] H. Ozbek and U. Aydemir, "A Novel Fiber Optical Central Lighting System For Today and Futures Vehicles," in *2022 International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA)*, 2022, pp. 1–4. doi: 10.1109/INISTA55318.2022.9894184.
- [31] J.-H. Yoo *et al.*, "Demonstration of vehicular visible light communication based on LED headlamp," in *2013 Fifth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, 2013, pp. 465–467. doi: 10.1109/ICUFN.2013.6614862.
- [32] H. Pérez Acosta, "Estudio y diseño de un remolque ligero para automoción," 2019, *Universitat Politècnica de Catalunya*.
- [33] B. Ministerio de la presidencia, "Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de vehículos," *Boe*, pp. 46932–46946, 2005.
- [34] T. y C. Ministerio de Industria, "Real Decreto 750/2010, de 4 de junio, por el que se regulan los procedimientos de homologación de vehículos de motor y sus remolques, máquinas autopropulsadas o remolcadas, vehículos agrícolas, así como de sistemas, partes y piezas de dichos vehículos.," *Boe*, vol. 153, no. I, pp. 55026–55319, 2010.
- [35] P. del Gobierno, "España. Real Decreto 2028/1986, de 6 de junio, por el que se dictan normas para la aplicación de determinadas Directivas de la CEE, relativas a la homologación de tipos de vehículos automóviles, remolques y semirremolques, así como de partes y piezas de d," *España*, p. 8, 1986.
- [36] "Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre, por el que se aprueba." Accessed: Jan. 15, 2024. [Online]. Available: https://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/rd2822-1998.html
- [37] J. Preciado, "Reglamento a Ley de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial," *Ley*, pp. 1–91, 2014.



- [38] Ministerio de obras publicas, “Tabla nacional de pesos y dimensiones,” *Registro Oficial*, p. 24, 2012.
- [39] J. M. Estébanez, “Diseño De Un Conector Automático Tractor- Remolque,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [40] C. R. Vidal, *Diseño mecánico con SolidWorks 2015*. Ra-Ma Editorial, 2016.
- [41] A. V. Lázaro, *Simulación con Solidworks*. Editorial Macro, 2014.
- [42] F. J. M. Arias, G. M. C. Arcos, D. A. N. Zurita, and H. P. T. Freire, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REMOLQUE TIPO PLATAFORMA CAMA ALTA DE DOS EJES CON CAPACIDAD DE 15 TONELADAS PARA LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE”.
- [43] F. X. Proaño Recalde and E. M. Yépez Moran, “Diseño y construcción de un remolque de mantenimiento para el club de automovilismo UTN Racing Team,” 2022.
- [44] C. E. Flores, “Soldadura al arco eléctrico SMAW,” *Guatemala: Universidad Rafael Landívar*, 2002.
- [45] D. C. Andino Vásquez, “Evaluación de la resistencia al desgaste de los recubrimientos obtenidos con electrodos: E7018, E6013, E6011. bajo la norma técnica ASTM G83-96,” 2020.
- [46] M. C. Piaún Cabrera, “Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la soldadura obtenida con los electrodos E7018 de diferentes marcas utilizados en la industria nacional,” 2013, *QUITO*, 2013.
- [47] J. Varcárcel, “La Motocicleta,” *Dirección General de Tráfico, Madrid*, pp. 1–28, 2014.
- [48] S. R. Davoodi, H. Hamid, S. Arintono, and R. Muniandy, “Motorcycle Characteristics for Sight Distance Investigation on Exclusive Motorcycle Lanes,” *J. Transp. Eng.*, vol. 137, no. 7, pp. 492–495, 2011, doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000226.
- [49] M. Arias-Paz, *Motocicletas*, 32nd ed. Madrid (España): CIE INVERSIONES EDITORIALES DOSSAT 2000 S.L, 2003.
- [50] SUZUKI, “Suzuki Moto | GSX-8R.” Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: <https://moto.suzuki.es/motos/deportivas/2024/gsx-8r>
- [51] A. Guardia, “Estas son las 5 mejores motos Gran Turismo 2022 - Motorbike Magazine,” Feb. 2022.
- [52] Yamaha, “TENERE 700 - Yamaha Motos.” Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.yamahamotos.cl/producto/tenere-700/>
- [53] R. Ruiz, “Las mejores motos custom A2 de 2022 | Moto1Pro,” Jun. 2022.



