

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR - JOSE MIGUEL CARRERA

**REDISEÑO MEJORADO DEL SISTEMA DE ACOPLE INTERMEDIO ENTRE UN
AUTOMÓVIL Y EL SISTEMA DE UNIÓN DE UN CARRO DE ARRASTRE**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
INGENIERO EN FABRICACIÓN Y
DISEÑO INDUSTRIAL
con licenciatura en ingeniería
en Fabricación y diseño industrial

Alumno:
Ignacio Andrés Araya Pérez

Profesor:
Augusto Vargas Schuler



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: REDISEÑO MEJORADO DEL SISTEMA DE ACOPLE INTERMEDIO ENTRE UN AUTOMÓVIL Y EL SISTEMA DE UNIÓN DE UN CARRO DE ARRASTRE

Nombre del candidato(a): Ignacio Andrés Araya Pérez

Carrera / Grado: Ingeniería en Fabricación y Diseño Industrial

Campus: Viña del Mar **Departamento:** Diseño y Manufactura

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Augusto Vargas Schuler, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 1 de julio del 2026 Firma: 
Augusto Vargas

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 30/06/2026 Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
Declaración de uso de Inteligencia Artificial.....	3
CÁPITULO 1: MARCO TEÓRICO.....	4
1. Marco teórico	5
1.1. Antecedentes	5
1.2. Enganches encontrados en el mercado en general:.....	7
1.2.1. Pasador con bloqueo	7
1.2.2. Pasador con clip de seguridad:.....	9
1.2.3. Sistema de enganche automático	9
1.2.4. Conexión por pernos	10
1.2.5. Materiales utilizados en pasadores comerciales	11
1.3. Análisis de equipo existente	12
1.3.1. Análisis de Contenido Cuantitativo de Reseñas de Usuarios	12
1.4. Problemas de las conexiones	12
1.4.1. Pasador con bloqueo	13
1.4.2. Pasador con clip de seguridad.....	14
1.5. Resumen de problemas	15
1.6. Empresas proveedoras	16
1.7. Normativa	16
1.7.1. Clasificación según SAE J684 (EE. UU.).....	16
1.7.2. Clasificación según el reglamento 55 de la Cepe/Onu (Europa)	17
1.7.3. Normativa en Chile	18
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	19
2. Metodología	20
2.2. Metodología AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos)	20

2.3.	Diagrama de Ishikawa	23
2.4.	Causa problema impacto	25
CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE DISEÑO		26
3.	Propuesta de diseño	27
3.1.	Requerimiento del diseño	27
3.2.	Propuesta diseño	28
3.3.	Primeras propuestas:	29
3.4.	Propuesta final:	30
	Planimetría del prototipo	33
3.5.	Prototipo físico	35
3.6.	Modelo funcional 3D	36
3.7.	Costos prototipo	37
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS		38
4.	Análisis de resultados	39
4.1.	Pruebas comparativas	39
4.2.	Análisis de resultados	41
4.3.	Validación de material	44
4.3.1.	Pruebas pasador acero A36	45
4.3.2.	Pruebas pasador acero inoxidable 304	48
4.3.3.	Pruebas pasador AISI 4140 tratado térmicamente	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		55
ANEXOS		58
REFERENCIAS		59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificaciones de pesos	17
Tabla 2	Aplicación metodología AMFE	22
Tabla 3	Causa, problema, impacto	25
Tabla 4	Requerimientos a cumplir en nuevo diseño	27
Tabla 5	Propiedades mecánicas de AISI 4140, ASTM a36 y AISI 304	31
Tabla 6	Precio de materiales	37
Tabla 7	Recopilación datos de pasador Bace	42
Tabla 8	Recopilación datos de prototipo	43
Tabla 9	Resumen resultados.....	52

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	Porcentaje de reducción	41
Ecuación 2	Factor de seguridad	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Sistema remolque	6
Figura 2	Pasador con bloqueo.....	7
Figura 3	Pasador en uso	8
Figura 4	Pasador con retenedor antivibración	8
Figura 5	Pasador con clip de seguridad	9
Figura 6	Enganche vertical	10
Figura 7	Enganche horizontal	10
Figura 8	Soporte fijo	11
Figura 9	Desgaste de pasador	13
Figura 10	DIAGRAMA CAUSA-EFECTO	24
Figura 11	Propuesta preliminar.....	29
Figura 12	Segunda propuesta.....	30
Figura 13	Propuesta final	32
Figura 14	Plano despiece prototipo	33
Figura 15	Planimetría carcasa.....	34
Figura 16	Planimetría bace	34
Figura 17	Planimetría soporte cremallera.....	35
Figura 18	Foto del prototipo físico	35
Figura 19	Prototipo armado	36
Figura 20	Modelo funcional digital	36
Figura 21	Fotografía de usuario realizando pruebas con pasador	40
Figura 22	Fotografía de usuario realizando pruebas con prototipo	41
Figura 23	Análisis pasador acero A36 tensiones de Von Mises.....	46

Figura 24	Esfuerzos acero A36 pasador	46
Figura 25	Análisis pasador A36 FS.....	47
Figura 26	Análisis pasador acero inoxidable 304 tensiones Von Mises	48
Figura 27	Esfuerzos acero AISI 304 pasador.....	49
Figura 28	Análisis pasador acero inoxidable 304 FS	49
Figura 29	Pasador AISI 4140 tensiones Von mises	50
Figura 30	Esfuerzos acero AISI 4140 pasador.....	51
Figura 31	Pasador AISI 4140 FS	51

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

Siglas

N	Newton
MPa	Mega pascal
Ø	Diámetro
kg	Kilogramo
mm	Milímetro
s	Segundo
%	Porcentaje

Simbología

AMFE	Análisis Modal de Fallos y Efectos
S	Severidad (criterio AMFE)
O	Ocurrencia (criterio AMFE)
D	Detección (criterio AMFE)
RPN / NPR	Número de Prioridad de Riesgo
A36	Acero al carbono ASTM A36
AISI 304	Acero inoxidable AISI 304
AISI 4140	Acero aleado AISI 4140 tratado térmicamente
SAE J684	Norma estadounidense para acoples y enganches de remolque
PLA	Ácido Poliláctico (material de impresión 3D)

Palabras clave

Sistema de acople, Enganches de remolques, Pasador de bloqueo, Sistema de conexión mecánica.

