



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PORTABICICLETAS
ACOPLADO A UNA BARRA DE TIRO PARA VEHÍCULOS TIPO SUV”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: Ingeniero en
mantenimiento automotriz

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

AUTOR:

Santos Suarez Bryan Antonio

DIRECTOR:

Ing. Carlos Nolasco Mafla Yépez

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:	Santos Suarez Bryan Antonio

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Diseño y construcción de un sistema portabicicletas acoplado a una barra de tiro para vehículos tipo SUV
AUTOR:	Santos Suarez Bryan Antonio
FECHA: DD/MM/AAAA	14/04/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en mantenimiento automotriz
DIRECTOR /ASESOR:	Ing. Carlos Mafla PhD/ Ing. Jorge Melo MsC

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 14 días del mes de abril de 2026

EL AUTOR:

.....
Nombre: Santos Suarez Bryan Antonio



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, 14 de abril de 2026

Mafla Yépez Carlos Nolasco

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. MAFLA YÉPEZ CARLOS NOLASCO 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 y construcción de un sistema portabicicletas acoplado a una barra de tiro para vehículos tipo SUV” elaborado por Santos Suarez Bryan Antonio, previo a la obtención del título de ingeniero en mantenimiento automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f):.....
Ing. Mafla Yépez Carlos Nolasco PhD
C.C.: 0401447826

(f):.....
Ing. Jorge Luis Melo Obando MSc
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



DEDICATORIA

El presente estudio está dedicado con mucho amor a mi hijo Dereck, quien me motivó a luchar por mis sueños y volver a retomar mis estudios, él quien con su sonrisa me dio las fuerzas para que logre trabajar y estudiar al mismo tiempo. De igual forma, mediante esta meta cumplida quiero enseñarle que nunca es tarde para cumplir los sueños y objetivos planteados.

Bryan Antonio Santos Suarez



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a mis padres por brindarme la oportunidad de ser un profesional, con su esfuerzo y dedicación hoy eso es posible.

A mis hermanas mayores, quienes siempre han estado junto mi para escucharme, comprenderme y redireccionarme cuando ha sido necesario, ellas, quienes representan en mí un ejemplo a seguir.

A mi esposa por no dejarme rendir en las ocasiones en que he sentido el no poder más, a ella, quien con su paciencia, amor y ternura me ha motivado a seguir adelante.

Agradecer a mi segunda familia, Proaño Pazmiño por motivarme, incentivar me y apoyarme a que cumpla mis sueños.

Bryan Antonio Santos Suarez



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto consiste en el diseño y construcción de un portabicicletas acoplado a una barra de tiro de vehículos SUV, con el propósito de brindar una solución segura y practica para trasladar bicicletas en recorridos urbanos y de larga distancia. El diseño está basado en la evaluación de los requerimientos normativos y funcionales, considerando la estabilidad dinámica y estática, capacidad de carga, ergonomía, resistencia estructural, facilidad de montaje y desmontaje en este tipo de vehículos. Mediante el uso de herramientas digitales como el CAD se realizó el diseño para luego hacer el análisis estructural por elementos finitos (FEA); para comprobar el rendimiento del portabicicletas frente a cargas dinámicas y estáticas mediante pruebas de flexión y torsión, verificando su factor de seguridad. Este portabicicletas está construido con aleaciones livianas y acero estructural para obtener alta resistencia a la deformación y conseguir una balanza entre robustez y peso. El mecanismo cuenta con brazos que se pueden ajustar, zonas de sujeción para proteger los cuadros de las bicicletas, pasadores reforzados y otros componentes. Obteniendo un sistema confiable, modular y de fácil instalación sin poner en riesgo la maniobrabilidad o la seguridad del vehículo. Este sistema es una opción competitiva en el mercado nacional y va dirigida a los usuarios que requieren soluciones duraderas y adaptables para las actividades deportivas y recreativas.

Palabras clave: Portabicicletas, vehículos SUV, diseño, simulación, bicicleta



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



ABSTRACT

The project involves the design and construction of a bicycle rack that attaches to the tow bar of SUVs, providing a safe and practical solution for transporting bicycles on urban and long-distance journeys. The design is based on an evaluation of regulatory and functional requirements, considering dynamic and static stability, load capacity, ergonomics, structural strength, and ease of assembly and disassembly on these types of vehicles. Using digital tools such as CAD, the design was created, followed by a finite element analysis (FEA) to verify the rack's performance under dynamic and static loads through bending and torsion tests, confirming its safety factor. This bicycle rack is constructed with lightweight alloys and structural steel to achieve high resistance to deformation and a balance between robustness and weight. The mechanism features adjustable arms, padded clamping areas to protect bicycle frames, reinforced pins, and other components. This system offers a reliable, modular, and easy-to-install solution without compromising vehicle maneuverability or safety. It is a competitive option in the national market and is designed for users who require durable and adaptable solutions for sports and recreational activities.

Keywords: Bike rack, SUV vehicles, design, simulation, bicycle



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



LISTA DE SIGLAS

- SUV.** Vehículo Deportivo Utilitario
- CAD.** Diseño Asistido por Computador
- FEA.** Análisis de Elementos Finitos
- FEM.** Método de Elementos Finitos
- CAE.** Ingeniería Asistida por computador
- ASTM.** Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales
- CO₂.** Dióxido de Carbono
- GMAW.** Soldadura por Arco con Gas y Metal
- SMAW.** Soldadura por Arco Metálico Protegido
- MIG.** Gas Inerte Metálico



ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	19
INTRODUCCIÓN	19
1.1 Problema de investigación	19
1.1.1. Antecedentes	19
1.2. Objetivos	21
1.2.1. Objetivo General	21
1.2.2. Objetivos específicos.....	22
1.3. Alcance.....	22
1.4. Justificación.....	23
CAPÍTULO II.	25
MARCO TEÓRICO	25
2.1 Definición de sistemas auxiliares vehiculares.....	25
2.2 Vehículos tipo SUV y características estructurales	26
2.2.1 Clasificación de vehículos SUV	26
2.2.2 Estructura monocasco y chasis	29
2.3 Puntos de anclaje estructurales en SUV	31
2.4 Capacidad de carga y distribución de masas	33
2.4.1 Capacidad de carga.....	33
2.4.2 Capacidad de carga y factores estructurales.....	34
2.5 Distribución de masas y centro de gravedad.....	35
2.6 Modificaciones vehiculares y su influencia estructural en vehículos SUV	35
2.6.1 Modificaciones vehiculares: concepto general	35
2.6.2 Modificaciones estructuralmente permitidas en vehículos SUV	36
2.7 Modificaciones no recomendadas desde el punto de vista estructural.....	40



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



2.8	Sistemas auxiliares de acoplamiento: barra de tiro y ganchos de remolque	41
2.8.1	Principio de funcionamiento de las barras de tiro	42
2.8.2	Clasificación de barras de tiro según SAE J684	43
2.8.3	Componentes de una barra de tiro	44
2.8.4	Proceso de diseño y análisis	49
2.8.5	Materiales y procesos de fabricación	50
2.8.6	Comparación de propiedades de materiales	52
2.9	Portabicicletas y accesorios de transporte montados en el vehículo	53
2.9.1	Características generales	54
2.9.2	Clasificación básica.....	54
2.9.3	Materiales utilizados en portabicicletas	56
2.10	Relación entre barra de tiro y portabicicletas en SUV	59
CAPÍTULO III.		61
MATERIALES Y MÉTODOS		61
3.1	Revisión de requerimientos funcionales y normativos	61
3.2	Requerimientos para el diseño de la barra de tiro (SUV)	63
3.2.1	Selección del vehículo de referencia.....	63
3.2.2	Clasificación de la barra de tiro.....	64
3.2.3	Cargas de diseño para la barra de tiro	64
3.3	Requerimientos para el diseño del portabicicletas	67
3.4	Modelado CAD	68
3.4.1	Escaneo 3d de vehículo SUV	68
3.4.2	Diseño de barra de tiro	69
3.4.3	Diseño del portabicicletas	69
3.4.4	Ensamble de elementos en la barra de tiro	71
3.5	Análisis por elementos finitos	71
3.5.1	Propiedades y dimensiones de material	71



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



3.5.2	Mallado.....	72
3.5.3	Condiciones de borde para análisis FEM de la barra de tiro.....	75
3.5.4	Condiciones de borde para análisis FEM del portabicicletas.....	78
3.6	Proceso de fabricación	80
3.6.1	Procesos de fabricación seleccionados.....	80
3.6.2	Fabricación de barra de tiro.....	81
3.6.3	Fabricación del portabicicletas.....	83
CAPÍTULO IV		85
RESULTADOS.....		85
4.1	Resultados correspondientes a la barra de tiro	85
4.1.1	Resultados FEM de la barra de tiro ensayo A	85
4.1.2	Resultados FEM de la barra de tiro ensayo B	87
4.1.3	Resultados FEM de la barra de tiro ensayo C	89
4.1.4	Resultados FEM de la barra de tiro ensayo D.....	91
4.1.5	Resultados FEM de la barra de tiro ensayo E	93
4.2	Resultados correspondientes al portabicicletas	95
4.2.1	Resultados FEM del portabicicletas.....	96
4.3	Resultados del proceso de fabricación.....	98
CAPÍTULO V		101
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		101
5.1	Conclusiones	101
5.2	Recomendaciones.....	103
BIBLIOGRAFÍA.....		104
ANEXOS.....		108



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de vehículos SUV.....	26
Tabla 2. Tabla comparativa de puntos de anclajes.....	33
Tabla 3. Clasificación de las barras de tiro	43
Tabla 4. Características de los receptores	45
Tabla 5. Clases de enganche y capacidad de carga.....	47
Tabla 6. Tabla comparativa de materiales usados en fabricación de barras de tiro	53
Tabla 7. Tabla comparativa de materiales usados en fabricación de portabicicletas	59
Tabla 8. Normativa vs Criterios de diseño	60
Tabla 9. Normativas internacionales para criterios de diseño y ensayo.....	63
Tabla 10. Especificaciones técnicas Geely Azkarra.....	63
Tabla 11. Clasificación SAE J684.....	64
Tabla 12. Cargas para ensayos de barra de tiro.....	65
Tabla 13. Valores calculados para cada paso de ensayos estructurales	67
Tabla 14. Propiedades mecánicas Acero ASTM A36.....	72
Tabla 15. Propiedades mecánicas Acero ASTM A500 grado C	72
Tabla 16. Estadística de malla de la barra de tiro y del portabicicletas	73
Tabla 17. Procesos de fabricación seleccionados.....	80
Tabla 18. Materiales para la barra de tiro.....	81
Tabla 19. Materiales para el portabicicletas.....	83



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Tabla 20. Peso de elementos fabricados.....100



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura monocasco (Unibody)	29
Figura 2. Estructura chasis (Body on frame).....	30
Figura 3. Diseño de barra de tiro para un vehículo SUV	37
Figura 4. Portabicicletas en barra de tiro.....	38
Figura 5. Portabicicletas en rack de techo	38
Figura 6. Barras de techo y Rack de carga	39
Figura 7. Lift de suspensión para un SUV	39
Figura 8. Defensa bull bar en vehículo SUV	40
Figura 9. Barra de tiro y ganchos de remolque	41
Figura 10. Componentes de una barra de tiro	44
Figura 11. Receptor	45
Figura 12. Brazo de enganche	46
Figura 13. Bola de enganche	47
Figura 14. Placas de anclaje	48
Figura 15. Refuerzos estructurales	48
Figura 16. Proceso de diseño y análisis.....	49
Figura 17. Portabicicletas sobre bola de remolque	55
Figura 18. Portabicicletas sobre techo.....	55
Figura 19. Portabicicletas sobre puerta del maletero	56
Figura 20. Proceso metodológico.....	61



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Figura 21. Dirección de fuerzas de aplicación en la bola de acoplamiento	66
Figura 22. Escaneo 3D parte posterior vehículo	68
Figura 23. Diseño CAD de barra de tiro	69
Figura 24. Diseño CAD de portabicicletas: (a) desplegado, (b) plegado.....	70
Figura 25. Ensamble del portabicicletas en la barra de tiro	71
Figura 26. Espectro de métrica de calidad de malla.....	73
Figura 27. Calidad de malla de la barra de tiro	74
Figura 28. Calidad de malla del portabicicletas	74
Figura 29. Condición de soporte fijo para la barra de tiro	75
Figura 30. Condición de punto remoto para aplicación de cargas	76
Figura 31. Distribución de cargas para evento A	76
Figura 32. Distribución de cargas para evento B	77
Figura 33. Distribución de cargas para evento C	77
Figura 34. Distribución de cargas para evento D.....	78
Figura 35. Distribución de cargas para evento E	78
Figura 36. Condición de soporte fijo para el portabicicletas.....	79
Figura 37. Condición de carga <i>Pfrontal</i> para el portabicicletas	79
Figura 38. Condición de carga <i>Pposterior</i> para el portabicicletas.....	80
Figura 39. Proceso de corte mediante plasma CNC.....	81
Figura 40. Ensamblaje de elementos de la barra de tiro previo a soldadura.	82
Figura 41. Proceso de soldadura MIG en unión estructural	82



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Figura 42. Estructura base del portabicicletas.....	83
Figura 43. Soportes de rueda.....	84
Figura 44. Sistema completo ensamblado.....	84
Figura 45. Resultado de esfuerzo de Von Mises evento A	85
Figura 46. Resultado de deformación evento A	86
Figura 47. Resultado de factor de seguridad evento A	87
Figura 48. Resultado de esfuerzo de Von Mises evento B.....	88
Figura 49. Resultado de deformación evento B	88
Figura 50. Resultado de factor de seguridad evento B.....	89
Figura 51. Resultado de esfuerzo de Von Mises evento C.....	90
Figura 52. Resultado de deformación evento C	90
Figura 53. Resultado de factor de seguridad evento C.....	91
Figura 54. Resultado de esfuerzo de Von Mises evento D	92
Figura 55. Resultado de deformación evento D.....	92
Figura 56. Resultado de factor de seguridad evento D	93
Figura 57. Resultado de esfuerzo de Von Mises evento E.....	94
Figura 58. Resultado de deformación evento E	94
Figura 59. Resultado de factor de seguridad evento E.....	95
Figura 60. Verificación de montaje de bicicletas en el mecanismo diseñado.....	95
Figura 61. Resultado de esfuerzo de Von Mises del portabicicletas.....	96
Figura 62. Resultado de deformación del portabicicletas	97



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Figura 63. Resultado de factor de seguridad del portabicicletas.....	97
Figura 64. Barra de tiro terminada	98
Figura 65. Portabicicletas terminado.....	98
Figura 66. Pesaje de la barra de tiro	99
Figura 67. Pesaje del portabicicletas.	99
Figura 68. Prueba del sistema con bicicleta.	100



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación

1.1.1. Antecedentes

El desarrollo de sistemas portabicicletas para vehículos automotores ha sido objeto de estudio y aplicación desde finales del siglo XX, como respuesta al incremento del uso de la bicicleta con fines recreativos, deportivos y de transporte alternativo. Diversas investigaciones y desarrollos industriales han abordado el diseño de dispositivos auxiliares orientados a mejorar la seguridad, estabilidad y facilidad de transporte de bicicletas, adaptándose a distintos tipos de vehículos y condiciones de operación.

En el ámbito internacional, los primeros sistemas portabicicletas se caracterizaron por diseños simples, fabricados principalmente en acero, con mecanismos de fijación básicos y limitada consideración de aspectos ergonómicos y dinámicos. Con el avance de la ingeniería automotriz y el desarrollo de normativas específicas, estos sistemas evolucionaron hacia soluciones más robustas y seguras, incorporando análisis estructurales, estudios de carga y criterios de seguridad vial. Investigaciones como las planteadas por Shigley y Mischke destacan la importancia del diseño mecánico optimizado y el uso de factores de seguridad adecuados en dispositivos sometidos a cargas variables [1].

Estudios relacionados con la dinámica vehicular han demostrado que los dispositivos externos acoplados a vehículos influyen directamente en la distribución de cargas y el comportamiento



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



dinámico durante la aceleración, el frenado y la circulación en vías irregulares. Autores como Dixit y Singh analizan el efecto de la transferencia de carga en sistemas auxiliares, concluyendo que un diseño inadecuado puede generar vibraciones excesivas y concentraciones de esfuerzo que comprometen la integridad estructural del dispositivo y del vehículo [8]. Estos antecedentes resaltan la necesidad de considerar cargas dinámicas y factores de amplificación en el diseño de portabicicletas.

En relación con los sistemas de enganche, la normativa SAE J684 establece criterios claros para la clasificación, capacidad de carga y requisitos de seguridad de las barras de tiro utilizadas en vehículos automotores [3]. Diversos estudios técnicos y desarrollos industriales han tomado esta normativa como referencia para el diseño de accesorios acoplados al hitch, incluyendo portabicicletas, plataformas de carga y remolques ligeros. La adopción de estas normas ha permitido estandarizar diseños y mejorar la seguridad en el uso de dispositivos acoplados a vehículos tipo SUV.

Por otro lado, el avance en herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) y simulación por elementos finitos (FEA) ha permitido optimizar el desarrollo de sistemas portabicicletas. Investigaciones reportadas por Rao destacan el uso del método de los elementos finitos como una herramienta eficaz para evaluar tensiones, deformaciones y modos de falla antes de la fabricación de prototipos físicos [6]. Estos antecedentes han sentado las bases para la integración de análisis virtuales en proyectos de diseño mecánico, reduciendo costos y tiempos de desarrollo.

En el contexto latinoamericano y local, se han identificado iniciativas académicas orientadas al diseño y fabricación de portabicicletas como proyectos de titulación o investigación aplicada. Sin



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



embargo, muchos de estos trabajos se limitan a diseños conceptuales o prototipos básicos, sin una validación estructural completa ni un análisis profundo de normativas técnicas y condiciones reales de uso. Esta situación evidencia una brecha entre el desarrollo académico y la aplicación industrial, lo que refuerza la pertinencia de la presente tesis.

Adicionalmente, el creciente enfoque en la movilidad sostenible ha impulsado estudios relacionados con la promoción del uso de la bicicleta como medio de transporte alternativo. Organismos internacionales y autores especializados coinciden en que la disponibilidad de infraestructura y dispositivos de apoyo, como los sistemas portabicicletas, influye positivamente en la adopción del ciclismo recreativo y urbano. En este sentido, el diseño de sistemas seguros y accesibles constituye un elemento clave para fomentar prácticas de transporte más sostenibles.

Finalmente, los antecedentes revisados evidencian que, si bien existen avances significativos en el diseño de sistemas portabicicletas a nivel internacional, persiste la necesidad de desarrollar soluciones adaptadas a contextos específicos, que integren criterios técnicos, normativos y económicos. La presente tesis se fundamenta en estos antecedentes, proponiendo el diseño y construcción de un sistema portabicicletas acoplado a una barra de tiro para vehículos tipo SUV que responda a las exigencias actuales de seguridad, funcionalidad y sostenibilidad.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar y construir un sistema portabicicletas acoplado a una barra de tiro para vehículos tipo SUV, aplicando herramientas de diseño asistido por computadora y procesos de manufactura locales.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



1.2.2. Objetivos específicos.

- Analizar los requerimientos técnicos y estructurales del sistema portabicicletas y de la barra de tiro.
- Diseñar el sistema completo usando software CAD que garantice seguridad y facilidad de montaje.
- Realizar el análisis estructural por elementos finitos FEA para verificar el correcto funcionamiento de la barra de tiro y el portabicicletas.
- Construir la barra de tiro y el portabicicletas usando materiales disponibles en el mercado nacional.