- [54] KTM, “KTM 1290 SUPER DUKE R - KTM Chile.” Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.ktm.cl/naked/ktm-1290-super-duker2022>
- [55] MotoPower, “Motos scooter y Motonetas | Moto Power - Moto Power | Tu tienda de motos, bicicletas y movilidad.” Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.motopower.com.ec/movilidad/motos/motos-combustion/moto-scooter>
- [56] Ebay, “YAMAHA DT 400 1975 BICICLETA DE TRAIL DE 2 TIEMPOS * PROYECTO DE RESTAURACIÓN * CARRERAS Y PASEO | eBay.” Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.ebay.co.uk/itm/256348633769>
- [57] TRS, “Moto Trial TRS.” Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: <https://trsmotorcycles.com/>
- [58] R. Yamaha, “Moto Cross YZ450F | Yamaha Perú.” Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.yamaha-motor.com.pe/yz450f>
- [59] DirtBike, “TODO SOBRE LA KTM 300 DE 2 TIEMPOS - Dirt Bike Magazine.” Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: <https://dirtbikemagazine.com/es/todo-sobre-el-ktm-300-2-tiempos/>
- [60] “Yamaha Motos.” Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.yamahamotos.cl/>
- [61] D. Planchard, *Engineering Design with SOLIDWORKS 2024: A Step-by-Step Project Based Approach Utilizing 3D Solid Modeling*. SDC Publications, 2024. [Online]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=LrbtEAAAQBAJ>
- [62] “Imagen del logotipo del software SolidWorks. | Descargar diagrama científico.” Accessed: May 16, 2026. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Imagen-del-logotipo-del-software-SolidWorks_fig1_380212607
- [63] E. Madenci and I. Guven, *The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS®*. Springer US, 2007. [Online]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=QKL2_5jFN4sC
- [64] “Archivo:ANSYS logo.png - Wikimedia Commons.” Accessed: May 16, 2026. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ANSYS_logo.png
- [65] R. H. Helle and H. G. Lemu, “A case study on use of 3D scanning for reverse engineering and quality control,” *Mater. Today Proc.*, vol. 45, pp. 5255–5262, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.828>.
- [66] “Einstar escaner 3D marca Shining3D: ESCANERES 3D: : Bstar3D : ARTICULO, IMPRESION, MODELADO, 3D, VENTA, IMPORTADORES, QUITO, ECUADOR.” Accessed: May 16, 2026. [Online]. Available: <https://bstar.com.ec/articulo-impresion-modelado-3d-venta-importadores-quito-ecuador.php?recordID=1046>



- [67] “▷ CFMoto 650MT 2023-2024 - Precio, ficha técnica, opiniones y ofertas.” Accessed: Nov. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.motofichas.com/marcas/cfmoto/650mt>
- [68] E. Arroyo and R. Ayala, “Diseño y construcción del bastidor y sistema de suspensión de un car-cross monoplaza para servicio turístico,” Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, 2013.
- [69] P. Quezada, “Diseño Y Fabricación Del Chasis Para Un Kart Kf4 Según La Normativa Cik/Fia,” 2018.
- [70] E. Arroyo and R. Ayala, “Diseño y construcción del bastidor y sistema de suspensión de un car-cross monoplaza para servicio turístico,” Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, 2013.
- [71] “ASTM A500 Acero, grado C, tubería estructural redonda.” Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=c5b4adbcee774d7e8be46783bf8e3b79&ckck=1>
- [72] J. G. Ardila-Marín, D. A. Hincapié-Zuluaga, and J. A. Sierra-del-Río, “Independencia De Malla En Tubos Torsionados Para Intercambio De Calor: Caso De Estudio,” *Revista de la Facultad de Ciencias*, vol. 5, no. 1, pp. 124–140, 2016, doi: 10.15446/rev.fac.cienc.v5n1.54231.
- [73] J. López and M. Morillo, “Diseño y construcción de un remolque con capacidad para dos motocicletas,” Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2009.
- [74] C. García and J. Morocho, “Diseño Y Construcción De Un Remolque Utilitario Para Vehículo Monoplaza De Karting.,” Cuenca, 2024.
- [75] R. Piña, “Diseño Y Construcción De Un Remolque Utilitario Para Vehículo Monoplaza De Karting.,” Guayaquil, Jun. 2021.