Resumen

El presente trabajo tuvo como propósito mejorar la seguridad y confiabilidad del sistema de acople por pasador utilizado en enganches de remolque, considerando que fallas en este componente pueden provocar desprendimientos totales del remolque y accidentes graves. A partir de antecedentes reales, análisis de mercado y revisión de fallas reportadas por usuarios, se identificaron problemas recurrentes asociados a desgaste prematuro, deformaciones, fallas de bloqueo por vibraciones y errores de instalación.

Mediante las metodologías AMFE e Ishikawa se determinaron los modos de falla críticos, lo que permitió orientar el rediseño hacia dos ejes principales: un nuevo material para el pasador y un mecanismo de cierre automático que reduzca la dependencia del usuario. Se desarrolló un prototipo funcional que incorpora pasadores móviles, que aseguran el cierre sin intervención manual.

La validación se realizó mediante simulaciones estructurales y pruebas con usuarios. Los resultados indicaron que el factor de seguridad del acero AISI 4140 es aproximadamente 4 veces superior respecto a los materiales comerciales, y que el prototipo reduce en un 69% el tiempo de acople y desacople frente al sistema original, manteniendo una operación más intuitiva y estable. La retroalimentación permitió identificar mejoras menores, principalmente relacionadas con fluidez del mecanismo y alineación interna. El rediseño propuesto mejora la seguridad, usabilidad y fiabilidad del sistema de enganche, demostrando su viabilidad para futuras aplicaciones.

INTRODUCCIÓN

El uso de remolques en vehículos particulares ha aumentado durante los últimos años, especialmente en temporadas de alta circulación, lo que ha incrementado también los incidentes asociados a fallas en los sistemas de enganche. Entre todos los componentes involucrados, el pasador que une el vehículo con el remolque cumple un rol fundamental, ya que una falla en este elemento puede provocar desprendimientos totales que deriven en daños materiales, lesiones graves o incluso consecuencias fatales (Obu, 2017). Casos documentados a nivel internacional y reportes de usuarios evidencian que los mecanismos actuales presentan problemas de diseño, materiales insuficientes y dificultades de instalación, lo que compromete su confiabilidad (B&W Custom Truck Beds, Inc., 2021).

Ante este escenario, surge la necesidad de estudiar los sistemas de acople disponibles en el mercado, analizar sus fallas más recurrentes y comprender cómo estos problemas afectan la seguridad vial. Esta investigación se propone abordar dichas necesidades mediante un proceso metodológico que incluye la identificación de fallas, la evaluación de su impacto y el desarrollo de una alternativa de diseño orientada a mejorar la seguridad, facilidad de uso y resistencia del pasador.

El estudio incorpora análisis normativos, revisión de materiales, evaluación del funcionamiento actual de los pasadores comerciales y la aplicación de herramientas de ingeniería como AMFE e Ishikawa, que permiten estructurar el diagnóstico del problema. A partir de estos elementos, se plantea un rediseño integral del sistema de acople y se definen las etapas de validación tanto mecánicas como de usabilidad.

Objetivo general

Desarrollar una propuesta de rediseño de sistema de aseguramiento del pasador utilizado en enganches, mediante la incorporación de un material de mayor resistencia en el pasador y una mejora en el método de instalación, con el fin de aumentar la confiabilidad del sistema y reducir los riesgos de desprendimiento asociados a fallas mecánicas, defectos de diseño y errores de montaje

Objetivos específicos

- Analizar los principales sistemas de acople y pasadores utilizados en remolques mediante una revisión de productos comerciales, antecedentes técnicos y reportes de usuarios, identificando sus mecanismos de funcionamiento, materiales utilizados y fallas.
- Desarrollar metodologías a partir de los resultados del análisis funcional, de AMFE y del diagrama de Ishikawa definiendo las problemáticas críticas detectadas.
- Realizar propuestas de diseño en base a requerimientos y problemas a solucionar en base a resultados de las metodologías.
- Fabricar el prototipo virtual mediante software CAD y físico mediante impresión 3D, implementando el rediseño a partir de los requerimientos obtenidos del análisis de AMFE y del diagrama de Ishikawa.
- Validar el nuevo diseño ejecutando pruebas de usabilidad con usuarios y análisis estructural mediante simulaciones en software, comparando su desempeño frente al sistema base en términos de tiempo de instalación, facilidad de uso percibida y factor de seguridad.

Declaración de uso de Inteligencia Artificial

En el presente trabajo se utilizó inteligencia artificial, específicamente la herramienta ChatGPT, exclusivamente como apoyo para la mejora de la redacción y la corrección ortográfica y gramatical del documento. Se declara que el contenido final, así como los análisis, resultados y conclusiones presentados, son de exclusiva autoría del autor y constituyen su total responsabilidad académica, no habiéndose empleado la inteligencia artificial para la generación de contenido técnico ni para la toma de decisiones metodológicas.

CÁPITULO 1: MARCO TEÓRICO

1. Marco teórico

En este capítulo se presentan los conceptos y antecedentes teóricos que sirven como base para el desarrollo de la investigación. Se abordan temas relacionados con los sistemas de acople para remolques de baja carga, sus componentes, las normativas aplicables, los materiales utilizados y las principales fallas que pueden presentarse durante su uso.

1.1. Antecedentes

El uso de remolques por parte de vehículos particulares ha aumentado de manera significativa, especialmente en temporadas de alta circulación. Sin embargo, este aumento en su utilización también ha traído consigo un mayor número de accidentes asociados a fallas en los sistemas de enganche, donde los pasadores cumplen un rol fundamental para mantener unido el remolque al vehículo. Cuando estos elementos fallan, las consecuencias pueden ser graves y, en muchos casos irreversibles.

Un ejemplo de esto ocurrió en EE. UU en el 2010, cuando un remolque mal asegurado se desprendió del vehículo en movimiento y causó la muerte de 2 menores de edad. La investigación reveló que el sistema no contaba con un clip de seguridad ni con la cadena de seguridad obligatoria, ambos elementos destinados a evitar la separación total del remolque en caso de que este fallara. Este hecho marca un precedente sobre las consecuencias que puede tener una falla en este tipo de sistemas.

Según datos de la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), más de 20.000 personas resultan heridas cada año en accidentes relacionados con remolques, muchos de los cuales están directamente vinculados a pasadores defectuosos, mecanismos de bloqueo mal diseñados o instalaciones inadecuadas (Obu, 2017). Estas cifras reflejan que no se trata de eventos aislados, sino de una problemática recurrente que afecta a miles de personas anualmente.