1.3. Alcance

El presente estudio está enfocado en el diseño y construcción de un sistema portabicicletas para vehículos de tipo SUV. Para la culminación de este estudio se deben pasar por 4 fases como el análisis de los requerimientos técnicos, el diseño, la simulación, y la fabricación del sistema portabicicletas. Para dar inicio al proyecto se escaneará un vehículo de tipo SUV aplicando el escaneo de Shining Einstar y el software EXstar en donde se seleccionará la marca Geely y su modelo Azkarra del año 2024, para posteriormente proceder con el diseño tanto de la barra de tiro como del portabicicletas y las respectivas simulaciones. La fase del diseño será realizada mediante el uso de un programa a computador CAD y la fase de simulaciones será con ANSYS, todos estos softwares en su versión estudiantil.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



1.4. Justificación

El presente proyecto surge a partir de la necesidad de desarrollar soluciones técnicas que sean capaces de responder a las nuevas exigencias de movilidad, recreación y sostenibilidad en el transporte moderno. En los últimos años, el uso de la bicicleta ha experimentado un crecimiento sostenido como medio de recreación, deporte y transporte alternativo, motivado por la búsqueda de estilos de vida más saludables y por la creciente preocupación del impacto ambiental de los vehículos motorizados. Lo cual ha generado una demanda significativa de sistemas que permitan transportar bicicletas de forma segura, eficiente y práctica en vehículos particulares, especialmente en los de tipo SUV, mismos que se caracterizan por ser versátiles y confortables.

Pese a que existen diversos modelos de portabicicletas en el mercado local, se pueden ver limitaciones asociadas con su diseño y aplicación, entre las cuales sobresalen los elevados costos de adquisición, limitada adaptabilidad a diferentes configuraciones de vehículos, materiales que no garantizan resistencia estructural y ausencia de diseños optimizados para condiciones reales de operación, como vías irregulares, largas distancias o climas variables. Otra razón, es que muchos de los portabicicletas que encontramos en el mercado local son importados, por lo cual los costos se incrementan y se dificultan sus mantenimientos o reparaciones, gracias a esto se evidencia la necesidad de desarrollar un sistema portabicicletas diseñado para responder a las condiciones técnicas, económicas y de uso del entorno local.

Desde el punto de vista técnico y científico, el presente proyecto permite la aplicación y validación de principios fundamentales del diseño mecánico, la resistencia de materiales y la ingeniería estructural. El uso de la barra de tiro como punto de acoplamiento representa una solución eficiente



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



y segura, dado que este elemento está diseñado para soportar cargas significativas, permitiendo una mejor distribución de esfuerzos y una mayor estabilidad del sistema durante el desplazamiento. El desarrollo de este sistema portabicicletas permite el análisis de cargas estáticas y dinámicas, la evaluación de vibraciones, la selección adecuada de materiales y la optimización geométrica del diseño mediante el uso de herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) y simulación por elementos finitos (FEA).

Este proyecto muestra la viabilidad de diseñar y fabricar un sistema portabicicletas utilizando materiales y procesos de manufactura disponibles localmente. La propuesta de un sistema modular y adaptable abre la posibilidad de hacer mejoras en un futuro, personalizar el producto y eventualmente certificarlo bajo normativas técnicas vigentes, lo cual permitiría escalar a una producción comercial al ser una solución innovadora y pertinente dentro del campo de la ingeniería.



CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1 Definición de sistemas auxiliares vehiculares

Los sistemas auxiliares en vehículos comprenden aquellos conjuntos y dispositivos que, sin formar parte directa del sistema de propulsión, amplían la funcionalidad, seguridad y versatilidad del vehículo. Estos sistemas incluyen accesorios mecánicos externos que permiten el transporte adicional de carga o equipos recreativos, tales como remolques y portabicicletas. Desde el punto de vista ingenieril, estos sistemas deben integrarse al vehículo sin comprometer la integridad estructural ni la seguridad operativa por lo que su diseño debe basarse en normativas y un correcto análisis estructural con la finalidad de que exista una adecuada distribución de cargas y correcto desempeño dinámico del vehículo [2].

Los sistemas auxiliares tienen impacto sobre el consumo energético y la eficiencia general del vehículo y pueden ser tanto componentes integrados de fábrica como accesorios añadidos que amplían las capacidades del mismo (por ejemplo, barras de remolque y portabicicletas) [3].

La implementación de sistemas auxiliares en vehículos automotores, tales como barras de tiro y dispositivos portabicicletas, se encuentra sujeta en el Ecuador a un marco legal y técnico que prioriza la seguridad vial y la integridad estructural del vehículo. La Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial (LOTTTSV) exige que cualquier aditamento instalado en los



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



vehículos no debe afectar la visibilidad de los elementos de identificación ni de iluminación, por lo que el Art. 174 exige principalmente la legitimidad de las placas de los vehículos obligando a que el diseño y montaje de los accesorios lleve un papel muy importante [4].

2.2 Vehículos tipo SUV y características estructurales

2.2.1 Clasificación de vehículos SUV

Aunque no existen tantas tesis directamente sobre la definición de SUV, sí hay literatura académica y técnica que posiciona al SUV como un vehículo de pasajeros con características intermedias entre autos y vehículos de carga ligera, a menudo con tracción integral o capacidades ampliadas, y que puede estar diseñado sobre distintas estructuras según su propósito [5].

Los vehículos tipo SUV han venido siendo uno de los vehículos más estudiados respecto a seguridad y dinámica especialmente la estructura que los constituye y su respuesta frente a colisiones [5].

En la Tabla 1 se muestra la clasificación de los vehículos SUV, donde se dividen por criterios de clasificación, tipos de SUV y las características estructurales y funcionales más relevantes.

Tabla 1. Clasificación de vehículos SUV

Criterio de clasificación	Tipo de SUV	Características estructurales y funcionales	Implicaciones para diseño de barra de tiro y portabicicletas
Por tamaño y segmento	SUV subcompacto	- Plataforma para automóvil compacto. - Estructura monocasco liviana,	- Capacidad de carga vertical limitada;



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



	SUV compacto	<ul style="list-style-type: none"> - La distancia entre ejes corta, - Baja capacidad de carga - Estructura monocasco reforzado - Mayor altura al suelo, - Soporta carga moderada 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere diseño liviano y mínima concentración de esfuerzos en puntos de anclaje - Apto para portabicicletas y barras de tiro de Clase I–II; - Se recomienda realizar análisis de fatiga.
	SUV mediano	<ul style="list-style-type: none"> - Estructura monocasco robusto, - Mayor rigidez torsional, - Mejor distribución de masas 	<ul style="list-style-type: none"> - Permite barras de tiro Clase II–III; - Se recomienda realizar análisis FEM con cargas combinadas.
	SUV grande / full-size	<ul style="list-style-type: none"> - Chasis tipo bastidor o monocasco reforzado 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta capacidad de remolque. - Debe soportar mayores cargas verticales y momentos flectores.
Por tipo de estructura	Monocasco (unibody)	<ul style="list-style-type: none"> - Carrocería autoportante donde el chasis y la carrocería forman una sola estructura 	<ul style="list-style-type: none"> - Los anclajes se ubicarán en zonas reforzadas. - Se debe evaluar concentraciones de esfuerzo
	Bastidor (body-on-frame)	<ul style="list-style-type: none"> - Tienen chasis independiente y carrocería montada sobre el chasis 	<ul style="list-style-type: none"> - Facilita la instalación de barras de tiro - Mayor absorción de cargas originadas por el remolque



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Por sistema de tracción	Tracción delantera (FWD)	- Predomina en SUV pequeños y compactos. - Menor capacidad de remolque	- Uso limitado de barra de tiro. - Cargas verticales reducidas
	Tracción trasera (RWD)	- Mejor distribución de esfuerzos longitudinales	- Más adecuado para remolque ligero
	Tracción total (AWD / 4WD)	- Distribución de torque a múltiples ejes. - Mayor estabilidad	- Adecuado para barras de tiro con mayores cargas dinámicas
Por capacidad de carga	SUV liviano	- Carga útil aproximada: 400–600 kg	- Portabicicletas traseros con factores de seguridad FEM considerables
	SUV de carga media	- Carga útil aproximada: 600–800 kg	- Barras de tiro diseñadas bajo análisis de flexión y fatiga
	SUV de alta capacidad	- Carga útil > 800 kg	- Permite mayores clases de enganche - Análisis MEF obligatorio
Por uso principal	SUV urbano	-Principalmente mayor confort y eficiencia - Menor refuerzo estructural	- Mayores exigencias estructurales y normativas.



SUV off-road	- Refuerzos adicionales, mayor rigidez estructural	- Más adecuado para sistemas auxiliares estructurales
--------------	--	---

Tomado de: SAE International. Trailer couplings, hitches and safety chains, 2020

2.2.2 Estructura monocasco y chasis

a) Estructura monocasco (Unibody)

Este tipo de estructura se usa principalmente en autos para uso urbano y de pasajeros, este enfoque integra la carrocería y el chasis en una sola estructura como se logra observar en la Figura 1, reduciendo peso y mejorando la eficiencia energética del vehículo [8].

Figura 1. Estructura monocasco (Unibody)



Tomado de: Motor.es. Chasis autoportante o monocasco: qué es y qué ventajas aporta, 2026

b) Estructura con chasis (body-on-frame)

Los vehículos con chasis tipo *body-on-frame* se caracterizan por una arquitectura estructural en la cual la carrocería se monta de manera independiente sobre un bastidor rígido, generalmente de tipo escalera (*ladder frame*). En este diseño, el bastidor constituye el principal elemento resistente del vehículo, encargado de soportar las cargas estáticas y dinámicas generadas durante la operación, mientras que la carrocería cumple predominantemente funciones de protección, ergonomía y estética [6].

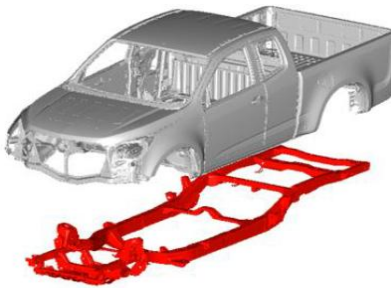


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



En el contexto del análisis estructural mediante el Método de Elementos Finitos (MEF), los vehículos con chasis body-on-frame de la Figura 2 permiten una modelación más directa de los flujos de carga, ya que el bastidor puede analizarse como un sistema estructural independiente. Esto resulta particularmente ventajoso en el diseño y validación de barras de tiro, donde es posible evaluar con mayor precisión los esfuerzos en los largueros, travesaños y puntos de unión, garantizando el cumplimiento de los requisitos de resistencia y seguridad establecidos por normativas internacionales [6], [7].

Figura 2. Estructura chasis (Body on frame)



Tomado de: A. Sarmento, A. Luiz, J. Pereira, C. A. Barbieri, y C. Sakuramoto. Body Structure contribution for automotive energy efficiency improvement, 2013

c) Comparación entre estructura monocasco y body on frame

Los análisis técnicos que se han realizado en base a estructuras vehiculares manifiestan que la estructura monocasco al combinar la carrocería y chasis en un solo cuerpo y al ser fabricadas con paneles de metal estampados y soldados presentan menos peso y mayor rigidez torsional, beneficios muy importantes en vehículos de pasajeros y SUV urbanos [8].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



En cambio, en la estructura body on frame, donde el bastidor y la carrocería son estructuras separadas presentan gran resistencia frente a carga elevadas y buena capacidad de remolque es por ello que se aplican más en camiones pesados o SUV grandes todoterreno [8].

La literatura técnica también resalta que la construcción unibody suele mejorar la absorción de energía ante impactos, al distribuir las cargas a través de la estructura completa, además de ofrecer mejores zonas de deformación controlada (crumple zones) [8].

En conclusión, la estructura monocasco brinda mayores ventajas en seguridad y prestaciones de manejo ya que la carga de impacto se distribuye a lo largo de la carrocería disminuyendo el riesgo de fatalidad en choques respecto a estructuras body on frame, además tienen menos probabilidad de sufrir vuelco debido a su diseño más ligero y rígido [5].

2.3 Puntos de anclaje estructurales en SUV

En vehículos con estructura monocasco, los puntos de anclaje no están fijados a un chasis externo sino a zonas reforzadas específicas de la carrocería propia, diseñadas para transmitir cargas sin comprometer la integridad general de la estructura. Aunque no existe una única tesis sobre SUV con fines de modificación, el enfoque de diseño estructural de chasis monocasco sí está documentado en proyectos relacionados con autos de alta eficiencia, que pueden extrapolarse a vehículos SUV en términos de metodología. En este caso:

Las áreas más aptas para anclaje son refuerzos de largueros y sub-estructuras internas diseñadas para soportar carga. Estas zonas suelen ser parte de la estructura de la carrocería y están reforzadas para transmisión de esfuerzos sin comprometer la integridad global [5].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Una tesis que analiza diseño y análisis de chasis monocasco en vehículos de competición (estructura autoportante) muestra cómo se realiza el análisis estático y de cargas en dichos sistemas, que es análogo al análisis de puntos estructurales de un SUV monocasco:

Se seleccionan materiales y se modela el cuerpo autoportante para evaluar resistencia mecánica y absorción de cargas bajo condiciones de servicio, lo cual permite determinar zonas estructurales que pueden soportar esfuerzos de acoplamiento u otras cargas externas [5].

Esta metodología de análisis puede usarse para justificar los puntos de fijación en SUV monocasco, identificándolos como zonas reforzadas del vehículo que pueden integrar accesorios (como barras de tiro y portabicicletas) sin debilitar la estructura global.

La literatura técnica en ingeniería automotriz identifica que el diseño de puntos de fijación para cargas adicionales debe ajustarse a la resistencia y rigidez de la estructura principal, usando análisis estructural y métodos como elementos finitos para garantizar que dichos puntos no generen concentraciones de esfuerzo que comprometan la seguridad del vehículo [11].

La Tabla 2 es una tabla comparativa de los puntos de anclajes en un vehículo, donde muestra la ubicación y la función principal de cada punto de anclaje según el tipo.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Tabla 2. Tabla comparativa de puntos de anclajes

Tipo	Ubicación	Función Principal
Anclaje delantero	Bastidor delantero	Sujeción cabrestante y remolque frontal
Anclaje trasero	Bastidor trasero	Sujeción remolque y accesorios traseros
Anclaje interno	Estructura interior/jaula antivuelco	Sujeción interna segura para equipamiento
Anclaje para portaequipajes	Techo o caja de carga	Fijación de cargas y accesorios externos

Tomado de: Todooffroad. Puntos de anclaje en 4x4, 2026

2.4 Capacidad de carga y distribución de masas

2.4.1 Capacidad de carga

La capacidad de carga útil (payload) y la distribución de masas son conceptos clave en ingeniería vehicular, ya que determinan cómo se comporta un vehículo bajo carga y cómo se afecta su dinámica. Aunque no siempre se estudia exclusivamente para SUV, los principios son aplicables y están bien documentados para vehículos de pasajeros:

Estudios de ingeniería demuestran que la posición del centro de gravedad cambia considerablemente con variaciones en la carga, lo cual influye directamente en la estabilidad, maniobrabilidad y distribución de esfuerzos en la estructura [13].

En análisis de vehículos de pasajeros, se ha demostrado que la distribución de masa afecta la geometría de ruedas y la respuesta de componentes de suspensión, lo que es relevante al considerar la instalación de cargas auxiliares en SUV [14].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



En automóviles y SUV, esta capacidad se determina considerando:

- Gross Vehicle Weight Rating (GVWR): peso máximo autorizado del vehículo en operación.
- Curb Weight: peso del vehículo vacío.
- Payload: diferencia entre GVWR y Curb Weight [15].

Exceder la carga útil puede afectar:

- Estructura de la carrocería
- Sistema de suspensión
- Frenos y control de estabilidad
- Seguridad general del vehículo [15].

2.4.2 Capacidad de carga y factores estructurales

Aunque la normativa específica de carga de SUV puede variar por país, desde una perspectiva estructural, el vehículo debe diseñarse para soportar:

- La masa del propio vehículo (kerb weight).
- El peso de pasajeros y carga colocada en posiciones específicas.
- Cualquier carga adicional significativa (equipaje, portabicicletas, sistema de remolque) [15].

La literatura técnica general destaca que los cambios en la carga y su distribución afectan directamente al comportamiento del vehículo y al esfuerzo en los componentes estructurales, lo cual debe considerarse en análisis globales y de diseño [14].



2.5 Distribución de masas y centro de gravedad

El centro de gravedad (CG) de un vehículo es un punto teórico donde se concentra la masa total del vehículo y es fundamental para predecir su comportamiento dinámico. La posición del CG depende de cómo se distribuye la masa entre los ejes delantero y trasero, así como de la altura de los componentes [16].

En vehículos tipo SUV, debido a la mayor altura de la carrocería y la disposición de elementos como motor, transmisión y pasajeros, el centro de gravedad suele situarse más alto que en automóviles compactos. Esto implica:

- Mayor propensión a rodar en curvas abruptas
- Mayor transferencia de peso en maniobras rápidas
- Mayor impacto de la carga adicional en la estabilidad

Estudios han mostrado que la posición del centro de gravedad cambia significativamente cuando la carga se distribuye de forma desigual, lo cual afecta directamente el desempeño de frenado, aceleración y la carga vertical sobre los ejes, siendo más crítico en SUV debido a su masa y altura geométrica [13].

2.6 Modificaciones vehiculares y su influencia estructural en vehículos SUV

2.6.1 Modificaciones vehiculares: concepto general

Las modificaciones vehiculares corresponden a alteraciones funcionales o accesorias realizadas sobre un vehículo con el fin de ampliar sus capacidades operativas sin comprometer la seguridad



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



ni la integridad estructural. En vehículos tipo SUV, estas modificaciones deben analizarse considerando la arquitectura estructural del vehículo, generalmente de tipo monocasco reforzado o chasis tipo escalera, así como los criterios normativos nacionales e internacionales aplicables [17].

Desde el enfoque del marco teórico desarrollado, las modificaciones permitidas se clasifican como sistemas auxiliares, siempre que no alteren la estructura primaria del vehículo ni interfieran con zonas de deformación programada, sistemas de suspensión o anclajes de seguridad [6].

Desde el punto de vista de la ingeniería automotriz, dichas modificaciones deben evaluarse considerando su impacto sobre:

- La integridad estructural del vehículo
- La distribución de cargas
- El comportamiento dinámico
- La seguridad pasiva y activa

En vehículos tipo SUV, estas modificaciones suelen estar asociadas al transporte de carga adicional, actividades recreativas o uso semiindustrial liviano, lo cual exige una evaluación estructural rigurosa [7].

2.6.2 Modificaciones estructuralmente permitidas en vehículos SUV

a) Instalación de barra de tiro (enganche de remolque)

Las barras de tiro introducen esfuerzos de tracción, flexión y cortante, modifica la distribución de cargas en la parte posterior del vehículo e incluso puede inducir fatiga si el diseño no se lo ha

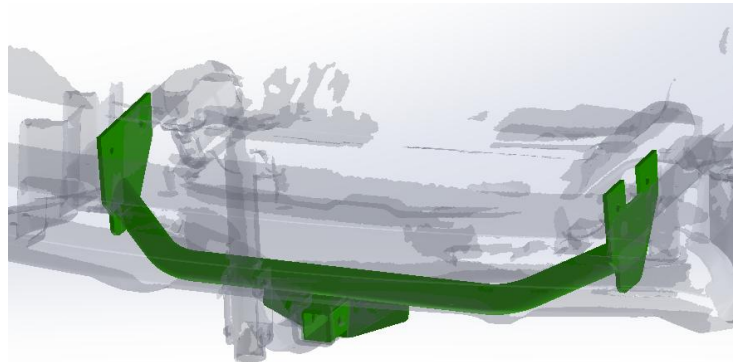


evaluado mediante factores dinámicos [18], por tanto, las barras de tiro son permitida desde el punto de vista estructural, siempre que:

- Se fije a puntos estructurales del chasis o bastidor
- No requiera perforaciones en elementos críticos no diseñados para carga
- Cumpla normas como SAE J684, ISO 7641-1 o ECE R55

La barra de tiro es considerada un sistema auxiliar externo, no una modificación estructural permanente del vehículo cuando su instalación es atornillada y reversible como se muestra en la Figura 3 [7].