ANEXOS

Anexo 1

Figura 78 Especificaciones Técnicas - Semi Eje de Torsión

Parámetro Técnico	Detalle / Especificación
Capacidad de Carga Máxima	400 kg por conjunto (par de semiejes)
Configuración de Manzana	4 pernos (mantenimiento y acople rápido)
Compatibilidad de Aros	Diseñado para aros ligeros / utilitarios pequeños
Sistema de Suspensión	Interna por cartucho de gomas de alta densidad
Tipo de Amortiguación	Independiente por torsión (sin paquetes de resortes)
Configuración de Ancho	Modular / Regulable (sin tubo central fijo)
Instalación	Listo para empernar directamente al chasis
Garantía de Fábrica	6 meses contra defectos de manufactura

Anexo 2

Figura 79 Especificaciones Técnicas – Wincha Eléctrica

Tirón de línea nominal:	2000 libras (908 kg) de una sola línea
Motor:	CC 12 V: 1,8 CV/1,4 kW
	Engranaje planetario de 1 etapa
Relación de transmisión:	153:1
Embrague:	Tirar y girar
Acción de frenado:	Dinámico y Mecánico
Guía:	Guía de rodillos de 4 vías
Cable de alambre:	5/32"x49"(4mmx15m)
Tamaño del tambor:	1,24" x 2,88" (31,5 mm x 73 mm)
Dimensiones:	11.02"x4.33"x4.25"(280mmx110mmx108mm)
	11.37"x4.33"x6.1"(289mmx110mmx155mm)
Patrón de pernos:	3,13 pulgadas (79,5 mm)
Peso neto:	18 libras (7,3 kg)



Anexo 3

Figura 80 Especificación ASTM A500 para tubos estructurales

Estándar	ASTM A500	
Procedimiento	ERW, SMLS, SSAW, LSAW	
Dimensiones	13,7 mm - 2235 mm	
	1/4" - 88"	
	DN8 - DN400	
Espesor	1,65 mm - 25,4 mm	
	SCH 5S -SCH XXS	
Unidad Longitud	1,5 - 18 metros	
Grado de acero	ASTM A500 Gr. A	ASTM A500 Gr. C
	ASTM A500 Gr. B	ASTM A500 Gr. D
Revestimiento de superficies	Barnizado, negro, aceitado, galvanizado en caliente	
Tipo final	Corte cuadrado, biselado, roscado, ranurado	
Método conjunto	Racor, brida, acoplamiento, abrazadera, hombro de tubo, soldadura	
Mecanizado de tubos	Soldadura, plegado, taladrado, punzonado, estampado, conificado, abocardado, expansión	

Anexo 4

Figura 81 Especificaciones Técnicas Plancha Acero A36



PLANCHAS DE ACERO A36

Planchas de acero, también conocido como laminado en caliente (LAC) de acero en calidad A36. La plancha es una placa de acero estructural utilizado para la construcción en general y aplicaciones industriales.

Especificaciones: ASTM A36, AISI A36

Fácil de soldar, cortar, dar forma y maquinar.

Se mide en espesor x ancho x largo

Propiedades Mecánicas	Limite de Fluencia (kg/mm ²)	
	Resistencia a la Tracción (kg/mm ²)	24 min.
	Alargamiento (%) en 50 mm	41 min.
		18 min.

NORMA TÉCNICA	GRADO B				
	C	Mn	P	S	Si
A36	0,25	0,8-1,2 máx	0,040 máx	0,050 máx	0,40 máx

Espesor		Ancho		Largo		Peso Teórico
mm	pulg	mm	pie	mm	pie	Kg/plancha
1.5	1/16	1200	4	2400	8	33.91
2.0	5/64	1200	4	2400	8	44.05
2.5	3/32	1200	4	2400	8	55.55
3.0	1/8	1200	4	2400	8	67.08
		1500	5	3000	10	109.2
4.5	3/16	1200	4	2400	8	100.50
		1500	5	3000	10	164.5
		1200	4	2400	8	134.81
		1500	5	3000	10	212.00
6.0	1/4"	1500	5	6000	20	423.90
		1200	4	2400	8	180.60
		1500	5	6000	20	565.20
		2400	8	6000	20	904.32
		1200	4	2400	8	203.26
		1500	5	3000	10	318.00
9.0	3/8"	1500	5	6000	20	635.85
		2400	8	6000	20	10173.36
		1200	4	2400	8	279.90
		1500	5	3000	10	424.00
12.0	1/2"	1500	5	6000	20	847.80
		2400	8	6000	20	1356.48
		3000	10	6000	20	1695.60
		1200	4	2400	8	363.74
16	5/8"	1500	5	6000	20	1130.40
		2400	8	6000	20	1808.64
		3000	10	6000	20	2260.80
		1200	4	2400	8	433.60
19	3/4"	1500	5	3000	10	671.175
		1500	5	6000	20	1342.35
		2400	8	6000	20	2147.76
		3000	10	6000	20	2684.70
25	1"	1500	5	6000	20	1766.25
		2400	8	6000	20	2826.00
		3000	10	6000	20	3532.50
		1500	5	6000	20	2260.80
32	1 1/4"	2400	8	6000	20	3617.28
		3000	10	6000	20	4521.60
		1500	5	6000	20	2684.70
		2400	8	6000	20	4295.52
38	1 1/2"	3000	10	6000	20	5369.40
		1500	5	6000	20	3532.50
		2400	8	6000	20	5652.00
		3000	10	6000	20	7065.00
50	2"					