A esto se le suma el llamado a revisión realizado a la empresa B&W Trailer Hitches debido a un defecto de seguridad en pasadores de enganche con cerradura de acero inoxidable de 5/8", comercializado entre el 2020 y el 2021. La empresa detectó que el mecanismo de bloqueo podía desbloquearse sin el uso de la llave y con una rotación mínima, lo que generaba el riesgo de que el pasador se desprendiera durante su uso normal. Esta situación hacía posible que el remolque se separara completamente del vehículo de forma inesperada, exponiendo a los usuarios y a terceros a un alto riesgo de accidente (B&W Custom Truck Beds, Inc., 2021).

Figura 1

Sistema remolque



Fuente: (kiaaccesorios.cl, s. f.)

Con el fin de contextualizar el análisis en la Figura 1, se ha destacado en color amarillo la pieza seleccionada para el estudio, correspondiente al pasador que vincula la estructura del vehículo con el componente que sostiene la esfera metálica.

1.2. Enganches encontrados en el mercado en general:

Los enganches encontrados en el mercado nacional como en el extranjero coinciden, en su mayoría, en utilizar el mismo tipo de conexión para unir o fijar las piezas del vehículo al perfil que incorpora la esfera de metálica. Las principales diferencias que se observan en aquellos modelos que se fijan de forma permanente o semi permanente al vehículo.

1.2.1. Pasador con bloqueo

Este consiste en un pasador como se ve en la Figura 2 y Figura 3 el cual se fija mediante una un enganche que se puede cerrar o abrir mediante una llave para asegurar que este no se extraiga.(Amazon.com: TowWorks 5/8" Pasador de bloqueo de enganche para remolque, 5/8": Automotriz, s. f.)

Figura 2

Pasador con bloqueo



Fuente: Amazon.com CZC AUTO.

Figura 3

Pasador en uso



Fuente: Amazon.com CZC AUTO.

Existen algunas variaciones como en la Figura 4 en donde este sistema trae un mecanismo que reduce la vibración del remolque lo que evita los sonidos generados por los movimientos del auto entre otros.

Figura 4

Pasador con retenedor antivibración



Fuente: Amazon.com .

1.2.2. Pasador con clip de seguridad:

Este al igual que el anterior es un pasador con la diferencia que a este por una perforación se pase un clip que asegura este para que no se salga de su lugar como se ve en la Figura 5 este viene en su kit con el clip de seguridad.

Figura 5

Pasador con clip de seguridad



Fuente: Amazon.com.mx.

1.2.3. Sistema de enganche automático

Este es un sistema que esta tanto de manera vertical como horizontal como se ve en la Figura 6 y Figura7 este funciona accionando un mecanismo que a la introducción la barra en el conector este se engancha automáticamente y se bloquea algunos sistemas poseen una cerradura para impedir que estos se puedan quitar sin consentimiento (*Enganche de remolque desmontable*, s. f.).

Figura 6
Enganche vertical



Fuente: Remolques Zabala.

Figura 7
Enganche horizontal



Fuente: Remolques Zabala.

1.2.4. Conexión por pernos

La conexión entre esta y el vehículo es mediante pernos para unir la esfera de metal al soporte lo cual lo hace un sistema lento y tedioso por las piezas que se deben tener en cuenta para poder armar el sistema la Figura 8 es un caso demostrativo de lo que no se tomara en cuenta para este trabajo.

Figura 8
Soporte fijo



Fuente: Kit Soporte.

Como análisis de las conexiones encontradas se ve que la tendencia en la gran mayoría de los productos siempre es un pasador al cual se le agrega algo, por lo que, como futura propuesta podría ser evaluar una conexión que no sea un pasador y analizar las otras encontradas de cambio rápido.

Para generalizar estos tipos de conexiones se aprecia que cada una de esta tiene cierta ventaja con las otra y en general estas serían la cantidad de piezas para unir y el método de cómo se afianza la conexión entre el auto y el perfil que sostiene la esfera.

1.2.5. Materiales utilizados en pasadores comerciales

Los pasadores utilizados en los sistemas de enganche para remolques suelen fabricarse principalmente en aceros al carbono de baja aleación, aceros inoxidable o en algunas ocasiones en aceros endurecidos mediante tratamientos térmicos. La selección del material depende del fabricante, del costo de producción y del nivel de resistencia requerido para cada tipo de remolque. Sin embargo, la literatura técnica y las fichas de fabricantes muestran que muchos pasadores

disponibles en el mercado están diseñados más para uso general que para cargas cíclicas severas, lo que contribuye a fallo en estos. Los materiales más utilizados son:

- Acero al carbono (A36, SAE 1020): Es uno de los materiales más utilizados debido a su bajo costo y facilidad de fabricación. Se emplea comúnmente en pasadores con clip y pasadores estándar de enganche.
- Acero inoxidable (AISI 304 / 316): Algunos pasadores de mayor costo incorporan acero inoxidable, principalmente para aplicaciones marítimas o de alta exposición a humedad.

1.3. Análisis de equipo existente

1.3.1. Análisis de Contenido Cuantitativo de Reseñas de Usuarios

La forma de recoger datos fue a través de evaluar los comentarios de los consumidores en plataformas en línea en donde se buscó los comentarios más negativos hacia el producto y resaltar las causas señaladas por los consumidores (*Opiniones de clientes: Rhino USA* , s. f.).

Además, aparte de los datos de los usuarios, existe un caso de una empresa que vende pasadores con bloqueo el cual por problemas de diseño fallaban bajo ciertas condiciones por lo cual la empresa los recogió y saco del mercado esto fue en Canadá y la empresa fue Reese(Government of Canada, 2025).

1.4. Problemas de las conexiones

Se identificarán los fallos que presentan los diferentes tipos de pasadores le mercado.

1.4.1. Pasador con bloqueo

Estos pasadores presentan diferentes tipos de problemas, y algunos de estos se mantienen entre distintas marcas, de los cuales algunos son críticos por el hecho de comprometer la integridad de la conexión, lo que puede provocar incidentes por los problemas que detectan y documentan los usuarios, los cuales son los siguientes:

- Desgaste prematuro y fallas estructurales:

Como se muestra en la Figura 9 se ha detectado un desgaste excesivo del pasador en periodos de uso cortos, esto acompañado de deformaciones e incluso rotura del componente. Estas fallas estructurales comprometen directamente la integridad del sistema de enganche y puede generar distintos niveles de riesgo según la carga transportada y las condiciones de operación del remolque (*Opinión de Amazon de Rhino USA*, s. f.).