Figura 3. Diseño de barra de tiro para un vehículo SUV



b) Instalación de portabicicletas (en barra de tiro o techo)

El uso de portabicicletas es permitido bajo criterios de carga máxima y estabilidad y estas dependerán en donde se acoplen [19].

Portabicicletas en barra de tiro:

- Carga transmitida directamente al sistema de acoplamiento
- Menor influencia sobre el centro de gravedad vertical



Figura 4. Portabicicletas en barra de tiro



Tomado de: Autocrash. Estudio de portabicicletas, 2005

Portabicicletas en techo:

- Incrementa el centro de gravedad
- Aumenta momentos de vuelco y cargas en pilares del techo

Figura 5. Portabicicletas en rack de techo



Tomado de: Autocrash. Estudio de portabicicletas, 2005

c) Instalación de barras de techo y racks de carga

Según [19], las barras de techo y racks de carga mostradas en la Figura 6 incrementan cargas en el techo y pilares además de afectar el comportamiento en curvas y frenado por tanto su instalación es permitida siempre que se respete:

- La carga máxima dinámica especificada por el fabricante



- Los puntos de anclaje originales del vehículo

Figura 6. Barras de techo y Rack de carga



Tomado de: Autocrash. El transporte de carga sobre el techo del automóvil, 2005.

Desde el punto de vista estructural, estas modificaciones no comprometen el monocasco si se usan anclajes originales.

d) Modificaciones de suspensión (lift kits moderados)

De acuerdo con [6], [17], este tipo de modificaciones generan cambios de geometría en la suspensión, incrementa los esfuerzos en brazos, rótulas y chasis auxiliar, a continuación, se presenta un despiece de un lift Kit de suspensión para un SUV mediante la Figura 7.

Figura 7. Lift de suspensión para un SUV



Tomado de: José Luis Ponce. Los lift kids, 2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



además de generar alteraciones de cargas transmitidas al bastidor, por lo que su uso será permitido siempre y cuando se cumpla ciertas restricciones como:

- Elevaciones moderadas ($\approx 30\text{--}50$ mm)
- Uso de kits certificados

Desde la ingeniería, estas modificaciones sí afectan el comportamiento estructural dinámico, aunque no necesariamente la resistencia estática.

e) Refuerzos externos (defensas, bull bars, skid plates)

Este tipo de refuerzos no deben interferir con zonas de absorción de impacto, además deben fijarse a puntos estructurales diseñados para carga como se muestra en la Figura 8, La norma que regula es la ECE R42 (protecciones frontales) y la ISO 16254 (impacto y seguridad).

Figura 8. Defensa bull bar en vehículo SUV



Tomado de: Performance. Bullbar delantero, 2026

2.7 Modificaciones no recomendadas desde el punto de vista estructural

No se consideran aceptables las modificaciones que impliquen la eliminación de refuerzos estructurales, soldaduras directas al monocasco sin análisis previo, sobrecarga permanente fuera



de especificaciones. Estas intervenciones comprometen la resistencia a impacto, la vida a fatiga y la seguridad del vehículo, además de incumplir la normativa técnica y legal vigente en Ecuador y la región [24] [4].

En el contexto de esta tesis, la barra de tiro y el portabicicletas se clasifican como:

- Modificaciones funcionales permitidas
- Sistemas auxiliares desmontables
- Elementos que no alteran la estructura primaria del SUV

2.8 Sistemas auxiliares de acoplamiento: barra de tiro y ganchos de remolque

La barra de tiro que se indica en la Figura 9 se define como el elemento estructural que posibilita la conexión y transmisión de cargas entre un vehículo tractor y un remolque, permitiendo superar las fuerzas de resistencia al movimiento y soportar tanto esfuerzos de tracción como reacciones impuestas por el remolque durante el transporte [18].

Figura 9. Barra de tiro y ganchos de remolque



Tomado de: F. Torres Et al. Factibilidad técnica y económica para la producción de barras de tiro en Ecuador. 2019
Esto implica que la barra de tiro actúa como interfaz mecánica entre dos cuerpos en movimiento relativo: el vehículo tractor y el remolque. Su función principal no es generar fuerza, sino recibir y



transmitir de forma segura las fuerzas que se generan durante la operación de remolque hacia la estructura principal del vehículo (generalmente el bastidor o refuerzos laterales) [18].

2.8.1 Principio de funcionamiento de las barras de tiro

De acuerdo con [18], el principio de funcionamiento se basa en lo siguiente:

- Conexión estructural:

La barra de tiro se fija a la estructura del vehículo (generalmente porciones reforzadas del bastidor o largueros) a través de un receptor y placas de anclaje, lo que permite una unión rígida entre vehículo y remolque.

- Transmisión de carga y fuerzas:

El remolque aplica fuerzas de tracción hacia adelante y reacciones de resistencia hacia atrás en el punto de enganche. La barra de tiro actúa como el medio que transmite esas fuerzas hacia el chasis del vehículo, distribuyendo esfuerzos de tracción, compresión y momentos flexionantes.

- Movimiento relativo entre cuerpos:

A pesar de la unión rígida en cuanto a transmisión de fuerzas, la interfaz de enganche permite cierto movimiento angular relativo entre el vehículo y el remolque (flexión y giro de articulación), lo que facilita maniobras en terrenos irregulares o al girar. Esto se logra gracias a un diseño tipo bola-casquillo (ball-and-socket) o similar que permite el movimiento articulado sin desenganche.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



- Distribución de cargas:

La barra transfiere también cargas verticales desde la lengüeta del remolque hacia el vehículo, lo cual influye directamente en la distribución de cargas sobre los ejes delantero y trasero, afectando estabilidad, frenado y comportamiento dinámico general del sistema vehículo-remolque.

2.8.2 Clasificación de barras de tiro según SAE J684

El estándar SAE J684 (Trailer Couplings, Hitches, and Safety Chains—Automotive Type) de SAE International clasifica las barras de tiro convencionales remolcadas por vehículos automotores basándose en la capacidad de remolque (Gross Trailer Weight Rating, GTWR) y el tamaño del receptor como se puede observar en la Tabla 3. Aunque esta norma no establece clases por receptor electrónicamente sino por capacidades, en la industria se reconoce que divide los enganches en varias categorías de carga [7].

Tabla 3. Clasificación de las barras de tiro

Clase SAE	GTWR (lbs)	Descripción general
Clase I	≤ 2000 lb	Uso ligero, trailers pequeños y cargas livianas.
Clase II	2001–3500 lb	Remolques medianos y utilitarios ligeros.
Clase III	3501–5000 lb	Cargas mayores, botes pequeños, campers.
Clase IV	5001–10000 lb	Cargas pesadas, remolques grandes.

Tomado de: SAE International. Trailer coupling, hitches and safety chains, 2020

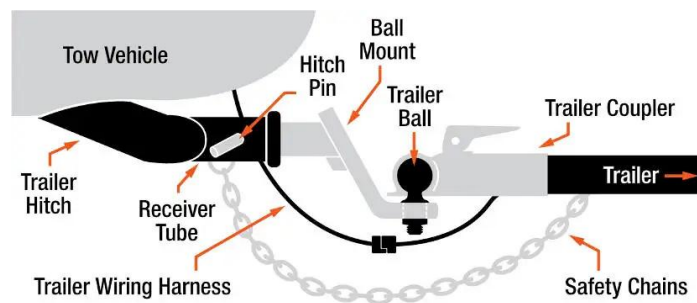


Esta clasificación se usa como referencia técnica y de diseño para seleccionar el tipo de barra/enganche que se instalará según las exigencias operativas y las capacidades estructurales del vehículo.

2.8.3 Componentes de una barra de tiro

Desde la perspectiva estructural y funcional, una barra de tiro vehicular está compuesta por varios elementos esenciales que trabajan en conjunto para garantizar una conexión segura entre vehículo y remolque. Estos componentes se describen ampliamente tanto en literatura técnica como en prácticas de diseño mecánico y normas asociadas y se muestra claramente en la Figura 10 [27].

Figura 10. Componentes de una barra de tiro



Tomado de: Curt. Parts of a trailer hitch, 2026

a) Receptor (Receiver)

El receptor mostrado en la Figura 11 es el tubo cuadrado en el que se inserta el vástago de la barra de tiro o drawbar. Las dimensiones de los receptores determinan qué accesorios y qué cargas puede soportar el sistema, y están estrechamente ligadas a las clases de enganche [28].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Figura 11. Receptor



Tomado de: Curt. Parts of a trailer hitch, 2026

Las dimensiones del receptor están estandarizadas según indica la Tabla 4, para permitir compatibilidad entre el receptor, el drawbar y los accesorios de enganche, además buscan asegurar que todos los componentes cumplan requisitos mínimos de resistencia, por ello se recomienda también:

- Uso de tubo cuadrado fijado al bastidor/chasis del vehículo para alojar y soportar las cargas que actúan sobre la barra de tiro y los accesorios remolcados.
- Las dimensiones del receptor determinan la clase de enganche y la carga que puede soportar [27].

Tabla 4. Características de los receptores

Dimensiones	Aplicación SAE J684	Características
1¼" × 1¼" (≈ 31.8 mm)	Clase I y Clase II	- Enganches ligeros / medios - Vehículos pequeños y cargas menores.
2" × 2" (≈ 50.8 mm)	Clase III y Clase IV	- Enganches más robustos para cargas mayores y



		vehículos más grandes (SUV, pickups).
(2½" o 3")	aplicaciones fuera del alcance estándar SAE J684	- Para cargas muy altas o aplicaciones comerciales pesadas (camiones, implementos especializados)

Tomado de: J. Campbell. Tow hicht, 2026

b) Drawbar o brazo de enganche

En la práctica, cada clase de enganche (hitch) corresponde a una capacidad de carga específica expresada en términos de:

- Gross Trailer Weight (GTW): peso total del remolque completamente cargado.
- Tongue Weight (TW): carga vertical transmitida al enganche desde el remolque.

Figura 12. Brazo de enganche



Tomado de: Hidroneumatic. Barra de tiro para colocar bola, 2019

Los valores típicos aceptados para ball hitches y receptores según clases (implementación práctica en ingeniería de diseño) son los mostrados en la Tabla 5 con valores desde las 2,000 a 10,000 libras desde la clase I a la IV correspondientemente.



Tabla 5. Clases de enganche y capacidad de carga

Clase	GTW típico (lbs)	Aplicaciones típicas
I	≤ 2000	Porta bicicletas, trailers pequeños.
II	≤ 3500	Remolques medianos, cargas de utilidad ligera.
III	≤ 5000	Botes, campers, remolques medianos.
IV	≤ 10000	Cargas pesadas, uso rudo/industrial.

Tomado de: J. Campbell. Tow hicht, 2026

c) Bola de enganche (Hitch Ball)

Los diámetros de bola (hitch ball) también se asocian con la capacidad de carga, por ejemplo, bolas de 1-7/8" se usan en cargas ligeras, 2" es común para capacidades medianas y 2-5/16" para cargas altas relacionados con la clase del enganche [27].

Sus características principales son:

- Inserto removible que se desliza en el receptor.
- Permite ajustar altura (con drop o rise) para alinear correctamente el nivel de remolque [27].

Figura 13. Bola de enganche



Tomado de: Curt. Parts of a trailer hich, 2026

- Componente esférico donde se acopla la pieza de cierre del remolque (coupler)

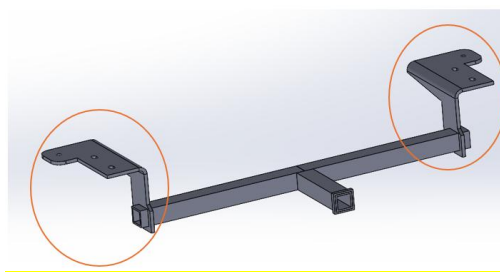


- Debe coincidir con diámetro y capacidad de carga según especificación de la barra [27].

d) Placas de anclaje y elementos de fijación

Las placas metálicas fijas al chasis o largueros del vehículo son usadas para unir el receptor de forma estructural (soldado o atornillado como se puede ver en la Figura 14). Los elementos de fijación incluyen pernos de alta resistencia que transfieren cargas al vehículo [25].

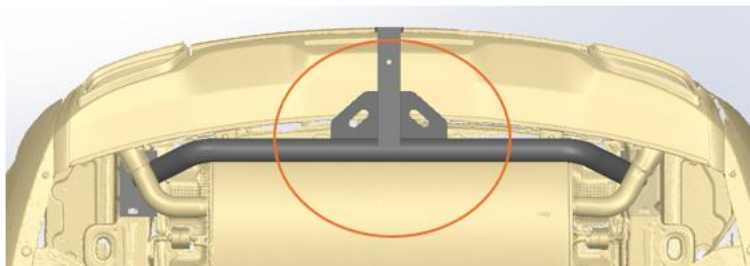
Figura 14. Placas de anclaje



e) Refuerzos estructurales

Refuerzos adicionales: están soldadas entre el receptor, placas de anclaje y bastidor su finalidad es disminuir o eliminar áreas que pueden generar concentraciones de esfuerzos para de esta forma mejorar la rigidez del todo el sistema al trabajar bajo cargas dinámicas y condiciones de fatiga cumpliendo con los requisitos de seguridad exigidos en las normativas [25].

Figura 15. Refuerzos estructurales

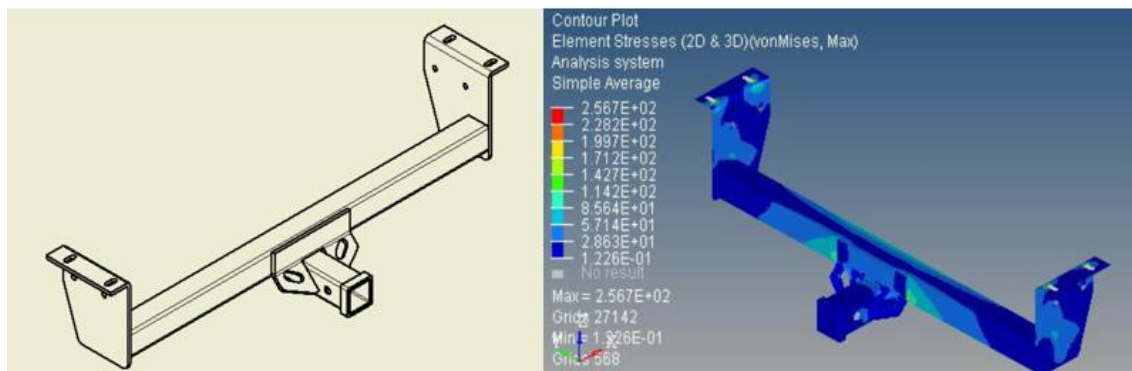




2.8.4 *Proceso de diseño y análisis*

Un enfoque común en ingeniería para el diseño de barras de tiro es el análisis de esfuerzos mediante métodos analíticos y el método de elementos finitos (MEF) expresado en la Figura 16. Este tipo de análisis permite identificar tensiones máximas, selecciones de materiales y condiciones de diseño seguros antes de fabricar el componente [18].

Figura 16. Proceso de diseño y análisis.



Tomado de: Esteba Carpio y André Chalco. Factibilidad técnica y económica para la producción de barras de tiro en Ecuador, 2019

El diseño considera:

- Esfuerzos aplicados durante el arrastre (tracción, compresión, fuerzas laterales).
- Características del material seleccionado (resistencia, ductilidad, peso).
- Normativas de soldadura y fabricación (por ejemplo, AWS D1.1 para soldadura estructural en acero).
- Simulación en software especializado (p. ej., ANSYS) para validar la respuesta estructural ante cargas aplicadas [18].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



En una tesis universitaria se realizó el diseño y construcción de una barra de tiro para una camioneta, incorporando análisis estructural mediante ANSYS y selección de materiales adecuados, seguido por la fabricación conforme a especificaciones exigidas por normativa [18].

2.8.5 Materiales y procesos de fabricación

La selección de materiales para barras de tiro es un aspecto crucial en el diseño de sistemas de remolque, ya que influye directamente en resistencia mecánica, peso total del sistema, comportamiento frente a fatiga y durabilidad bajo cargas dinámicas. Tradicionalmente, las barras de tiro han sido fabricadas con aceros estructurales, pero investigaciones recientes muestran tendencias hacia materiales ligeros y compuestos sin perder seguridad estructural.

Estudios previos manifiestan el uso de materiales compuestos que presentan aleaciones más ligeras manteniendo la resistencia estructural del elemento, pero con una gran ventaja que es la reducción notable de peso de la barra de tiro sin afectar el rendimiento del vehículo y el consumo energético [30].

La selección de materiales para barras de tiro típicamente se basa en acero estructural de alta resistencia debido a su capacidad de soportar cargas elevadas y su ductilidad bajo esfuerzos de impacto y fatiga. Para garantizar la integridad estructural, las normas de materiales como ASTM A36 y ASTM A572 son comúnmente empleadas, ya que definen propiedades mecánicas de aceros estructurales utilizados en este tipo de componentes. Asimismo, los procesos de unión mediante soldadura deben cumplir con los lineamientos de la norma AWS D1.1, que regula la soldadura estructural en acero [18].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Los procesos de fabricación incluyen:

- Corte y conformado de perfiles de acero.
- Ensamble y soldadura.
- Verificación dimensional y pruebas mecánicas.

Estas etapas buscan asegurar que la barra de tiro cumpla con los requisitos de funcionalidad y seguridad requeridos para su operación [18].

- **Acero estructural**

El acero es el material convencional en la fabricación de barras de tiro debido a su alta resistencia mecánica, ductilidad y bajo costo comparativo frente a otras soluciones. Además, ofrece una respuesta favorable frente a esfuerzos de tracción y flexión que se generan durante el uso normal de un sistema de remolque.

Estudios de mercado señalan que el acero sigue representando la mayor parte de los materiales utilizados en barras de remolque para vehículos de pasajeros debido a su fiabilidad y disponibilidad industrial [31].

- **Aluminio y aleaciones de aluminio**

El aluminio y sus aleaciones han sido propuestas como alternativa al acero con el objetivo de reducir peso y mejorar la eficiencia energética del vehículo sin comprometer significativamente el comportamiento mecánico del sistema de acoplamiento. Las aleaciones de aluminio (por ejemplo, AlSi10MnMg, AlSi12Cu1Fe) ofrecen una mejor relación resistencia–peso y resistencia a la



corrosión, aunque su resistencia absoluta a esfuerzos de flexión puede ser menor que la del acero [30].

En investigaciones comparativas se han realizado estudios de comportamiento mecánico para diferentes materiales, donde las barras de enganche de aluminio fueron comparadas con las de acero frente a criterios de resistencia y deformación en ensayos mecánicos y análisis por elementos finitos (FEM) [30].

- **Materiales compuestos (fibra de carbono)**

Recientemente el uso de materiales compuestos, como fibra de carbono reforzada (CFRP), ha sido objeto de investigación para barras de tiro debido a su bajo peso y alta relación resistencia vs densidad, se ha demostrado que los tow bars fabricados con CFRP pueden presentar reducción considerable de peso de hasta un 25 % manteniendo la resistencia estructural ante cargas estáticas y dinámicas, los límites de resistencia mecánica del material son comparables a los que presentan las barras constituidas de aluminio o acero [32].