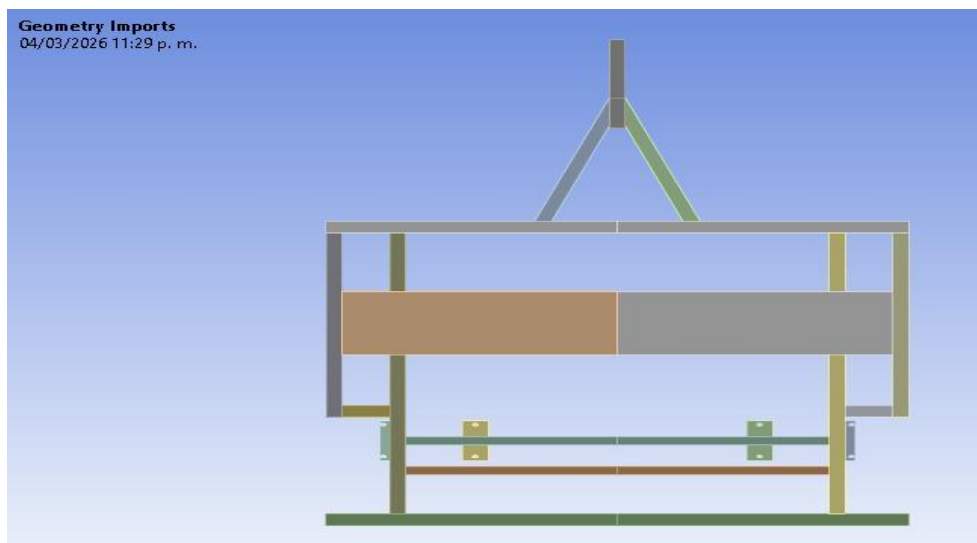
Anexo 5

Figura 82 Sistema de Iluminación LED



Anexo 6

Figura 83 Vista Superior del Remolque con perfiles estructurales





Anexo 7

Figura 84 Soldadora MIG - MAG



Anexo 8

Figura 85 Alambre Sólido ER70S-6





Anexo 9

Tabla 13 Proforma Fabricación Remolque

Categoría	Descripción del Rubro	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)	
1. Materiales Estructurales	Tubo Cuadrado 60x60x2 mm	1	25	25	
	Tubo Cuadrado 40x40x3 mm	1	20	20	
	Perfil Angular 25x25x3 mm	1	6	6	
	Plancha Antideslizante 2 mm	1	50	50	
	Plancha Lisa 1,5 mm	1	20	20	
	Plancha Lisa 2 mm	1	30	30	
	Placas Lisas 5 mm	2	15	30	
	Placas Lisas 8 mm	2	20	40	
	2. Insumos y Consumibles	Rollo de alambre y gas (GMAW)	1	25	25
		Discos de corte, desbaste y lijas	1	10	10
Fondo anticorrosivo y pintura final		1	15	15	
3. Componentes Comerciales	Semi Ejes de Torsión	1	300	300	
	Llantas y Aros	2	25	50	
	Acople de Bola	1	20	20	
	Wincha Eléctrica	1	150	150	
4. Manufactura y Servicios	Kit de Iluminación LED	2	15	15	
	Servicio de corte por plasma CNC	1	40	40	
	Mano de obra para soldadura/ensamblaje	1	150	150	
TOTAL:				996\$	



Anexo 10

Figura 86 Proceso de Manufactura





Anexo 11

Figura 87 Planos Bastidor