Figura 9
Desgaste de pasador



Fuente: Amazon de Rhino USA.

- Compatibilidad dimensional:

Incompatibilidad dimensional asociadas al largo útil estándar de los pasadores, el cual, suele ser de aproximadamente de 2". Esto provoca que el sistema de cierre no logre encajar en determinados perfiles de enganche, impidiendo un cierre completo y seguro del pasador.

- Fallas en sistema de cierre:

Entre los problemas más recurrente se encuentran las fallas del mecanismo de cerradura, estas se asocian principalmente a la liberación involuntaria del pasador este producto de las vibraciones del vehículo, así como también por la baja durabilidad frente a condiciones ambientales adversas. En múltiples casos, el mecanismo de bloqueo deja de funcionar correctamente, inutilizando la llave por lo que los usuarios deben cortar el pasador para poder liberar el perfil de enganche.

1.4.2. Pasador con clip de seguridad

Este tipo de pasador presenta dificultades durante la instalación y el retiro del clip de seguridad, ya que el clip no siempre logra alinearse correctamente con la perforación del pasador. Esta falta de calce adecuado dificulta su inserción, haciendo que el proceso sea lento y poco eficiente(*Opiniones de clientes: REESE Pin y clip*, s. f.).

1.5. Resumen de problemas

Los problemas identificados en los pasadores se obtuvieron a partir de una revisión de productos comerciales, el análisis de reseñas y reportes de usuarios en plataformas de venta en línea y la consulta de antecedentes técnicos y llamados a revisión emitidos por fabricantes y organismos oficiales. Estas fuentes permiten identificar fallas observadas en condiciones reales de uso, confirmando que se trata de una problemática recurrente y no de casos aislados.

En este contexto los pasadores constituyen un elemento crítico de seguridad, ya que, su falla puede provocar el desprendimiento total del remolque en movimiento, generando accidentes como anteriormente se menciona. Tanto los antecedentes como la recopilación de datos de usuarios demuestran fallos de diseño, desgaste prematuro, deficiencias en los sistemas de bloqueo y dificultades de uso las cuales afectan la confiabilidad del sistema. Esto evidencia la necesidad urgente de mejora del diseño, la resistencia mecánica, la eficiencia del bloqueador y la facilidad de uso de los pasadore.

Los problemas principales de los pasadores son:

Con bloqueo:

- Desgaste prematuro, reduciendo la vida útil del componente.
- Deformaciones y cortes del pasador, con alto riesgo de desprendimiento.
- Problemas de compatibilidad dimensional, que impiden un cierre completo.
- Fallos en la cerradura por vibraciones, provocando desbloques involuntarios.
- Bloqueo del mecanismo por condiciones climáticas, impidiendo su apertura.
- Necesidad de cortar el pasador para liberarlo, por fallas del sistema de cierre.
- Fallas de diseño reconocidas por el fabricante, evidenciadas en retiros de mercado.
- Instalación incorrecta del pasador, por falta de conocimiento o apuro.

Con clip de seguridad:

- Dificultad y lentitud en el uso del clip, afectando la rapidez de conexión.
- Alto riesgo de mala instalación, por errores humanos en el montaje.

1.6. Empresas proveedoras

Las empresas que reparten estos productos estos son en Amazon esta se encuentran ubicadas en Estados unidos:

- Rhino USA
- TowWorks
- REESE

Algunas de las empresas que distribuyen en Chile que distribuyen estos productos son:

- MercadoLibre Chile
- Metalbert Ltda

1.7. Normativa

1.7.1. Clasificación según SAE J684 (EE. UU.)

“Esta norma SAE abarca los acoplamientos, enganches y cadenas de seguridad utilizados en todo tipo de remolques o vehículos remolcados cuyo peso bruto vehicular (GVWR) no supere los 4540 kg (10 000 lb). Esto incluye remolques utilitarios, para embarcaciones, de camping, de viaje y para usos especiales, que suelen ser remolcados por turismos convencionales, vehículos comerciales ligeros, camionetas ligeras y vehículos de pasajeros multiusos. Este documento está destinado principalmente a acoplamientos y enganches de rótula. No debe interpretarse como una limitación a este tipo únicamente, sino que debe aplicarse, cuando corresponda, a los de tipo anillo

y pivote, de horquilla y pasador o cualquier otro medio de tracción diseñado para este fin.”

(J684_201405: *Trailer Couplings, Hitches, and Safety Chains--Automotive Type - SAE International*, s. f.).

Esta clasifica los diámetros y resistencias del enganche en 5 clasificaciones, esta normativa americana.

Tabla 1

Clasificaciones de pesos

Categoría	Capacidad de remolque (kg)	Carga vertical máxima (kg)	Diámetro de la bola (pulgadas)
Clase I	Hasta 907 kg	Hasta 90 kg	1-7/8” (47,6 mm)
Clase II	Hasta 1.588 kg	Hasta 150 kg	1-7/8” o 2” (50,8 mm)
Clase III	Hasta 2.268 kg	Hasta 230 kg	2” (50,8 mm)
Clase IV	Hasta 4.536 kg	Hasta 450 kg	2” o 2-5/16” (58,7 mm)
Clase V	Hasta 7.500 kg	Hasta 750 kg	2-1/2” (63,5 mm)

Fuentes: (*Reglamento n.o 55 de la (CEPE) 2018*)

1.7.2. Clasificación según el reglamento 55 de la Cepe/Onu (Europa)

En Europa, los enganches se clasifican según su tipo y aplicación específica:

- **Tipo A** – Enganches de bola fijos, para remolques ligeros y caravanas.
- **Tipo B** – Enganches de bola desmontables, con un mecanismo de liberación manual.
- **Tipo C** – Enganches de bola retráctiles, que pueden ocultarse cuando no están en uso.
- **Tipo D** – Enganches de horquilla o anillo (usados en vehículos comerciales).

- **Tipo F** – Enganches de bola con amortiguación (*anti-sway systems*), usados en caravanas.(*Reglamento n.o 55 de la (CEPE) 2018*).

1.7.3. Normativa en Chile

Para Chile los enganches de bola no están normados por una ley o normativa específicamente, pero estos deben tener ciertos cuidados dependiendo del peso del carro el cual lleven ya que según la ley de tránsito el carro cargado no puede sobrepasar los 750 kg de peso y en conjunto con el vehículo, el peso total no puede exceder los 3.500 kg, no existe una norma legal ni reglamentaria alguna que limite el tipo de vehículo que pueda utilizar un carro de arrastre”.