2.8.6 Comparación de propiedades de materiales

En la siguiente tabla se muestra una comparación de materiales que se usan en la fabricación de barras de tiro, siendo el mejor la fibra de carbono, pero su elevado coste sitúa al acero como el mejor bajo una relación de calidad precio.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Tabla 6. Tabla comparativa de materiales usados en fabricación de barras de tiro

Material	Densidad (g/cm³)	Resistencia mecánica	Ventajas principales	Desventajas principales
Acero	~7,75–7,85	Alta	- Estructura homogénea - Alto rendimiento a flexión y tracción	- Mayor peso
Aluminio puro	~2,7	Baja / moderada	- Muy ligero - Buena resistencia a corrosión	- Menor resistencia que acero
Aleaciones de aluminio	~2,6–2,85	Moderada / alta	- Peso bajo - Propiedades mecánicas mejoradas	- Costo de fabricación y procesos especiales
Fibra de carbono (CFRP)	~1,7–1,8	Alta	- Excelente relación resistencia - peso	- Proceso de fabricación complejo y costo elevado

Tomado de: Iacopo Biachi Et al. Life cycle analyses of a composite towbar, 2024

2.9 Portabicicletas y accesorios de transporte montados en el vehículo

El porta bicicleta se considera como un accesorio usado para el transporte de bicicletas el cual al estar acoplado a la barra de tiro brinda un transporte seguro de éstas además de garantizar estabilidad, resistencia y facilidad de montaje y desmontaje. Normas como la UNE-EN 15954 que establece requisitos de resistencia, métodos de ensayo y criterios de seguridad para soportes de carga y portaequipajes montados en vehículos y reglamento como el ECE R55 que regula los dispositivos de acoplamiento mecánico en cuanto a homologación y seguridad, exigen que este



tipo de accesorios vehiculares presenten un diseño y validación del sistema porta bicicleta en barra de tiro.

2.9.1 Características generales

Un portabicicletas para vehículos es un accesorio que se monta típicamente en la barra de tiro, diseñado para sostener una o más bicicletas de forma segura durante el transporte automotor [34]. Según [35] define al portabicicletas como un accesorio que permite transportar bicicletas de forma segura en un vehículo. En el caso específico de los portabicicletas para SUV que se fijan mediante la barra de tiro, éstos se montan sobre el receptor o bola del enganche de remolque, constituyendo una solución práctica para trasladar bicicletas sin ocupar espacio interno del vehículo.

Estos dispositivos deben:

- Permitir una fijación mecánica segura a la barra de tiro.
- Asegurar la estabilidad de la carga a través de soportes fuertes y diseños que eviten vibraciones excesivas.
- Ser removibles o ajustables para facilitar su uso sin dañar el vehículo [34].

Un ejemplo patentado de un portabicicletas montado en un enganche estándar incluye un soporte con un vástago que se fija al accesorio de enganche y un conjunto de brazos para sostener las bicicletas, generalmente de forma desmontable para permitir su almacenamiento cuando no está en uso [36].

2.9.2 Clasificación básica

Los portabicicletas se pueden clasificar según su modo de sujeción al SUV:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



- Montados sobre bola de remolque: Se fijan directamente al receptor de la barra de tiro y son de los más robustos y fáciles de cargar y descargar [35].

Figura 17. Portabicicletas sobre bola de remolque



Tomado de: Autoplanet. Portabicicleta thule para barra de tiro, 2026

- De techo: Se montan en barras transversales sobre el techo y liberan completamente el acceso trasero.

Figura 18. Portabicicletas sobre techo



Tomado de: Range Rover. Soporte para bicicletas montado en el techo, 2026

- De portón trasero o rack de maletero: Más económicos, pero pueden dificultar el acceso al interior si no se diseñan con mecanismos pivotantes [39].



Figura 19. Portabicicletas sobre puerta del maletero



Tomado de: Autoplanet. Portabicicleta thule para barra de tiro, 2026

2.9.3 *Materiales utilizados en portabicicletas*

Los portabicicletas montados en vehículos (hitch-mounted, roof-mounted, rear-mounted) requieren una selección de materiales que garanticen capacidad de carga, durabilidad ante esfuerzos dinámicos, resistencia a la corrosión y facilidad de fabricación. Los materiales más utilizados en la industria actual son acero (incluyendo acero inoxidable o aleaciones de alta resistencia) y aluminio, con tendencias emergentes hacia materiales compuestos en aplicaciones especializadas.

a. **Acero estructural y acero inoxidable**

El acero es el material predominante en la fabricación de portabicicletas debido a su alta resistencia mecánica, rigidez y bajo costo en comparación con otras alternativas. Los racks de acero soportan cargas elevadas y esfuerzos repetitivos asociados al transporte de bicicletas pesadas durante viajes largos.

Según análisis del mercado global de portabicicletas, el segmento de portabicicletas de acero domina el mercado debido a su robustez y durabilidad, siendo especialmente valorado en



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



aplicaciones donde las cargas son mayores o donde se requiere un diseño extremadamente resistente [40].

Además, el uso de acero inoxidable (por ejemplo, series 316) se utiliza en aplicaciones expuestas a ambientes húmedos o corrosivos, ya que proporciona una protección natural frente a corrosión, extendiendo la vida útil del portabicicletas sin necesidad de un recubrimiento adicional [41].

Ventajas del acero:

- Altas propiedades mecánicas frente a tensión y fatiga
- Bajo costo y amplia disponibilidad
- Fácil soldabilidad para uniones estructurales
- Desventajas:
- Mayor peso en comparación con aluminio
- Requiere recubrimientos protectores si no es inoxidable

b. Aluminio y aleaciones ligeras

El aluminio y sus aleaciones son ampliamente reconocidos como una de las opciones más atractivas para portabicicletas debido a su baja densidad, buena resistencia a la corrosión y menor peso total del sistema.

Estudios de mercado señalan que el aluminio es el material de más rápido crecimiento en portabicicletas automotrices, especialmente en sistemas hitch-mounted y roof-mounted, donde la reducción de peso es clave para mantener la estabilidad y eficiencia del vehículo [40].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



El aluminio forma una capa pasiva de óxido en su superficie que ofrece resistencia natural a la corrosión, lo que hace que sea útil para uso en exteriores con exposición a lluvia, sal u otros agentes agresivos [41].

Ventajas del aluminio:

- Peso significativamente menor (~1/3 del acero)
- Relación resistencia-peso favorable
- Buena resistencia frente a corrosión
- Desventajas:
- Menor resistencia frente a fatiga que algunos aceros de alta resistencia
- Reparación estructural más difícil y costosa

c. Materiales compuestos (uso en soluciones avanzadas)

Aunque no son todavía predominantes en portabicycletas de uso general, materiales compuestos (como resinas reforzadas con fibra de vidrio o fibra de carbono) están emergiendo en aplicaciones de gama alta o diseños especializados donde ligereza extrema y alto desempeño estructural son prioritarios:

La literatura técnica sobre racks y estructuras similares indica que las fibras de carbono y materiales compuestos ofrecen una relación resistencia-peso superior, lo cual es deseable en estructuras sujetas a esfuerzos variables, aunque el costo y la complejidad de fabricación son factores limitantes en la industria de racks vehiculares [41].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Ventajas de los materiales compuestos:

- Excepcional relación resistencia-peso
- Alta resistencia a corrosión y dureza superficial
- Desventajas:
- Costos de fabricación elevados
- Dificultad en reciclaje y reparación

Resumen comparativo de materiales usados en portabicicletas:

Tabla 7. Tabla comparativa de materiales usados en fabricación de portabicicletas

Material	Resistencia mecánica	Peso	Resistencia a corrosión	Costo	Uso típico
Acero estructural	Alta	↑	Media (requiere tratamiento)	Bajo	Portabicicletas robustos (hitch, rear)
Acero inoxidable	Alta	↑	Alta	Medio	Ambientes corrosivos
Aluminio / Aleaciones	Moderada	↓	Alta	Medio	Roof-mount, hitch ligeros
Materiales compuestos	Muy alta	Muy ↓	Muy alta	Alto	Aplicaciones premium/lightweight

Tomado de: Danny Colcha. Sistema de arrastre para vehículos livianos, 2016

2.10 Relación entre barra de tiro y portabicicletas en SUV

La barra de tiro constituye un sistema auxiliar estructural que expande las capacidades del SUV para actividades utilitarias y recreativas, mientras que el portabicicletas es una aplicación específica de este sistema para el transporte de bicicletas. Ambos dispositivos, en conjunto,



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



potencian la funcionalidad del vehículo al permitir un transporte seguro y práctico de cargas adicionales sin comprometer la integridad del vehículo ni la experiencia de conducción. La selección adecuada de estos sistemas depende tanto de las especificaciones técnicas del vehículo como de las necesidades del usuario [35].

Tabla 8. Normativa vs Criterios de diseño

Norma	Ámbito	Criterio de diseño aplicado
ISO 1103	Internacional	Dimensiones normalizadas de la bola de acoplamiento
ISO 7641-1	Internacional	Resistencia mecánica y definición de cargas de diseño
SAE J684	Norteamérica	Clasificación por capacidad de carga y ensayos estructurales
UNE-EN 15954	Europa	Resistencia y estabilidad de portabicicletas
ECE R55	Europa / Internacional	Seguridad y homologación de dispositivos de acoplamiento
ASTM A36	Materiales	Propiedades mecánicas del acero estructural
ASTM A572	Materiales	Aceros de alta resistencia para optimización estructural
AWS D1.1	Soldadura	Requisitos de soldadura estructural en acero

Fuente: International Organization for Standardization. General principles for design, 2010

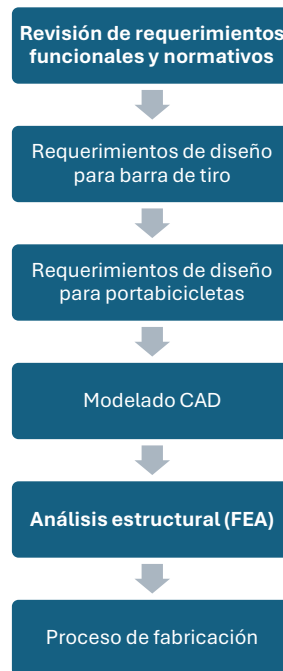


CAPÍTULO III.

MATERIALES Y MÉTODOS

Previo al desarrollo del proyecto se consideró el siguiente proceso metodológico que se muestra en la Figura 20, donde se parte de la revisión de requerimientos funcionales y normativos hasta llegar al proceso de la fabricación de todo el conjunto portabicycletas con materiales disponibles en el mercado local.

Figura 20. Proceso metodológico



3.1 Revisión de requerimientos funcionales y normativos

Primero se busca establecer criterios funcionales para la barra de tiro y el portabicycletas, definir parametrizaciones de diseño e identificar normativas aplicables en Ecuador o a nivel internacional.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



En cuanto a los requerimientos técnicos básicos es importante determinar la carga útil y capacidad de carga de la SUV (según fabricante y eje trasero), el peso máximo del portabicicletas más bicicletas a transportar, la carga vertical y carga lateral esperada.

Para el montaje por su parte se requiere integrar el portabicicletas a una barra de tiro que permita fácil instalación y desmontaje, debe respetar la señalización visual sin obstrucciones (placa, luces) según la ley de tránsito ecuatoriana.

Durante su uso debe ser un elemento seguro para lo cual no afecte la estabilidad en carretera, considerando fuerzas dinámicas, aceleraciones, vibraciones y maniobras, evitar interferencias con sensores traseros, cámara de reversa, y apertura de puertas.

En cuanto a normativas nacionales se debe acatar lo que menciona la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial: cualquier accesorio que modifique el vehículo debe cumplir normas de tránsito y certificación de homologación si altera características del mismo. Por otra, parte el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034 establece requisitos mínimos de seguridad para vehículos automotores que circulan en Ecuador, lo que puede aplicarse de forma indirecta a dispositivos que impacten la integridad estructural o seguridad.

Cabe mencionar que en Ecuador no existe una norma técnica específica para barras de tiro o portabicicletas, ya que para otros accesorios como remolques u otros dispositivos si lo establece la norma INEN. Por tal motivo se hace necesario usar normas internacionales como referencia técnica (ISO / SAE / ECE) para criterios de diseño y ensayo como se detalla en la Tabla 9.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Tabla 9. Normativas internacionales para criterios de diseño y ensayo

Norma	Aplicación
SAE J684	Estándar para barras de tiro y enganches, clase de enganche y requisitos de carga.
ISO 11555 / SAE J2299	Requisitos de resistencia estructural y capacidad de carga para racks y accesorios de transporte.
ECE R55	Regulaciones europeas para enganches y accesorios de remolque.
ASTM A500 / 6061-T6	Especificaciones de materiales para elementos estructurales (acero tubular, aluminio) para su uso en el diseño.

3.2 Requerimientos para el diseño de la barra de tiro (SUV)

3.2.1 Selección del vehículo de referencia

Para el desarrollo del proyecto se ha seleccionado un SUV de la marca Geely modelo Azkarra, en la Tabla 10 se muestran los datos técnicos más relevantes necesarios para el proceso de diseño tales como la masa del vehículo, tipo de chasis y demás.

Tabla 10. Especificaciones técnicas Geely Azkarra

Parámetro	Valor
Masa del vehículo	1705 kg
Tipo de chasis	Monocasco
Largo de vehículo	4544 mm
Ancho de vehículo	1831 mm
Alto de vehículo	1713 mm
Distancia entre ejes	2670 mm

Tomado de: Manual de usuario Geely Azkarra



3.2.2 Clasificación de la barra de tiro

A fin de determinar los valores de diseño para la barra de tiro se analizó la norma SAE J684 que clasifica los remolques por el peso del mismo incluido la carga y los clasifica desde la clase 1 hasta la clase 4 en medida del aumento la carga vertical de acuerdo a la Tabla 11.

Tabla 11. Clasificación SAE J684

Clase	Carga vertical típica
Clase 1	hasta 910 kg
Clase 2	De 910 hasta 1590 kg
Clase 3	De 1590 kg hasta 2270 kg
Clase 4	De 2270 kg hasta 4540 kg

Tomado de: SAE. SAE J684, 2000

La capacidad de carga de la barra de tiro se determina en función de la carga a remolcar que no debe superar el 60% del peso del vehículo, así como también la masa del remolque no debe superar los 750 kg según la norma INEN ISO 3833 [43]. Bajo este criterio de acuerdo a la masa del vehículo (1705 kg) la capacidad de carga máxima sería de 1023 kg, por tanto, el diseño de la barra de tiro estaría dentro de la clase 1.

3.2.3 Cargas de diseño para la barra de tiro

Las cargas de diseño para la barra de tiro se establecen en la tabla de acuerdo a la norma SAE J684 y se muestran en la Tabla 12, la cual indica que se deben realizar pruebas en función de la dirección de aplicación de la fuerza.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Tabla 12. Cargas para ensayos de barra de tiro

Paso	Fuerza (KN)	Dirección de aplicación
a	$V = 0.47R + 2.135$	Hacia abajo
	$L = 0.47R + 2.135$	Compresiva
b	$L = 0.23R + 6.805$	Tensión
	$V = 0.15R$	Hacia abajo
c	$L = 0.23R + 6.805$	Compresiva
	$V = 0.15R$	Hacia abajo
d	$T = 0.20R + 2.24$	Hacia la izquierda
e	$T = 0.20R + 2.24$	Hacia la derecha

Fuente: SAE. SAE J684, 2000

Para las condiciones mostradas en la tabla se debe considerar que:

V = Fuerza vertical (N)

L= Fuerza longitudinal (N)

T= Fuerza transversal (N)

R= Clasificación de barra de tiro en términos del GVWR (Capacidad de peso bruto vehicular) del remolque (N)

La aplicación de las fuerzas debe realizarse en la secuencia, como se indica a continuación:

a. Aplicar la fuerza vertical descendente especificada simultáneamente con la fuerza longitudinal de compresión.

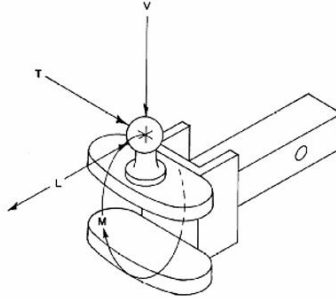
b y c. Aplicar la fuerza longitudinal de tracción o compresión especificada simultáneamente con la fuerza vertical descendente especificada.

d y e. Aplicar la fuerza transversal especificada.



En la figura 21 se especifican las direcciones de aplicación de las fuerzas en la bola de acoplamiento de la barra de tiro.

Figura 21. Dirección de fuerzas de aplicación en la bola de acoplamiento



Tomado de: SAE International. Trailer couplings, hitches and safety chains, 2002

De acuerdo a la clase 1 de la barra de tiro la capacidad de carga máxima es de 910 kg, con ello se determina el valor de la variable R, la misma que se consigue multiplicando el valor máximo de la clase 1 y la gravedad.

$$R = 910 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$R = 8918 \text{ N} = 8.918 \text{ KN}$$

En la Tabla 13 se detallan los valores calculados para cada paso (a, b, c, d, e) de los ensayos estructurales solicitados por la norma SAE J684.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Tabla 13. Valores calculados para cada paso de ensayos estructurales

Paso	Fuerza (KN)	Valores calculados de Fuerzas (KN)	Dirección de aplicación
a	$V = 0,47(8.918) + 2.135$	6.326	Hacia abajo
	$L = 0,47(8.918) + 2.135$	6.326	Compresiva
b	$L = 0,23(8.918) + 6.805$	8.856	Tensión
	$V = 0,15.(8.918)$	1.338	Hacia abajo
c	$L = 0,23.(8.918) + 6.805$	8.856	Compresiva
	$V = 0,15.(8,918)$	1.338	Hacia abajo
d	$T = 0,20.(8.918) + 2.24$	4.024	Hacia la izquierda
e	$T = 0,20.(8,918) + 2.4$	4.024	Hacia la derecha

3.3 Requerimientos para el diseño del portabicicletas

Para el diseño del portabicicletas se considera que deberá transportar dos bicicletas con un peso promedio de 18 kg cada una, así como también debe ser plegable a fin de mantenerlo cerrado mientras no esté en funcionamiento de forma que permita la conducción segura y sin elementos sobresalidos innecesariamente.

$$m_b = 18 \text{ kg}$$

Generalmente la distribución del peso es de la siguiente manera: lleva un 55% adelante y un 45% atrás lo cual los pesos quedarían de la siguiente forma:

$$P = 18 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 176.4 \text{ N}$$

$$P_{\text{frontal}} = 176.4 \text{ N} \times 0.55 = 97.02 \text{ N}$$

$$P_{\text{posterior}} = 176.4 \text{ N} \times 0.45 = 79.38 \text{ N}$$



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Como seguridad en el diseño se consideró un factor de cargas variables de 1,5, esto debido a la dinámica vehicular que afecta a los elementos del portabicicletas, quedando las fuerzas finalmente distribuidas de la siguiente manera:

$$P_{frontal} = 145N$$

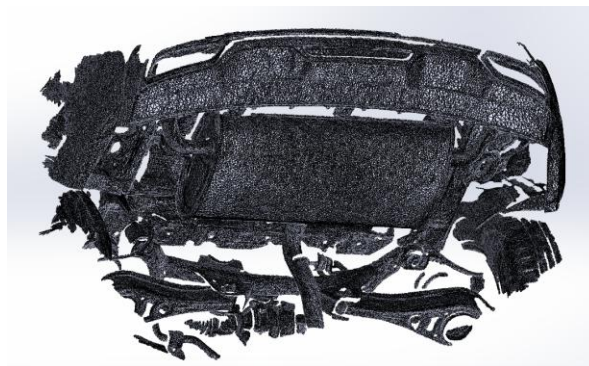
$$P_{posterior} = 120 N$$

3.4 Modelado CAD

3.4.1 Escaneo 3d de vehículo SUV

Para el proceso de diseño de los elementos se requirió el modelo digitalizado del vehículo SUV a fin de asegurar el correcto acoplamiento de las partes, para ello se realizó un escaneo 3D de la parte posterior del vehículo y se muestra en la Figura 22, en donde se diseñó la barra de tiro y portabicicletas evitando interferencias con las partes propias del auto.

Figura 22. Escaneo 3D parte posterior vehículo

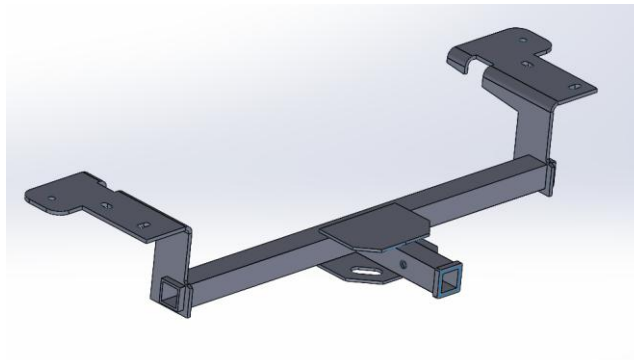




3.4.2 *Diseño de barra de tiro*

Para la barra de tiro se consideró un anclaje directo al chasis del vehículo mediante pernos de fijación con dos placas de 8 mm de espesor a las cuales se unió un tubo cuadrado recto y el tubo central para conexión de un remolque o de accesorios como el portabicicletas. Se ubicó dos placas de refuerzo de 6 mm en la parte superior e inferior del tubo central a fin de darle rigidez al conjunto, y un refuerzo adicional en la punta del tubo central para evitar deformaciones con el uso de accesorios o remolques. En el tubo central se ubicó una perforación de 16 mm para el pasador que trabaja como seguro en el montaje de remolques o accesorios, todos estos diseños se ven reflejados en la Figura 23 mostrada a continuación.

Figura 23. Diseño CAD de barra de tiro



3.4.3 *Diseño del portabicicletas*

Como se observa en la figura 24 (a), se ubicó un elemento de soporte principal en tubo de 50x50x2mm al cual se acopla todo el mecanismo del portabicicletas mediante el uso de un soporte móvil fabricado en chapa metálica de 4 mm. A dicho soporte móvil se unió una base en rectangular sobre la cual reposan los tubos que contienen las bases de rueda. Estas bases de rueda son móviles



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



a fin de permitir el montaje y anclaje seguro de bicicletas de distintas distancias entre ejes, y se fabricaron en chapa metálica plegada a fin de darle rigidez al conjunto.

Para la sujeción del cuerpo de las bicicletas se colocó un soporte móvil en forma de “H” el cual es abatible para permitir que todo el mecanismo se pliegue, como se observa en la figura 24 (b) y no ocupe mayor espacio cuando se encuentra sin bicicletas. En este soporte se montaron unos elementos de sujeción desplazables que permiten la sujeción del marco de cada bicicleta para fijarlas al mecanismo.

Figura 24. Diseño CAD de portabicicletas: (a) desplegado, (b) plegado

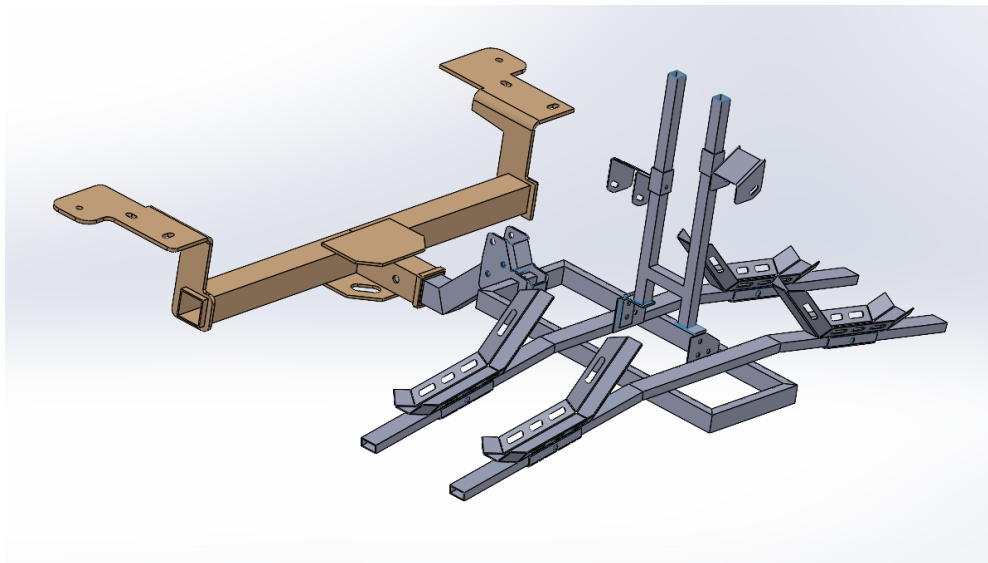




3.4.4 Ensamble de elementos en la barra de tiro

En la Figura 25 se puede verificar el correcto montaje del portabicicletas en la barra de tiro, en donde se evidenció que no exista interferencias entre los elementos diseñados a fin de garantizar un proceso de fabricación sin errores.

Figura 25. Ensamble del portabicicletas en la barra de tiro



3.5 Análisis por elementos finitos

Se realizó un análisis estructural estático en el software CAE ya que este nos permite modelar, simular, validar y optimizar diseños de elementos de forma virtual antes de pasar a la fabricación, para lo cual se consideró los parámetros detallados a continuación.

3.5.1 Propiedades y dimensiones de material

Para el análisis computacional se utilizó el acero ASTM A36 para las planchas y ASTM A500 grado C para los perfiles, los cuales se encuentran comercialmente de manera local.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
 APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



En la Tabla 14 se detalla las propiedades mecánicas del acero ASTM A36, donde se especifica la densidad, relación de Poisson, el módulo de elasticidad y el límite elástico que posee este material.

Tabla 14. Propiedades mecánicas Acero ASTM A36

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	7.833e-09	Ton/mm ³
Relación de Poisson	0.3	-
Módulo de elasticidad	2.068e+05	MPa
Límite elástico	250	MPa

Fuente: Matweb. ASTM A36 steel, plate, 2026

En la tabla 15 se detalla las propiedades mecánicas del acero ASTM A500 grado C, donde se especifican valores de la densidad, relación de Poisson, módulo de elasticidad y límite elástico que posee este material.

Tabla 15. Propiedades mecánicas Acero ASTM A500 grado C

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	7.85e-09	Ton/mm ³
Relación de Poisson	0.3	-
Módulo de elasticidad	2.068e+05	MPa
Límite elástico	315	MPa

Fuente: Matweb. ASTM A500 steel, grade C

3.5.2 Mallado

Para llevar a cabo el proceso de simulación computacional, el diseño se elaboró mediante elementos tipo superficie dándoles el espesor correspondiente según corresponda. El proceso de



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



mallado se efectuó con malla 2D o malla para superficies, a continuación, se muestra ciertas características de la malla en la Tabla 16.

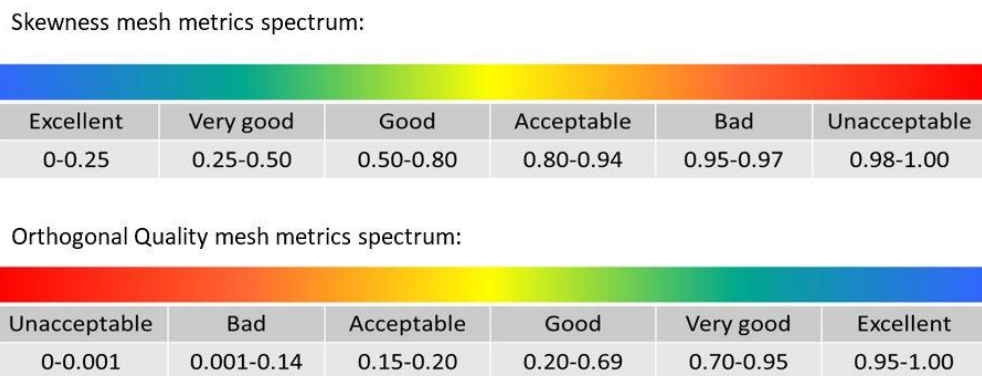
Tabla 16. Estadística de malla de la barra de tiro y del portabicicletas

Parámetros	Valores en Barra de tiro	Valores en Portabicicletas
Tipo de malla	Malla tipo Shell	Malla tipo Shell
Número total de nodos	8382	33288
Número total de elementos	12636	31688

La calidad de malla es determinante para dar validez a los resultados obtenidos en las simulaciones. Una malla de buena calidad tendrá valores en rangos desde aceptable a excelente y ésta representa correctamente la física del problema y la geometría de los elementos, si la malla está en rangos no aceptables entonces requiere mejorarla.

Para la validación de calidad de malla se utilizó el criterio “Element Quality” mostrado en la Figura 26, el cual oscila entre 0 y 1, siendo 0 la calidad más baja (inaceptable) y 1 la más alta (excelente).

Figura 26. Espectro de métrica de calidad de malla

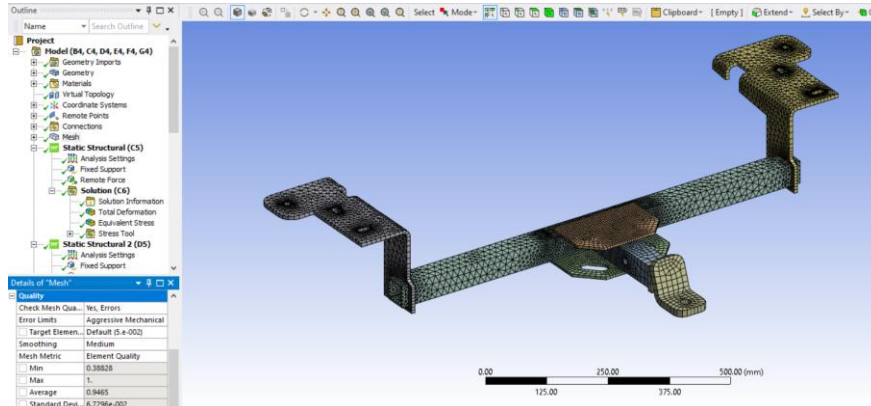


Tomado de: N.M. Adam Et al. Numerical análisis for solar panel, 2020



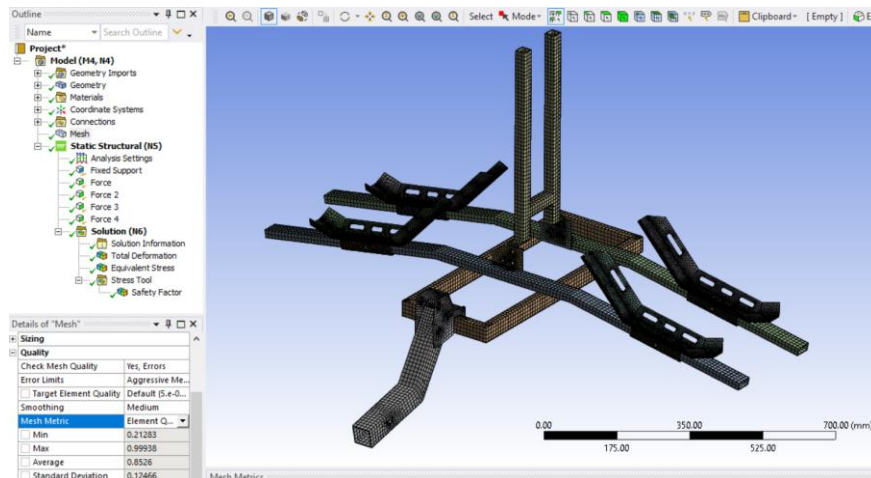
En la Figura 27 se puede apreciar, para el caso de la barra de tiro que la calidad de malla se encuentra en un promedio de 0.94 y considerando el criterio de validación antes nombrado, ésta se encuentra en muy buena brindando la confianza en los resultados que en lo posterior se obtenga.

Figura 27. Calidad de malla de la barra de tiro



Para el caso del portabicicletas mostrado en la Figura 28, el valor promedio respecto al criterio de Element Quality es de 0.85 que de igual manera se encuentra en un rango de muy bueno generando confiabilidad a los resultados FEM.

Figura 28. Calidad de malla del portabicicletas



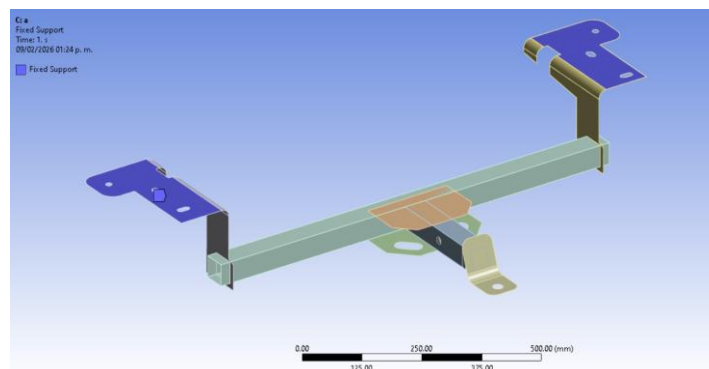


3.5.3 Condiciones de borde para análisis FEM de la barra de tiro

Dentro de un análisis FEM es necesario las condiciones de borde las cuales son las restricciones, cargas externas, uniones, apoyos, contactos, y más, que se introducen al modelo para representar como esa pieza o sistema trabaja en el mundo real, es decir, se define que podrá moverse, que no y cómo actúan las cargas. Para el caso del análisis de la barra de tiro se efectuó las siguientes restricciones y cargas.

Se estableció la restricción de soporte fijo en las caras de anclaje al bastidor del vehículo, el cual esta restricción impide movimientos de traslación y rotación en todos los ejes y simulará como una unión fija anclado al bastidor, como se muestra en la figura 29.

Figura 29. Condición de soporte fijo para la barra de tiro

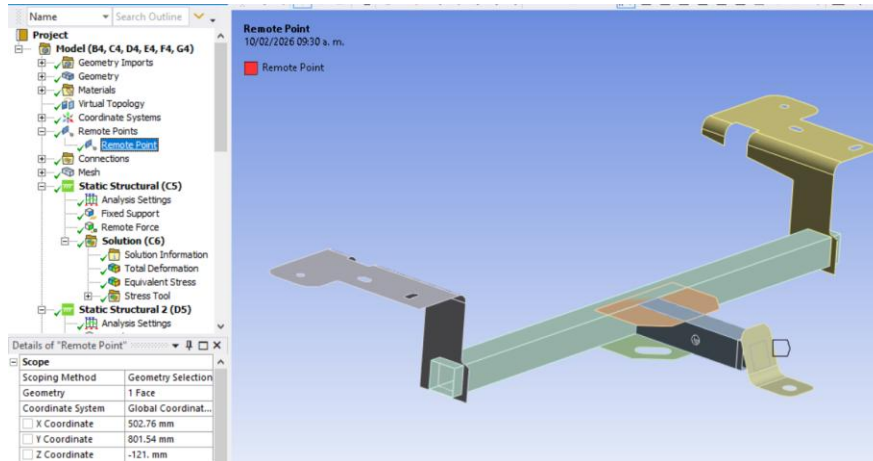


La aplicación de las cargas que exige la norma SAE J684 se debe efectuar en la bola de arrastre que se ancla en las barras de tiro, pero en un estudio FEM el modelado de ésta traería solo gasto computacional innecesario ya que el estudio no se centra en analizar la resistencia de la bola de tiro sino en la resistencia estructural que soporta la barra de tiro, es por esto por lo que se establece la aplicación de la carga en un punto remoto creado bajo el uso de “Remot Point” del software de



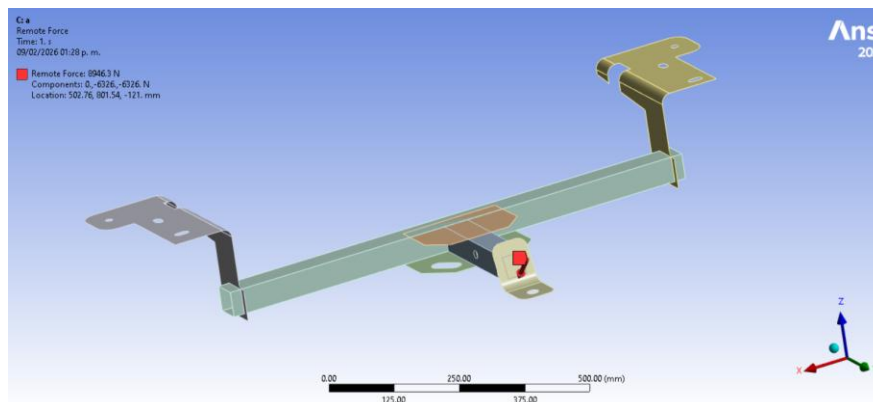
simulación, el cual exige coordenadas cartesianas para su creación y en lo posterior aplicarle las cargas mediante la utilidad “Remot Force”, como se detalla en la figura 30.

Figura 30. Condición de punto remoto para aplicación de cargas



La dirección de la aplicación de la carga y su valor está acorde a la norma SAE J684 dependiendo cada uno de los casos a, b, c, d y e como se consideró en la Tabla 12 indicada anteriormente. Para el evento A se aplicó la carga y la direccionalidad de 6326 N en “Y” y 6326 N en “Z” en compresión a la barra. En la Figura 31 se muestra la aplicación de la carga en los ejes Y y Z

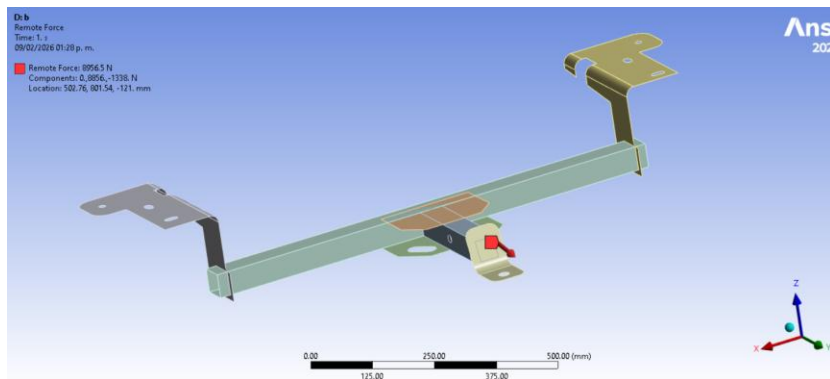
Figura 31. Distribución de cargas para evento A





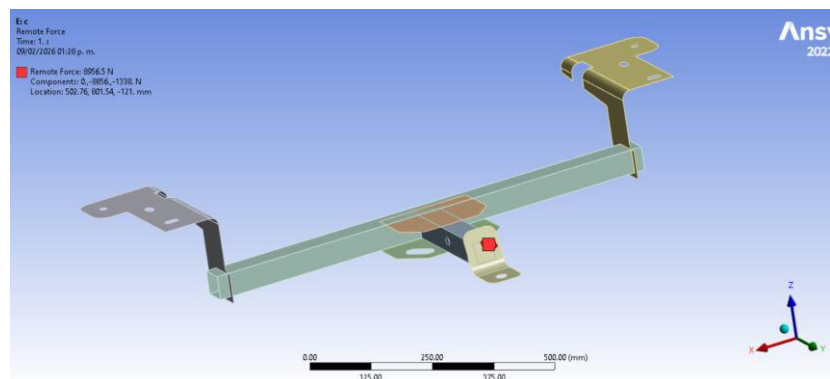
El evento B exige la aplicación de las cargas en el eje Y en tracción y Z dirigido hacia abajo de acuerdo al diseño. Los valores de carga y direccionalidad que según la norma y el evento exigen están aplicados como se pueden apreciar en la Figura 32.