Según la LEY 18.290 el carro debe contar con luz de freno y contar con permiso de circulación.(Biblioteca del Congreso Nacional | Ley Chile, 1984).

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2. Metodología

En este capítulo se presentan las metodologías empleadas para el análisis de las fallas detectadas en los pasadores del sistema de enganche. Dichas metodologías permiten identificar las causas de los problemas observados y establecer los criterios necesarios para orientar el proceso de análisis y toma de decisiones a partir de la información obtenida.

2.2. Metodología AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos)

Esta metodología se considera una herramienta de análisis preventivo para identificar y valorizar prioritariamente fallos en productos, procesos y sistemas para prevenir errores antes que aparezcan el objetivo de esto es aumentar la seguridad, calidad y fiabilidad del producto que se está analizando (*AMFE*, 2022). Esta apunta a los siguientes puntos:

- Detectar fallos potenciales.
- Evaluar su impacto sobre el usuario.
- Prioriza acciones de mejora.
- Reducir o eliminar riesgos.

En este caso, la metodología está orientada al rediseño o a la mejora del producto (American Society for Quality [ASQ], 1997.), en función del tipo de solución que se busque aplicar al problema detectado a través del análisis. El rediseño consiste en evaluar un diseño existente, ya sea funcional o no, con el propósito de identificar sus limitaciones y áreas de oportunidad, a partir de las cuales se pueden proponer modificaciones que den origen a un nuevo diseño mejorado, el cual incluso puede conservar ciertos componentes del modelo original.

La mejora por otro lado consta de realizar ajustes técnicos, funcionales, estéticos, o de calidad a un producto con el fin de aumentar su valor, reducir sus costos, prolongar su vida útil,

mejorar la experiencia del usuario o cumplir nuevas exigencias por normativas o tecnología(Ulrich, 2013.).

Para poder aplicar AMFE se utiliza la Tabla 2, en la cual identifican los modos de falla del sistema, describiendo su forma de ocurrencia, las causas asociadas y los efectos que generan sobre el desempeño y la seguridad del pasador. Cada modo de falla es evaluado mediante tres criterios de ponderación: S(severidad) este representa el impacto de la falla, O(ocurrencia) indica la probabilidad de que la falla se presente y D(detección) refleja la capacidad para identificar fallas antes de que ocurran. A partir de estos criterios se calcula el número de prioridad de riesgo NPR este es el producto de $S \cdot O \cdot D$, el cual permite jerarquizar los modos de falla según su nivel de criticidad(Domínguez, 2024). Este análisis constituye la base para priorizar acciones de mejora y definir de manera objetiva qué componentes o zonas del pasador requieren ser intervenidas en el proceso de rediseño.

Tabla 2

Aplicación metodología AMFE

Función del sistema	Modo de falla	Efecto de la falla	Causa de la falla	S	O	D	NPR	Acciones recomendadas
Mantener el remolque unido al vehículo	Desgaste prematuro del pasador	Pérdida de resistencia estructural, posible desprendimiento	Material inadecuado, cargas cíclicas, vibraciones	9	7	6	378	Selección de acero de mayor resistencia, tratamientos térmicos
Resistir carga estructural	Deformación del pasador	Ajuste deficiente, holguras, riesgo de corte	Sobrecarga, flexión por mal ajuste	10	6	6	360	Aumento de diámetro útil, rediseño geométrico
Retener el remolque de forma segura	Corte del pasador	Desprendimiento instantáneo del remolque	Fatiga del material, sobrecarga	10	5	7	350	Análisis de fatiga, uso de coeficientes de seguridad mayores
Garantizar cierre completo	Largo insuficiente del pasador	Cierre incompleto del enganche	Diseño no universal, falta de normalización	9	7	6	378	Pasadores telescópicos o diseño modular
Evitar liberación involuntaria	Fallo de la cerradura por vibración	Desbloqueo del sistema en marcha	Sistema de bloqueo débil	10	6	6	360	Rediseño del sistema de bloqueo o cambio de este
Permitir apertura segura	Bloqueo de la cerradura por clima	Usuario no puede liberar el pasador	Oxidación, suciedad, humedad	7	7	6	294	Protección IP, sellos, acero inoxidable tratado
Instalación	Instalación incorrecta del pasador	Riesgo de desprendimiento	Falta de capacitación, apuro	10	8	7	560	Rediseño de la forma de instalación
Seguridad del sistema	No uso de cadenas de seguridad	Desprendimiento total sin respaldo	Negligencia del usuario	10	6	7	420	Sistema integrado que obligue su uso

Fuente: Elaboración propia

A partir del análisis de los resultados obtenidos mediante AMFE, se identifica que el sistema de enganche de remolques presenta que los pasadores y sus mecanismos asociados como un punto crítico de seguridad, ya que estos pueden fallar de múltiples maneras, generando un riesgo de desprendimiento del remolque y poniendo en peligro tanto a los ocupantes del vehículo como a terceros. Estas fallas combinan diferentes factores como el diseño deficiente, materiales inadecuados, falta de normalización, condiciones ambientales y errores humanos, esto deja ver que

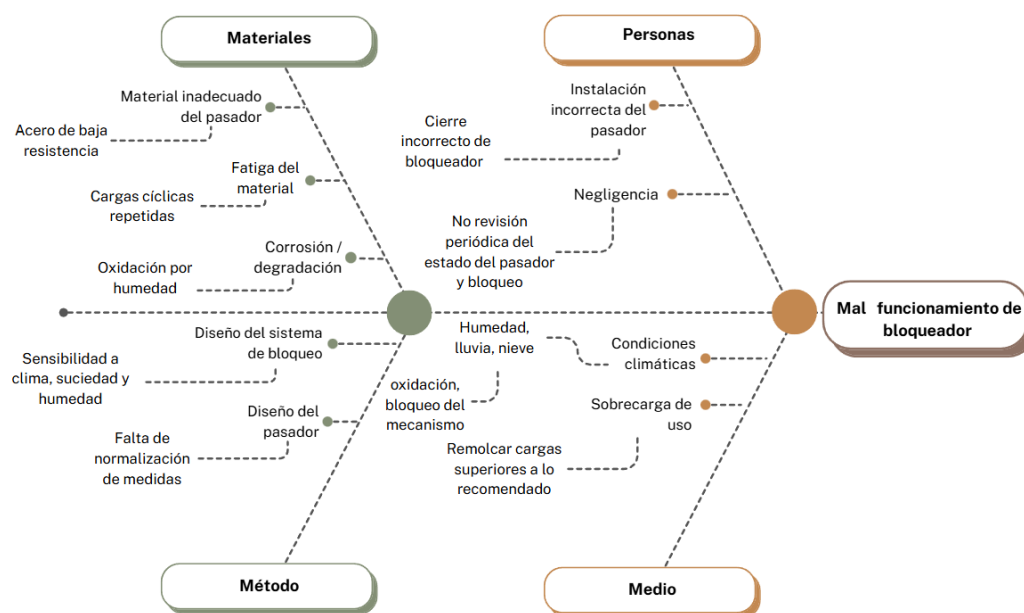
este sistema carece de robustez estructural y características que aseguren una correcta instalación por parte del usuario. Las causas principales se relacionan con fatiga de material, sobrecarga, vibraciones, diseño no universal, suciedad u oxidación y negligencia por parte del usuario al instalar el pasador.