Figura 32. Distribución de cargas para evento B



Para el caso C la aplicación de cargas es similar el evento B, solo que la carga en Y estará en compresión. La direccionalidad y valores de carga se muestra en la figura 33.

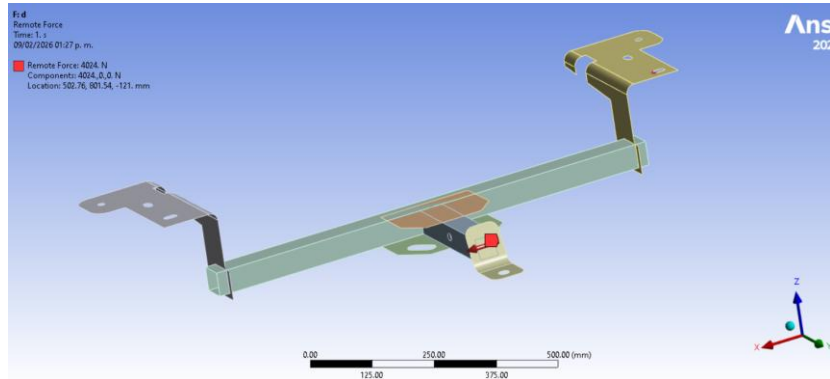
Figura 33. Distribución de cargas para evento C





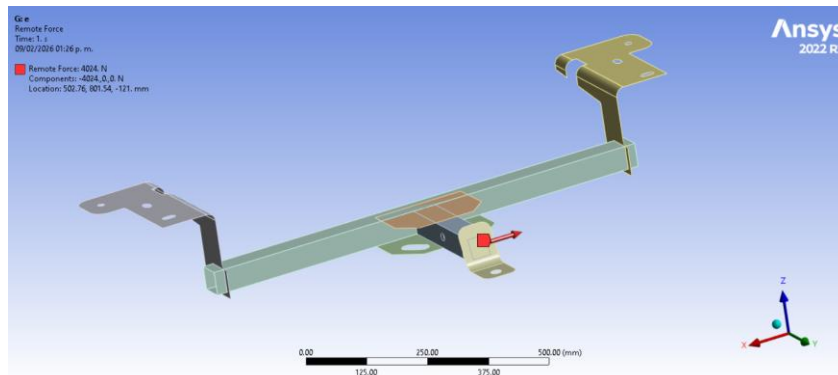
Para el ensayo D la carga se representa solo en el eje “x” positivo con un valor de 4024 N. Esta carga se puede apreciar en la figura 34.

Figura 34. Distribución de cargas para evento D



Para el ensayo E se tiene el valor de carga igual a del evento D (4024 N) solo que dirigida en “x” negativo, como se observa en figura 35.

Figura 35. Distribución de cargas para evento E



3.5.4 Condiciones de borde para análisis FEM del portabicietas

Para el caso del análisis del portabicietas se efectuó las siguientes restricciones y cargas.

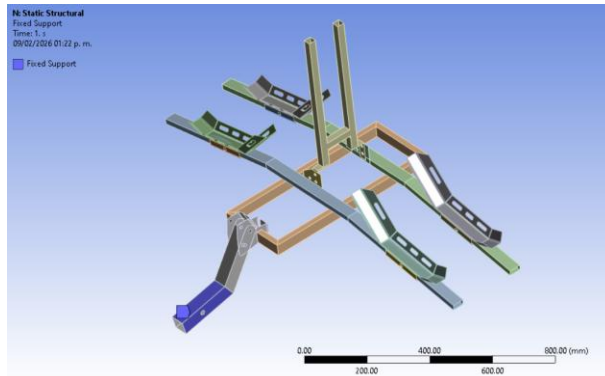


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



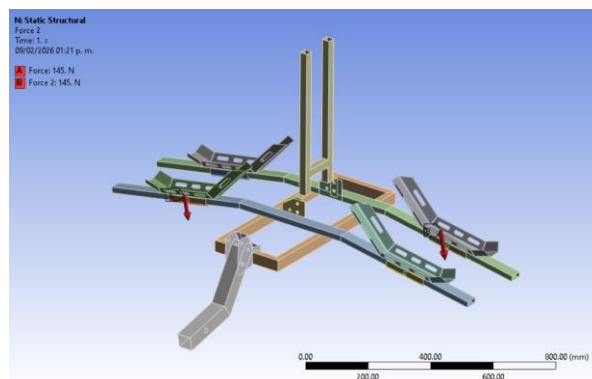
Se estableció como soporte fijo el tubo cuadrado donde conecta con la barra de tiro y que mediante el pasador que ésta dispone sirven de soporte para este sistema portabicicletas, todo esto se muestra en la Figura 36.

Figura 36. Condición de soporte fijo para el portabicicletas



Es importante mencionar que para este portabicicletas las bicicletas irán cruzadas es por eso que las cargas están también cruzadas como se puede apreciar en la Figura 37. La carga de 145N se aplicó en la base móvil frontal derecha y en la base móvil posterior izquierda de acuerdo a como iría montada.

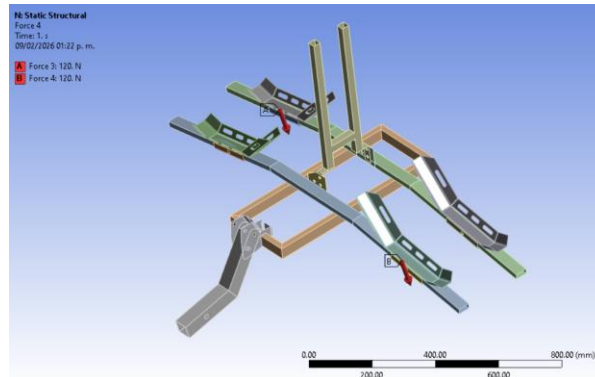
Figura 37. Condición de carga $P_{frontal}$ para el portabicicletas





La Figura 38 indica que la carga de 120N estará aplicada en la base móvil frontal izquierda y en la base móvil posterior derecha de acuerdo a como iría montada.

Figura 38. Condición de carga $P_{posterior}$ para el portabicicletas



3.6 Proceso de fabricación

3.6.1 Procesos de fabricación seleccionados

En la Tabla 17 se resumen los procesos de fabricación seleccionados para la elaboración de la barra de tiro y el portabicicletas, especificando cada proceso con la aplicación en todo el sistema.

Tabla 17. Procesos de fabricación seleccionados.

Proceso	Aplicación
Corte con discos abrasivos	Corte de tubos
Corte por plasma	Corte de placas
Soldadura GMAW	Unión estructural
Taladrado	Perforación para pernos
Esmerilado	Acabado superficial
Pintura anticorrosiva	Protección superficial



3.6.2 *Fabricación de barra de tiro*

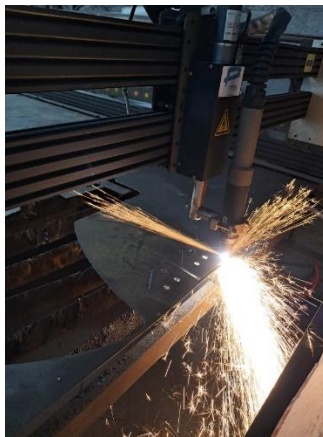
Para la fabricación de la barra de tiro se emplearon los materiales detallados en la Tabla 18, donde se puede observar el detalle de estos materiales, así como la especificación en milímetros y la ubicación que tendrán. Estos materiales fueron seleccionados gracias a su alta resistencia a flexión y cortante, buen comportamiento ante cargas dinámicas, buena soldabilidad en proceso GMAW y están disponibles localmente en el país.

Tabla 18. Materiales para la barra de tiro.

Detalle	Especificación	Ubicación
Plancha lisa	8 mm	Sujeción a chasis
Tubo cuadrado	60x60x3 mm	Estructura principal
Plancha lisa	6 mm	Refuerzos punta central
Plancha lisa	12 mm	Refuerzo toma central

El procedimiento constructivo para la barra de tiro inició con el corte de perfiles estructurales según planos CAD, así como también el corte de elementos en chapa metálica de acuerdo a los diseños usando un plasma CNC como se observa en la Figura 39.

Figura 39. Proceso de corte mediante plasma CNC.



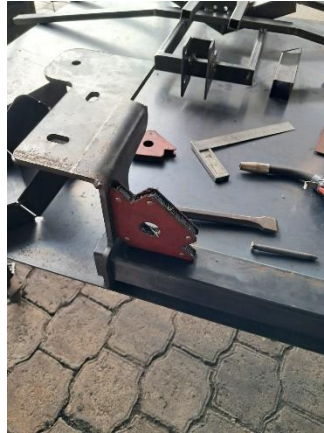


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



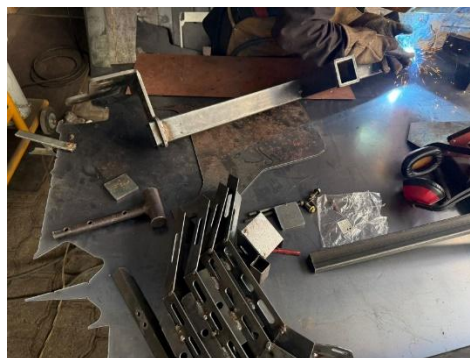
Con los elementos cortados se procedió a alinearlos para su ensamblaje, verificando las dimensiones y ángulos según el diseño como se indica en la Figura 40.

Figura 40. Ensamblaje de elementos de la barra de tiro previo a soldadura.



En cuanto a la soldadura se optó por el proceso GMAW con alambre sólido ER70S-6 y se usó gas de protección CO₂. Este proceso presenta buena penetración, alta velocidad de ejecución, es adecuado para los espesores usados entre 2 a 8 mm, presenta menores defectos comparado con SMAW.

Figura 41. Proceso de soldadura MIG en unión estructural





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Se realizó el perforado del orificio para pasador de seguridad que en este caso fue de 16 mm de diámetro. Finalmente, se preparó las superficies para la aplicación de pintura electrostática en color negro para la barra de tiro.

3.6.3 *Fabricación del portabicicletas*

Para la fabricación del portabicicletas se empleó los materiales detallados en la Tabla 19, en donde se puede observar el tipo de material a utiliza, sus medidas en milímetros y la ubicación de estos en el portabicicletas.

Tabla 19. Materiales para el portabicicletas

Detalle	Especificación	Ubicación
Plancha lisa	4 mm	Soporte principal de mecanismo
Tubo cuadrado	50x50x2 mm	Acople para barra de tiro
Plancha lisa	2 mm	Elementos móviles (soporte de rueda y marco de bicicletas)
Tubo rectangular	40x20x2 mm	Estructura base para bicicletas

El proceso constructivo arrancó con el corte de perfiles para la base de soporte y su ensamblaje con puntos de soldadura como se logra observar en la Figura 42, luego se realizó la respectiva alineación de los tubos y se realizó el cordón de soldadura en los puntos.

Figura 42. Estructura base del portabicicletas.



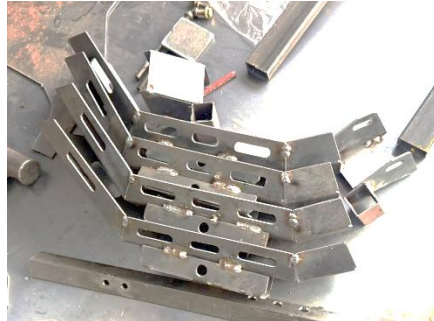


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Mediante el plasma CNC se cortó la chapa metálica para los soportes para ruedas indicados en la Figura 43, y para marco, los mismos que luego fueron plegados y soldados para mantener la rigidez del conjunto.

Figura 43. Soportes de rueda



Se realizó la perforación de puntos de ajuste para la ubicación de tuercas soldadas. Todo el mecanismo se ensambló mediante el proceso de soldadura GMAW como se logra apreciar en la Figura 44. Finalmente se realizó la aplicación de acabado superficial con pintura electrostática de color negro.

Figura 44. Sistema completo ensamblado



Para el ensamble de las partes se utilizaron elementos de unión como pernos grado 8.8 con tuercas de seguridad a fin de evitar que se aflojen con las vibraciones propias del vehículo.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS

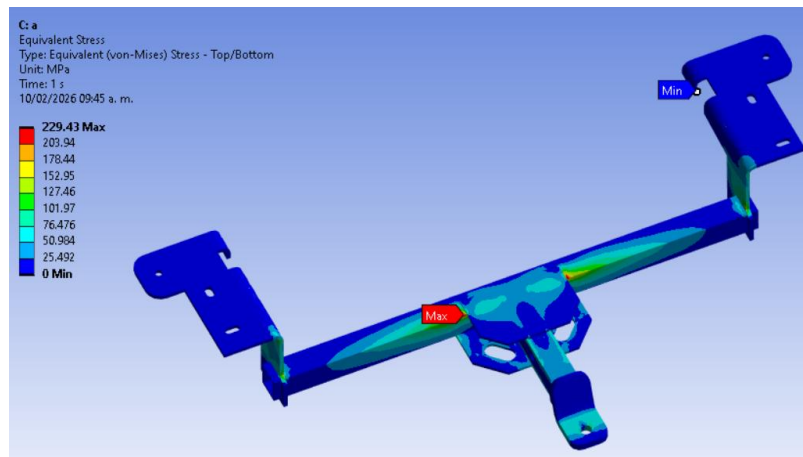
4.1 Resultados correspondientes a la barra de tiro

4.1.1 Resultados FEM de la barra de tiro ensayo A

A continuación, se describen los resultados de esfuerzo máximo, deformación máxima y factor de seguridad para ensayo A.

El esfuerzo de Von Mises tiene un valor máximo de 229.43 MPa originados en la parte central del tubo donde estarían interactuando las placas de soporte con el tubo cuadrado. Este valor no supera el límite de elástico del material. En la Figura 45 se observa el valor y la zona donde se genera el mayor esfuerzo.

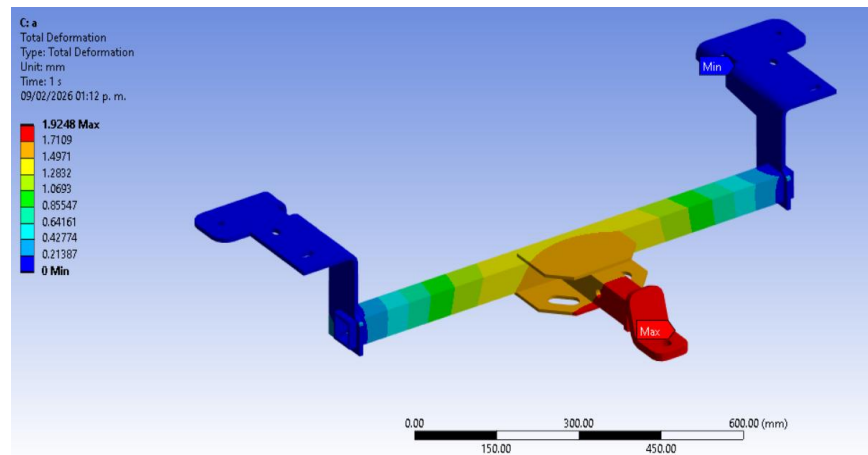
Figura 45. Resultado de esfuerzo de Von Mises evento A





La deformación máxima para la barra de tiro de encuentra en el área donde se aplicó la carga, es decir donde trabajaría la bola de arrastre. El valor máximo es de 1.92mm como se observa en la Figura 46.

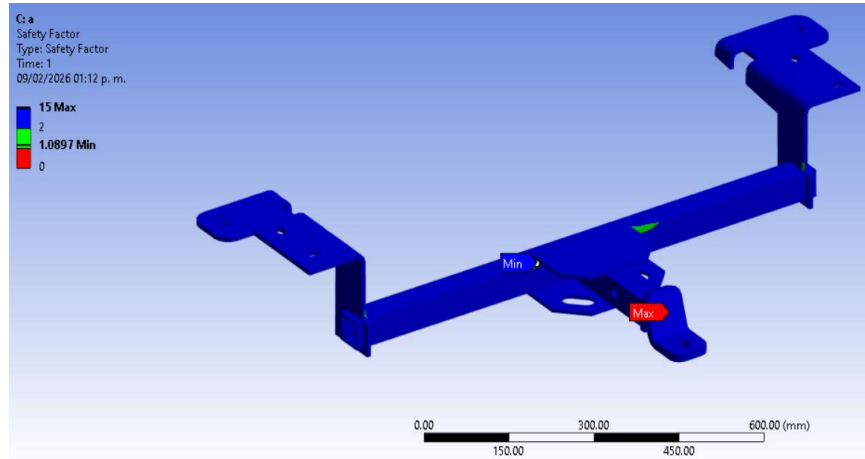
Figura 46. Resultado de deformación evento A



Al tener un límite elástico de 250 MPa del material y al encontrar un esfuerzo máximo de 229.43 MPa se ha superado el factor de seguridad de 1. Este caso va a ser muy particular ya que es el peor escenario que la barra de tiro estaría sufriendo de acuerdo a la exigencia de la norma en cada uno de los eventos simulados. El factor de seguridad para este caso es de 1.08 como se muestra en la Figura 47.



Figura 47. Resultado de factor de seguridad evento A



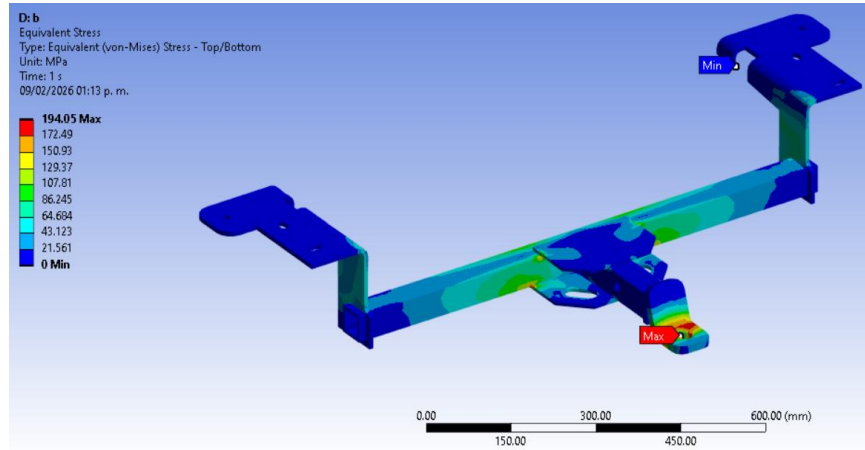
4.1.2 Resultados FEM de la barra de tiro ensayo B

En esta sección se detalla los resultados de esfuerzo máximo, deformación máxima y factor de seguridad para ensayo B.

De acuerdo a la figura 48, el esfuerzo de Von Mises es de 194.05 MPa en la zona color rojo de la placa donde trabajaría la bola de arrastre. Al ser un escenario diferente de aplicación de cargas la zona sometida a mayor esfuerzo ya no está en el tubo cuadrado de la barra de tiro pero que de igual forma no supera el límite elástico del material.

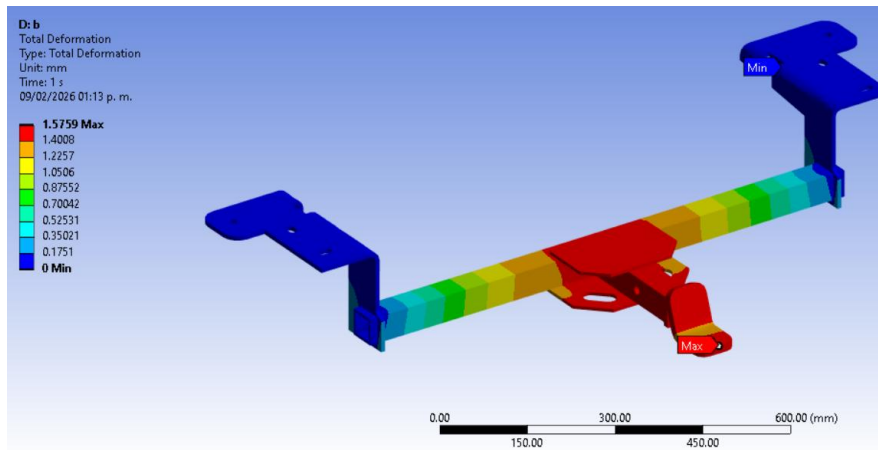


Figura 48. Resultado de esfuerzo de Von Mises evento B



La deformación máxima para el ensayo B es de 1.57 mm donde trabajaría la bola de arrastre. Este resultado se aprecia en la figura 49 y esta caracterizado por el color rojo en la barra de tiro.

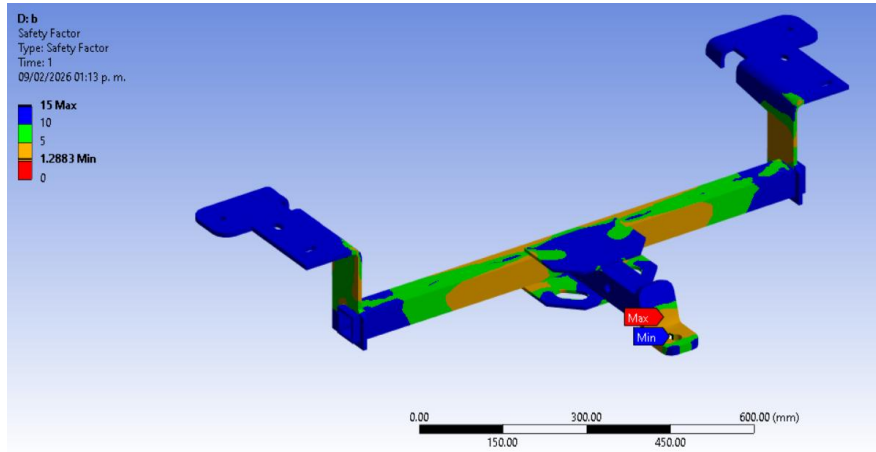
Figura 49. Resultado de deformación evento B



El factor de seguridad para este ensayo presentó un valor de 1.28, pero que al no ser superar el límite elástico bajo las condiciones extremas de la norma el diseño se encuentra seguro.



Figura 50. Resultado de factor de seguridad evento B



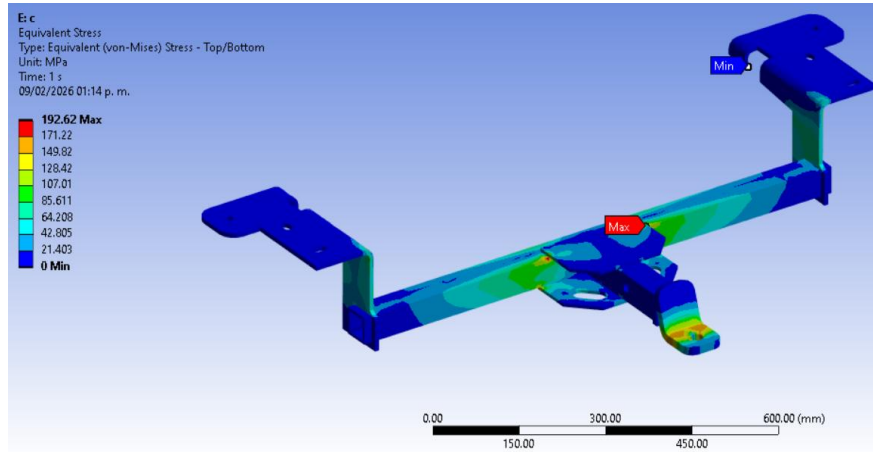
4.1.3 Resultados FEM de la barra de tiro ensayo C

Para el ensayo C se encontró el esfuerzo máximo, deformación máxima y factor de seguridad como se muestra a continuación.

El esfuerzo de Von Mises encontrado es de 192.62 MPa y la zona de mayor esfuerzo se vuelve a centrar en el tubo cuadrado de la barra donde interactúa con las placas de refuerzo, sin superar el límite elástico del material como se puede observar en la Figura 51.

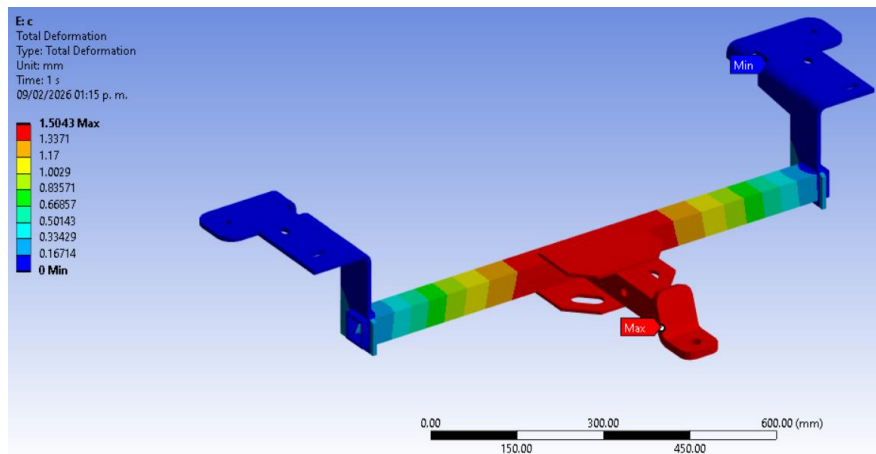


Figura 51. Resultado de esfuerzo de Von Mises evento C



La deformación máxima encontrada es de 1.50 mm en la zona central de la barra de tiro desde la placa donde trabaría la bola de tiro. La Figura 52 muestra este resultado y su zona de deformación máxima en color rojo.

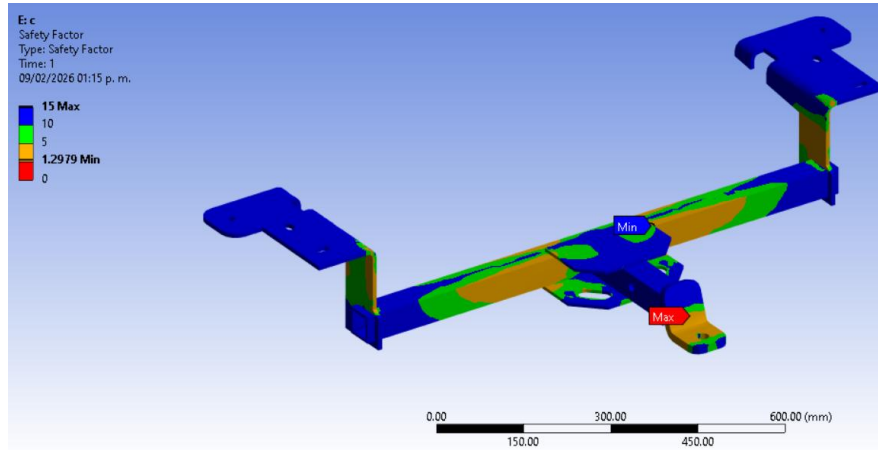
Figura 52. Resultado de deformación evento C



En cuanto al factor de seguridad mínimo para este ensayo es de 1.29 en la zona central del tubo donde trabajan las placas de refuerzo y se refleja en la Figura 53.



Figura 53. Resultado de factor de seguridad evento C



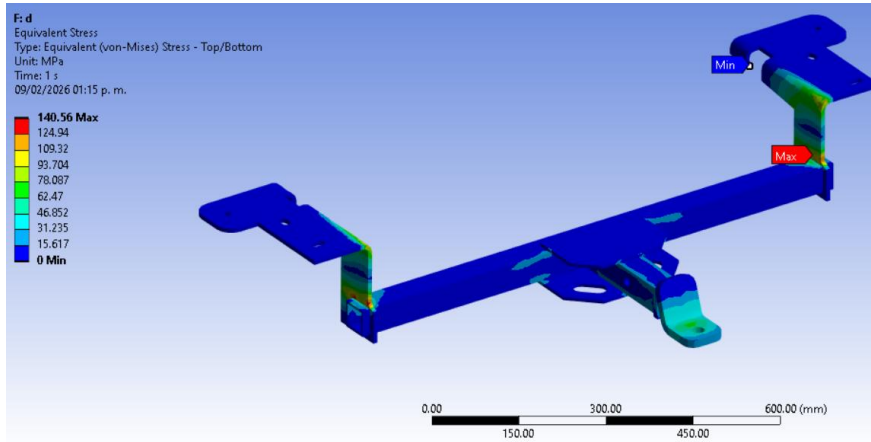
4.1.4 Resultados FEM de la barra de tiro ensayo D

En esta sección se detalla los resultados de esfuerzo máximo, deformación máxima y factor de seguridad para ensayo D.

En cuanto al esfuerzo de Von Mises se tiene un valor máximo de 140,56 MPa en las placas laterales de anclaje con el bastidor. Al ser una carga lateral respecto al eje longitudinal del vehículo, estas placas estarán sometidas a mayor esfuerzo pero que de igual forma no superó el límite elástico del material, como se muestra en la Figura 54.



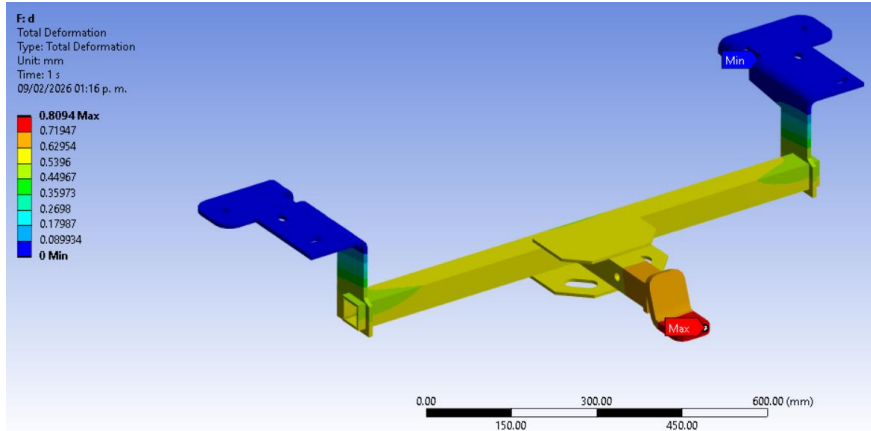
Figura 54. Resultado de esfuerzo de Von Mises evento D



Como deformación máxima se obtuvo un valor de 0.80 mm en la zona de aplicación de la carga.

Este valor y la zona de deformación máxima se aprecia en la siguiente Figura 55.

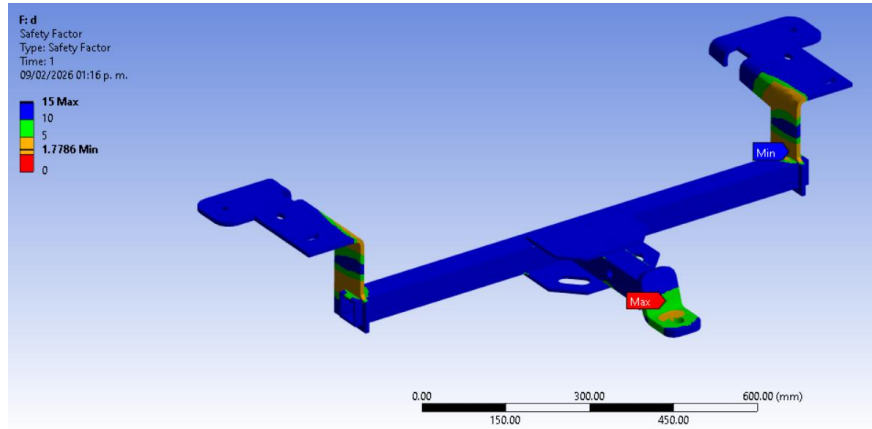
Figura 55. Resultado de deformación evento D



Como se puede ver en la Figura 56 el factor de Seguridad fue de 1.77, es decir, el diseño se encuentra seguro al no existir una deformación plástica permanentemente.



Figura 56. Resultado de factor de seguridad evento D



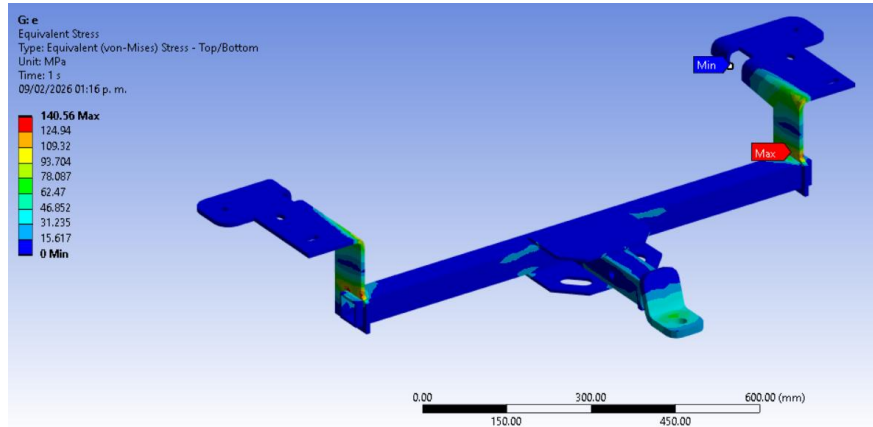
4.1.5 Resultados FEM de la barra de tiro ensayo E

A continuación, se muestra los resultados de esfuerzo máximo, deformación máxima y factor de seguridad para ensayo E.

Respecto al esfuerzo equivalente de Von Mises, se obtiene el mismo valor anterior, es decir 140.56 MPa, localizado en las mismas placas laterales de anclaje al bastidor. Dado que la carga actúa de manera lateral con respecto al eje longitudinal del vehículo, estas placas concentran los mayores esfuerzos; sin embargo, el valor obtenido se mantiene por debajo del límite elástico del material. En la Figura 57 se presenta la distribución del esfuerzo correspondiente.

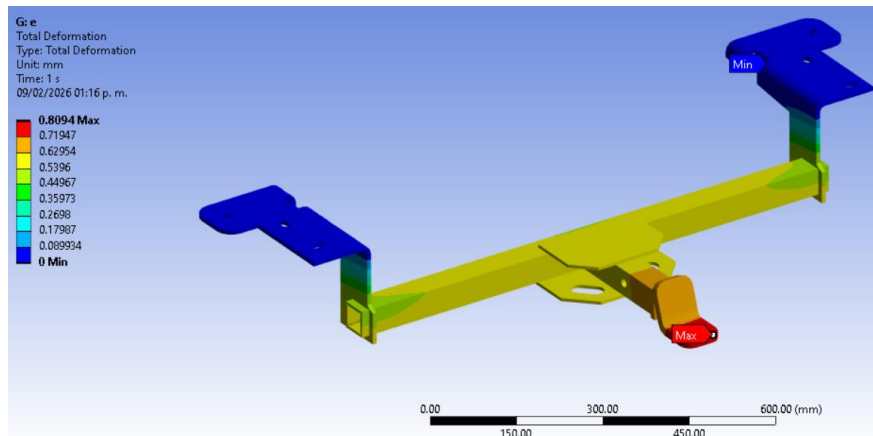


Figura 57. Resultado de esfuerzo de Von Mises evento E



La deformación máxima para el ensayo E se centra en la placa de anclaje de la bola de arrastre con un valor de 0.80 milímetros y denotado en color rojo en la simulación de la barra de tiro.

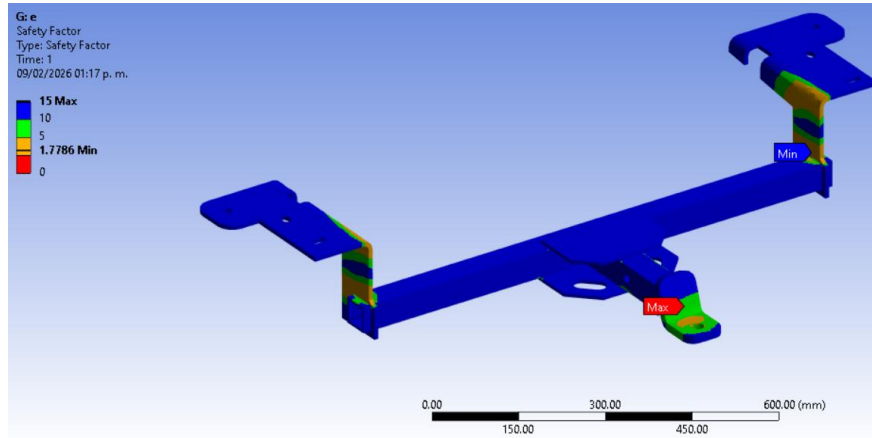
Figura 58. Resultado de deformación evento E



El factor de seguridad de igual forma es similar el evento D al generarse el mismo valor de esfuerzo y en las zonas de las placas laterales.



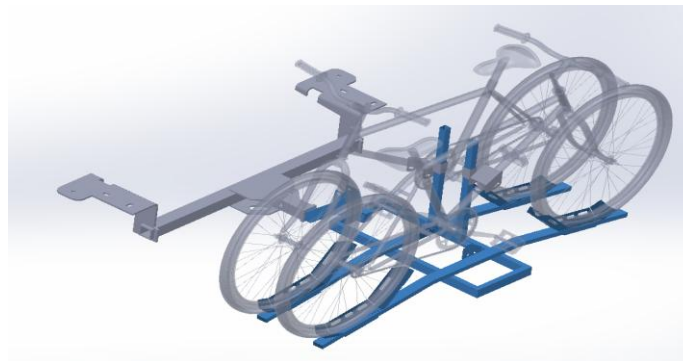
Figura 59. Resultado de factor de seguridad evento E



4.2 Resultados correspondientes al portabicicletas

La figura 60 muestra una simulación del sistema portabicicletas en uso, donde se aprecia el montaje de dos bicicletas en el diseño y como se mencionó anteriormente el montaje debe ser en sentido opuesto para una correcta distribución de cargas y optimización de espacios en el portabicicletas.