El análisis AMFE evidencia la necesidad urgente de rediseñar el sistema de enganche, esto puede ser realizando alguno de los siguientes cambios en el pasador:

- Materiales y geometrías de mayor resistencia.
- Bloqueos más robustos y resistente a vibraciones.
- Indicadores para la correcta instalación.
- Sistemas que obliguen al uso de elementos de seguridad.
- Tratamientos y sellos contra el clima, humedad y corrosión.
- Mayor estandarización y normalización dimensional.

2.3. Diagrama de Ishikawa

Con el objetivo de identificar las causas asociadas al mal funcionamiento del bloqueador, se elaboró un diagrama de Ishikawa, el cual se presenta en la Figura 10. Esta herramienta permite organizar y analizar de manera estructurada los factores que pueden influir en la aparición del problema, agrupando las posibles causas en diferentes categorías. De esta forma, se facilita la identificación de los factores que contribuyen al mal funcionamiento del bloqueador.

Figura 10**DIAGRAMA CAUSA-EFECTO**

Fuente: Elaboración propia

El diagrama causa efecto presentado en la Figura 10 permite identificar y estructurar las principales causas de contribuyen a las fallas del sistema actual del pasador, evidenciando que estas se asocian principalmente a condiciones ambientales, desgaste de materiales y errores durante la instalación, la organización de estas causas muestra que el problema no es causado solo por un factor, sino a una combinación de variables de diseño, materiales y uso por parte del usuario. Este análisis respalda la necesidad de un rediseño más robusto, que incorpore mayor protección frente al clima y facilite una instalación correcta, reduciendo la dependencia de la precisión del usuario.

2.4. Causa problema impacto

En la Tabla 3 se muestra la relación entre las causas identificadas, el problema asociado y el impacto en el sistema de enganche de remolques, en donde se consideran las fallas del pasador y los mecanismos de bloqueo.

Tabla 3

Causa, problema, impacto

Causa	Problema	Impacto
El sistema de enganche presenta limitaciones en diseño, materiales y protección frente a vibraciones, clima y cargas variables. Además, existen errores de instalación y falta de estandarización entre componentes.	Mal funcionamiento del bloqueador.	El remolque puede desprenderse parcial o totalmente en movimiento, generando accidentes graves, daños materiales, pérdida de carga y riesgos para terceros. También afecta la seguridad vial y reduce la confianza del usuario en el sistema.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE DISEÑO

3. Propuesta de diseño

En este capítulo se presenta la propuesta de diseño desarrollada para mejorar el sistema de bloqueo del pasador utilizado en remolques de baja carga. Para ello, se definen los requerimientos de diseño, se analizan las alternativas propuestas y se describe la solución final seleccionada.

3.1. Requerimiento del diseño

Los requerimientos que debe cumplir el pasador son en base a la función de su rol principal que consiste en asegurar la conexión entre la estructura del vehículo y la de estructura de soporte de la esfera metálica del enganche. Asimismo, estos requerimientos buscan abordar y corregir las problemáticas encontradas en la Tabla 2 y Figura 10, relacionadas con fallas de diseño, materialidad, bloqueo y errores de instalación. En la Tabla 4 se muestran los requerimientos definidos a partir de la información y del análisis realizado.

Tabla 4
Requerimientos a cumplir en nuevo diseño

Categoría	Requerimiento	Justificación
Funcional	El pasador debe asegurar el perfil sin desprendimiento accidental.	Fallas críticas detectadas en AMFE.
Materiales	El pasador debe fabricarse con un material de alta resistencia mecánica y fatiga.	Reduce desgaste, deformación y corte.
Mecánico	El cierre debe evitar error humano o reducirlo	Minimiza errores de instalación humana.
Seguridad	El sistema debe evitar liberación por vibración.	Fallas asociadas al bloqueo tradicional.
Usabilidad	Operación en pocos pasos.	Mejora la experiencia del usuario.
Compatibilidad	Debe ajustarse a perfiles estándar según SAE J684.	Garantiza uso con remolques existentes.

Fuente: Elaboración propia

3.2. Propuesta diseño

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 2, donde se identifican los puntos críticos del pasador, y del análisis presentado en la Figura 10, que evidencia que las fallas del sistema responden a múltiples factores, se determinó que el pasador del sistema de enganche es un elemento crítico de seguridad. Este al presentar fallas asociadas al desgaste, deformaciones, corte por fatiga, sensibilidad a vibraciones, errores de instalaciones por parte del usuario entre los s otros problemas detectados señalados en la Tabla 2 y Figura 10, lo que genera un riesgo de desprendimiento del remolque. En consideración de estos problemas encontrados, la siguiente propuesta de diseño se centrará en el rediseño priorizando dos problemáticas del pasador:

- Selección de un nuevo material con mayores propiedades mecánicas, capaz de resistir cargas cíclicas y esfuerzos de corte y flexión que se producen por el uso del remolque. El objetivo es disminuir los modos de falla identificados en la Tabla 2, especialmente el desgaste, la deformación y la fatiga del pasador.
- Desarrollo de un sistema de cierre alternativo orientado a reducir los errores de instalación por parte del usuario, con el propósito de mejorar la confiabilidad del mecanismo de bloqueo del pasador. Este sistema se concibe con la intención de minimizar el riesgo de liberaciones accidentales asociadas a fallas del bloqueo tradicional y a las vibraciones generadas durante el uso del remolque. Si bien en esta etapa no se realizan ensayos específicos de vibración, el diseño busca incorporar principios mecánicos que favorezcan un cierre estable y auto asegurado frente a este tipo de solicitudes.