Figura 60. Verificación de montaje de bicicletas en el mecanismo diseñado



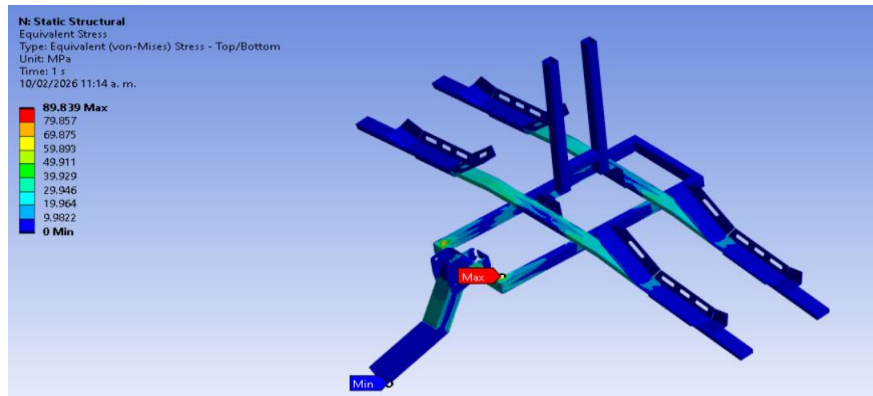


4.2.1 Resultados FEM del portabicicletas

A continuación, se detalla los resultados de esfuerzo máximo, deformación máxima y factor de seguridad para el portabicicletas.

En la Figura 61 se puede apreciar un esfuerzo de Von Mises máximo de 89,83 MPa en la esquina de la estructura rectangular del portabicicletas, un valor que no implicaría riesgos de diseño considerando la carga que soportaría el material.

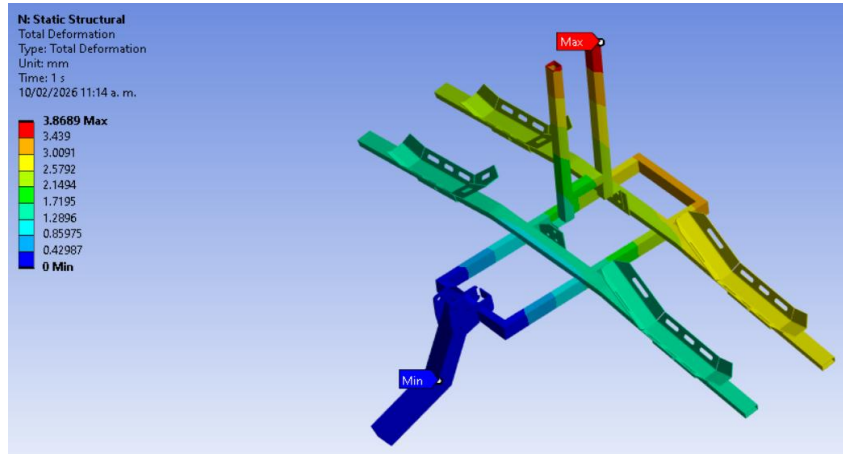
Figura 61. Resultado de esfuerzo de Von Mises del portabicicletas



Como deformación máxima se obtuvo un valor de 3.86 mm en uno de los parantes externos del portabicicletas como se indica en la Figura 62, claro está que al estar la carga dirigida verticalmente hacia abajo la zona superior del parante estará sometida a sufrir mayor desplazamiento en el sistema.

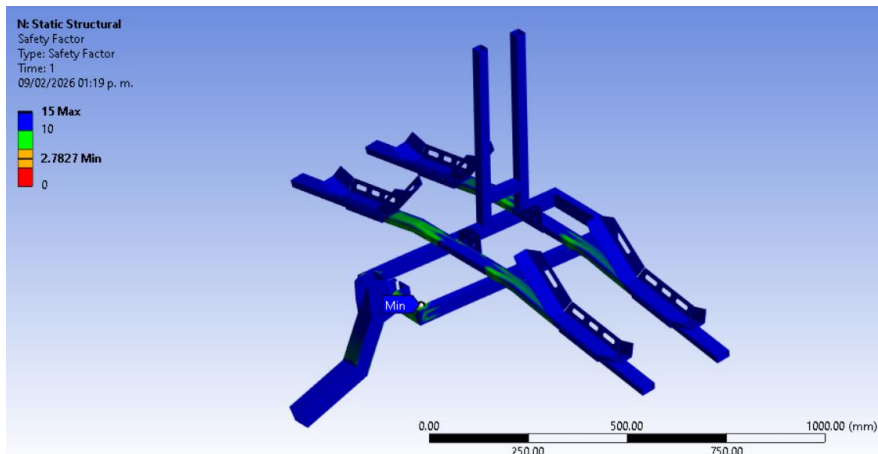


Figura 62. Resultado de deformación del portabicicletas



La Figura 63 indica que el factor de seguridad es de 2.78 el cual estaría soportando las dos bicicletas para el cual fue diseñado sin riesgo de fallo alguno.

Figura 63. Resultado de factor de seguridad del portabicicletas





4.3 Resultados del proceso de fabricación

Se realizó inspección visual de soldaduras en donde se evidenció ausencia de porosidad, cordón uniforme, buena penetración y sin grietas visibles. Como se aprecia en la Figura 64 la barra de tiro se encuentra pintada y completa para su montaje en el vehículo SUV.

Figura 64. Barra de tiro terminada



En la Figura 65 se tiene el portabicicletas pintado y con todos los elementos móviles como soportes de rueda, soportes de marco, pernos de sujeción y perillas de regulación.

Figura 65. Portabicicletas terminado





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Finalmente se realizó una inspección del peso de la barra de tiro con la ayuda de una balanza, en donde este resultado se logra apreciar en la Figura 66 con un peso de 15.15 kg.

Figura 66. Pesaje de la barra de tiro



Por su parte el sistema portabicicletas armado con los soportes de ruedas, marco y pernos marcó un peso de 13.5 kg como se logra observar en la Figura 67.

Figura 67. Pesaje del portabicicletas.





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



En la Tabla 20 se detalla los pesos de los elementos fabricados (barra de tiro y portabicicletas) individualmente y del sistema completo, dándonos como peso total 28,65 kg.

Tabla 20. Peso de elementos fabricados

Elemento	Peso (kg)
Barra de tiro	15.15
Portabicicletas	13.50
Sistema total	28.65

Una vez revisado el adecuado ensamblaje y funcionamiento de los elementos móviles se procedió a probar el funcionamiento con una bicicleta como se logra apreciar en la Figura 68.

Figura 68. Prueba del sistema con bicicleta.



Para probar el adecuado comportamiento del sistema se realizó una prueba de montaje de una bicicleta y se verificó la correcta sujeción en los soportes de rueda los cuales se ajustan perfectamente según la distancia entre ruedas, así como también el soporte de marco permite mantener la bicicleta evitando que se desplace o caiga.



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- En el Ecuador existen normativas que afectan la circulación de los vehículos como la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, tránsito y Seguridad Vial y la normativa RTE INEN 034 que establece los requisitos mínimos de seguridad para vehículos automotores que circulan en el país. Sin embargo, estas normativas no son específicas para el diseño y construcción de un sistema portabicicletas, por lo cual se optó por diseñarlo cumpliendo estándares internacionales bajo la norma norteamericana SAE J684, la cual es un estándar específico para acoplamientos, enganches y cadenas de seguridad en remolques con un peso bruto vehicular máximo de hasta 4540 kg, incorporando requisitos de rendimientos, pruebas de carga y seguridad.
- El diseño de la barra de tiro y el portabicicletas fue realizado mediante el software computacional AutoCAD que permite el diseño en planos 2D y 3D, luego de escanear el vehículo con un software de escaneo 3D denominado EXStar para que no exista interferencias entre los componentes del vehículo como del sistema. En el momento de la simulación de la unión de ambos componentes se observó que estos se acoplaban perfectamente y podía ser usado todo el conjunto abierto (con carga de las bicicletas) como plegado (sin carga de las bicicletas).



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



- El análisis estructural por elementos finitos permitió verificar los resultados del diseño mediante los diversos ensayos aplicados en todo el componente portabicicletas, con lo cual se logró obtener un sistema confiable, de fácil montaje y desmontaje, que no afecte a la estructura del vehículo y que soporte las diferentes cargas estáticas y dinámicas a la que estará expuesto el portabicicletas. El resultado menos favorable se presenta en la barra de tiro, con valores de esfuerzo de Bon Mises de 229.43 MPa y un factor de seguridad de 1.08 bajo una carga hacia abajo y en compresión de 6.36 KN en cada dirección. Este resultado a pesar de que es bajo sigue siendo seguro al superar el límite de seguridad de 1, de igual forma, en el diseño del componente se consideró un factor de cargar variables de 1.5 debido a la dinámica vehicular que afecta a los elementos del portabicicletas. Adicionalmente, se debe considerar que los valores para la simulación se tomaron con la máxima capacidad de carga de la clase 1 que son 910 kg.
- Para la fabricación de todo el sistema portabicicletas se utilizó la soldadura MIG ya que esta tiene mejor penetración y mejores acabados, de igual forma, los componentes se cortaron con un proceso CNC para mejor precisión en cada elemento y finalmente se utilizó pintura electroestática de color negro para el acabado final. Este sistema tiene un peso total de 28.65 kg de los cuales 15.15 kg corresponden a la barra de tiro y 13.50 kg corresponden al portabicicletas.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



5.2 Recomendaciones

- En caso de no encontrar requerimientos técnicos y estructurales para el diseño de un componente se puede aplicar normativas internacionales, de las cuales se seleccionaría la que mejor se acople al proyecto.
- Para el diseño de la barra de tiro se recomienda considerar las medidas del tubo de acople como las medidas del tubo de enganche para que el sistema pueda acoplarse adecuadamente, de igual forma considerar elementos de venta en el mercado nacional para que la barra de tiro sea polifuncional y permita cargar hasta remolques de liviana capacidad.
- En la simulación de los componentes se puede colocar el peso bruto real del elemento a cargar para aumentar factor de seguridad.
- Es preferible realizar los cortes y las perforaciones de los componentes con métodos industriales más tecnificados para obtener mejores acabados y un producto final de mayor calidad. De igual forma, comprar tapones para los finales de tubería con el propósito de impedir el ingreso de agua o algún material que posteriormente pueda provocar oxidación al portabicicletas.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] “disec3b1o-en-ingenierc3ada-mecc3a1nica-de-shigley-8-edicic3b3n-budynas”.
- [2] L. Nguyen and P. Thuong, “Design and Manufacture a Vehicle Auxiliary System Model Controlled by Using Smartphone,” 2021, pp. 1604–1611. doi: 10.1007/978-3-030-51156-2_187.
- [3] N. Zacharof and G. Fontaras, “Review of in use factors affecting the fuel consumption-LDNA27819ENN,” *JRC Science Hub*, pp. 1–196, 2016, doi: 10.2790/140640.
- [4] Asamblea Constituyente del Ecuador, “Ley Orgánica de Transporte (10-08-2021),” pp. 1–111, Aug. 2021.
- [5] E. M. Ossiander, T. D. Koepsell, and B. McKnight, “Crash fatality risk and unibody versus body-on-frame structure in SUVs,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 70, pp. 267–272, 2014, doi: 10.1016/j.aap.2014.03.019.
- [6] Jornsén. Reimpell, Helmut. Stoll, and J. W. . Betzler, *The automotive chassis : engineering principles*, Second. Society of Automotive Engineers, 2002.
- [7] SAE International, “Trailer Couplings, Hitches, and Safety Chains—Automotive Type,” 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States, May 2020. doi: 10.4271/J684_201405.
- [8] T. Ananda Babu, D. V. Praveen, and M. Venkateswarao, “Crash Analysis Of Car Chassis Frame Using Finite Element Method,” *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 1, 2012, doi: 10.17577/IJERTV1IS8011.
- [9] motor.es, “Chasis autoportante o monocasco: qué es y qué ventajas aporta.” Accessed: Jan. 21, 2026. [Online]. Available: <https://www.motor.es/que-es/chasis-autoportante-monocasco>
- [10] A. Sarmento, A. Luiz, J. Pereira, C. A. Barbieri, and C. Sakuramoto, “Body Structure contribution for automotive energy efficiency improvement-INOVAR Auto Program,” 2013.
- [11] Y. Liu, C. Liu, X. Gao, and J. Tan, “Multiphysics Finite Element Analysis and Optimization of Load-Bearing Frame for Pure Electric SUVs,” *Symmetry (Basel)*, vol. 17, no. 7, pp. 1–32, Jul. 2025, doi: 10.3390/sym17071143.
- [12] todooffroad.com, “Puntos de anclaje en 4x4: Seguridad y funcionalidad.” Accessed: Jan. 21, 2026. [Online]. Available: <https://todooffroad.com/identificar-reforzar-puntos-anclaje/>
- [13] F. Synák, A. Smolková, and K. Žúžiová, “Consequences of load distribution in selected vehicles in the context of changing the position of the vehicle’s centre of gravity,” *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–14, Dec. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-48083-8.
- [14] J. Gonera, J. Napiórkowski, and K. Ciborowski, “Influence of the load distribution and sizes on the wheel geometry in passenger cars,” *Communications - Scientific Letters of the University of Žilina*, vol. 23, no. 1, pp. B1–B12, Jan. 2021, doi: 10.26552/COM.C.2021.1.B1-B12.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



- [15] M. Soledispa and F. Berrezueta, “Influencia de la carga útil en el consumo de combustible de un vehículo SUV usando un dispositivo Azuga,” Universidad Internacional del Ecuador, Guayaquil, 2025.
- [16] S. H. Kim, W. H. Heo, D. woo You, and J. G. Choi, “Vehicle loads for assessing the required load capacity considering the traffic environment,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 7, no. 4, pp. 1–14, Apr. 2017, doi: 10.3390/app7040365.
- [17] T. D. Gillespie, “Fundamentals of vehicle dynamics,” p. 495, 1992.
- [18] D. Colcha and M. Carvajal, “DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ARRASTRE PARA VEHÍCULOS LIVIANOS MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS,” UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL, Quito, 2016.
- [19] Asociación Española de Normalización y Certificación, *Aplicaciones ferroviarias vía remolques y equipo asociado Parte 1: Requisitos técnicos para la circulación y el trabajo*. Madrid: www.aenor.es, 2014, pp. 1–55.
- [20] RACC AUTOMOVIL CLUB, “ESTUDIO DE PORTABICICLETAS 2005,” 2005.
- [21] Revista Autocrash Cesvi Colombia, “El transporte de carga sobre el techo del automóvil - Revista Autocrash - CesviColombia.” Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: <https://www.revistaautocrash.com/el-transporte-de-carga-sobre-el-techo-del-automovil/>
- [22] RimTire Warehouse, “Todo Lo Que Necesitas Saber Sobre Los Lift Kits - Rim and Tire Warehouse NC.” Accessed: Jan. 21, 2026. [Online]. Available: <https://rimitirenc.com/lift-kits-en-espanol/>
- [23] Ironman, “Bullbar Delantero Full Con Base de Wincha Dmax.” Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: <https://www.4x4.ec/producto/bullbar-delantero-full-con-base-de-wincha-dmax/>
- [24] International Organization for Standardization, *Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction*. <https://www.iso.org/standard/51528.html#lifecycle>, 2010, pp. 1–77.
- [25] F. Torres, A. López, G. Álvarez, D. Encalada, E. Carpio, and M. Chalco, “Factibilidad Técnica y Económica para la Producción de Barras de Tiro en Ecuador,” Cuenca, 2019.
- [26] Curt, “Parts of a Trailer Hitch - Essential Towing Equipment - Towing 101.” Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: <https://www.curtmfg.com/basic-towing-components>
- [27] Artststion, “ArtStation - RECEIVER HITCH BALL DRAWBAR JOINT TOW TOWING MOUNT TRAILER PIN | Resources.” Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: <https://www.artstation.com/marketplace/p/ry1NJ/receiver-hitch-ball-drawbar-joint-tow-towing-mount-trailer-pin>
- [28] J. Campbell, “Engineering:Tow hitch - HandWiki.” Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: https://handwiki.org/wiki/Engineering%3ATow_hitch
- [29] HIDRONEUMATIC, “BARRA DE TIRO PARA COLOCAR BOLA.” Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: <https://hidroneumatic.com.ec/producto/barra-de-tiro-para-colocar-bola/>



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



- [30] A. V. Petrici, M. L. Scutaru, V. Gheorghe, and S. Vlase, “Alternative Solution for Towing Systems Used in the Automotive Industry,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 14, no. 19, pp. 1–29, Oct. 2024, doi: 10.3390/app14199131.
- [31] Wise Guy Reports, “Passenger car towbar.” Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: <https://www.wiseguyreports.com/es/reports/passenger-car-towbar-market>
- [32] B. Iacopo, M. Chiara, S. Michela, and V. Tommaso, “Life cycle analyses of a composite towbar realized via filament winding and comparison with traditional metallic alternatives,” *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 40, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.susmat.2024.e00980.
- [33] B. Iacopo, M. Chiara, S. Michela, and V. Tommaso, “Life cycle analyses of a composite towbar realized via filament winding and comparison with traditional metallic alternatives,” *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 40, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.susmat.2024.e00980.
- [34] S. Luis Obispo by Austin Lynch William Max McEwan Fredrik Stenson, “DESIGN & ANALYSIS OF A BICYCLE TOWING DEVICE,” 2016.
- [35] Helloauto, “¿Qué es el Portabicicletas? -.” Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: <https://helloauto.com/es-es/glosario/portabicicletas/>
- [36] Fullhart, “United States Patent (19) 11 Patent Number: 5,190,195,” 1993.
- [37] Thule, “Portabicicleta Thule para barra de tiro.” Accessed: Jan. 21, 2026. [Online]. Available: <https://www.autoplanet.com.co/portabicicleta-thule-de-tiro-thule-t2-pro-2bk/?srsltid=AfmBOop3iUcpbKdPc8p8undHJPnyBsd6I3gN7kvbLIIMtgmEtjST38nH>
- [38] Range Rover, “Range Rover - Range Rover - CARRYING & TOWING - CARRYING - Soporte para bicicletas montado en el techo.” Accessed: Jan. 21, 2026. [Online]. Available: <https://accessories.landrover.com/es/es/range-rover/carrying-towing/carrying/vplzr0186-roof-mounted-cycle-carrier-wheel-mounted/>
- [39] Mapfre, “Tipos de portabicicletas para el coche.” Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: <https://www.motor.mapfre.es/consejos-practicos/consejos-de-conduccion/tipos-portabicis-coche/>
- [40] Market Research Future, “Automotive Bicycle Rack.” Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: https://www.marketresearchfuture.com/reports/automotive-bicycle-rack-market-23447?utm_
- [41] Suzhou Pioneer Vehicle Co. Ltd, “Key materials forlong lasting bicycle racks.” Accessed: Jan. 19, 2026. [Online]. Available: <https://www.chinabikerack.com/news/key-materials-for-long-lasting-bicycle-racks.html>
- [42] SAE, *SAE J684*, no. August. 2000, pp. 1–7.
- [43] E. J. Carpio Iñiguez and A. M. Chalco Orellana, “Factibilidad Técnica y Económica para la Producción de Barras de Tiro en Ecuador,” 2019.
- [44] “ASTM A36 Steel, plate.” Accessed: Mar. 13, 2026. [Online]. Available: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=afc003f4fb40465fa3df05129f0e88e6>



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



- [45] “ASTM A500 Steel, grade C, round structural tubing.” Accessed: Mar. 13, 2026. [Online]. Available:
<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=c5b4adbcee774d7e8be46783bf8e3b79&ckck=1>
- [46] N. M. Adam, O. H. Attia, A. O. Al-Sulttani, H. A. Mahmood, A. As’arry, and K. A. M. Rezali, “Numerical analysis for solar panel subjected with an external force to overcome adhesive force in desert areas,” *CFD Letters*, vol. 12, no. 9, pp. 60–75, 2020, doi: 10.37934/cfdl.12.9.6075.



ANEXOS

ANEXO 1. SOPORTE DE NEUMATICOS DE BICICLETAS



ANEXO 2. SISTEMA PORTABICICLETAS ARMADO



ANEXO 3. MONTAJE DE LA BICICLETA EN EL PORTABICICLETAS