En este nuevo diseño se evaluará la resistencia a la tracción mediante pruebas de elementos finitos realizadas en el software fusión 360, en su módulo de simulación de tensión estática. Así

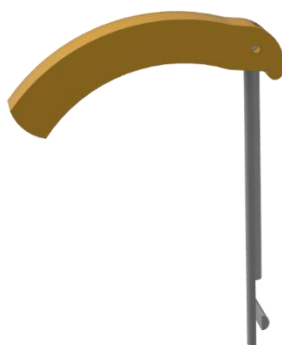
como pruebas de usabilidad con usuarios en donde se evalúa el tiempo de montaje del pasador y el funcionamiento del nuevo sistema de cierre, comparando el desempeño frente a un pasador comercial con bloqueador convencional. Estas evaluaciones permitirán determinar si el diseño propuesto representa una mejora en términos de seguridad percibida, facilidad de uso, y capacidad estructural.

3.3. Primeras propuestas:

En estos diseños Figura 11 y Figura 12 se tomó como referencia el principio de funcionamiento de los pasadores utilizados en bicicletas, los cuales incorporan un tope fijo en uno de sus extremos y un mecanismo excéntrico en el otro, permitiendo generar el apriete necesario para asegurar y fijar el pasador de forma rápida y eficiente.

La Figura 11 muestra la primera idea de la forma y funcionamiento del pasador.

Figura 11
Propuesta preliminar



Fuente: Elaboración propia

La Figura 12 funciona con el mismo principio que la Figura 11, en esta las medidas son a escala real y cambia el mecanismo por el cual se fija el pasador por una argolla con un retenedor que funciona como fijador del pasador manteniéndolo fijo durante su uso.

Figura 12
Segunda propuesta



Fuente: Elaboración propia

3.4. Propuesta final:

La propuesta que corresponde a la Figura 13 consiste en un pasador con un mecanismo interno el cual está dentro de le cuerpo del pasador este se fija al perfil receptor de la estructura que esta fija en los vehículos, este incorpora un conjunto de soporte móviles accionados por un engranaje y una cremallera el cual introduce o libera los pasadores del perfil, este reemplaza el sistema tradicional de un único pasador con bloqueo. En el nuevo diseño, al girar el engranaje con una llave Allen, las cremalleras desplazan simultáneamente los pasadores laterales, permitiendo liberar el perfil interior que sostiene el coco metálico del remolque. Este mecanismo es el que permite el acoplamiento y desacoplamiento, este diseño pretende reducir el tiempo de operación y eliminar la necesidad de que el usuario alinee manualmente un único pasador, disminuyendo así los errores humanos.

Además, el sistema incorpora tensores internos tipo resorte, los cuales devuelven automáticamente los pasadores a su posición de cierre una vez que el perfil interior está correctamente insertado. Este principio de cierre automático pretende disminuir significativamente

las fallas por instalación incorrecta, ya que, la seguridad del sistema no dependería de ejecutar de manera precisa un paso manual como en los bloqueadores convencionales. Además, con la fuerza constante generada por los tensores se espera que se minimice el riesgo de liberación involuntaria por vibraciones, una falla crítica identificada en el AMFE.

En términos estructurales, el pasador se rediseñó utilizando acero aleado AISI 4140, ya que es un acero de aleación de cromo-molibdeno conocido por su alta resistencia a la tracción, buena resistencia a la fatiga y excelente tenacidad. Pertenece a la familia del acero SAE-AISI y se utiliza ampliamente en automotriz, petróleo y gas, fabricación de herramientas y fabricación de equipos pesados.

La Tabla 5 muestra las propiedades mecánicas de AISI 4140, ASTM a36 y AISI 304

Tabla 5
Propiedades mecánicas de AISI 4140, ASTM a36 y AISI 304

Propiedad	AISI 4140 (tratado térmicamente)	AISI 304 (recocido)	ASTM A36
Resistencia a la tracción	850–1000 MPa	500–750 MPa	400–550 MPa
Límite elástico	≈ 655 MPa	≥ 190 MPa	≥ 250 MPa
Resistencia a la fatiga	Moderada a alta	Baja a moderada	Baja a moderada
Módulo de elasticidad	205 GPa	193–200 GPa	200 GPa
Densidad	7.85 g/cm ³	7.9 g/cm ³	7.85 g/cm ³

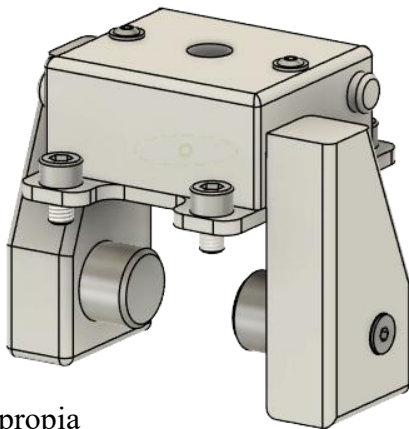
Nota. Elaboración propia a partir de datos obtenidos de ASM International (2020), ASTM A36/A36M-19 (2019).

A partir de la Tabla 5 se puede apreciar que todos los valores de AISI 4140 son superiores al de ASTM a36 y a AISI 304 por lo que al cambiar el acero del pasador este tendrá:

- mayor resistencia al desgaste.
- mayor límite elástico.
- elevada resistencia a esfuerzos de corte y flexión.
- buena tenacidad frente a impactos.
- vida útil prolongada en aplicaciones sometidas a vibraciones.

En la Figura 13 se puede apreciar el diseño final del prototipo modelado en el software fusión 360.

Figura 13
Propuesta final



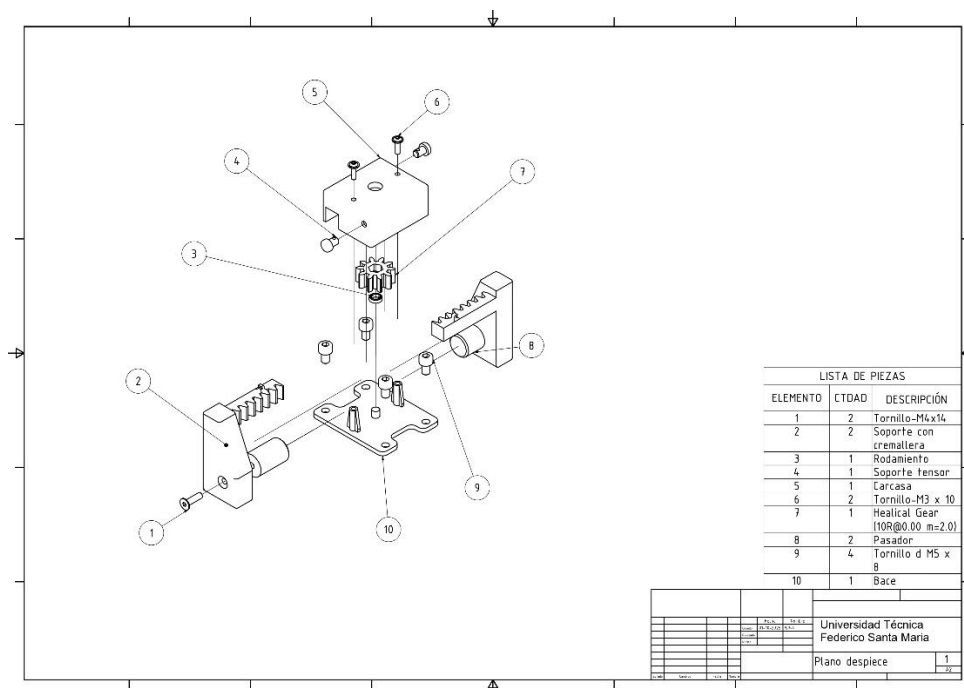
Fuente: Elaboración propia

3.5. Planimetría del prototipo

A continuación, se mostrarán los planos de fabricación del prototipo los cuales se encontrarán en el anexo adjuntados. (ver anexo 1)

Figura 14

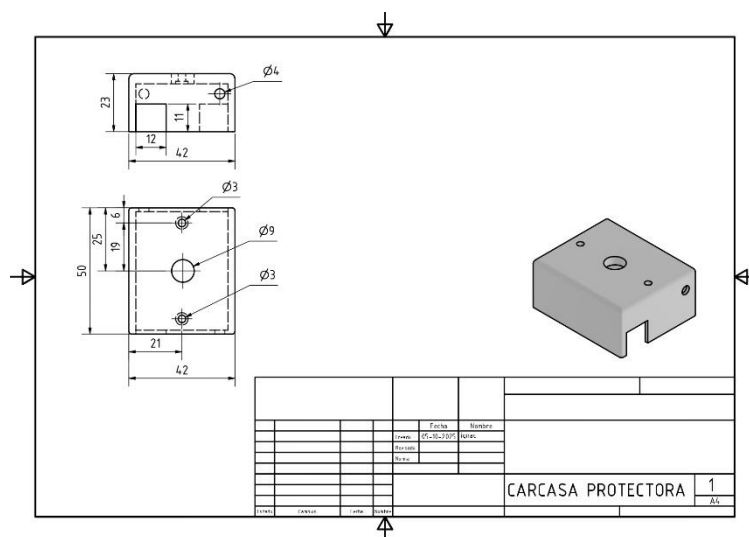
Plano despiece prototipo



Fuente: Elaboración propia

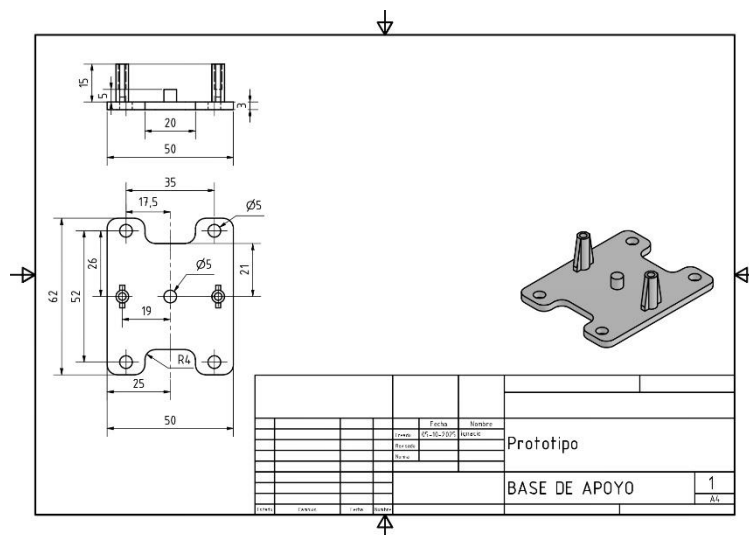
Como se observa en la Figura 14 el prototipo se compone por los soportes de los pasadores, un engranaje, un rodamiento, la baze, una carcasa para cerrar el mecanismo y pernos y tornillos para fijar el prototipo al perfil y fijar la carcasa a la baze.

Figura 15
Planimetría carcasa



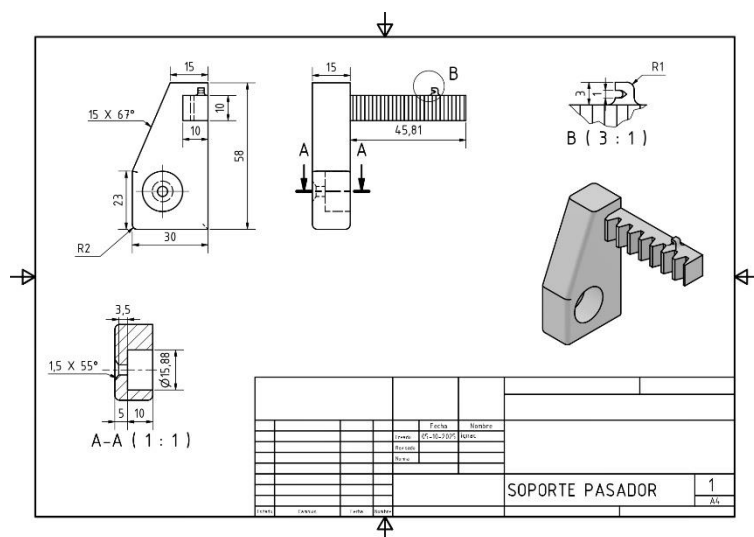
Fuente: propia

Figura 16
Planimetría base



Fuente: Elaboración propia

Figura 17
Planimetría soporte cremallera



Fuente: Elaboración propia

3.6. Prototipo físico

En la Figura 18 se puede apreciar las piezas impresas del prototipo antes de ser ensamblado.

Figura 18
Foto del prototipo físico



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 19 se puede apreciar el prototipo ensamblado.

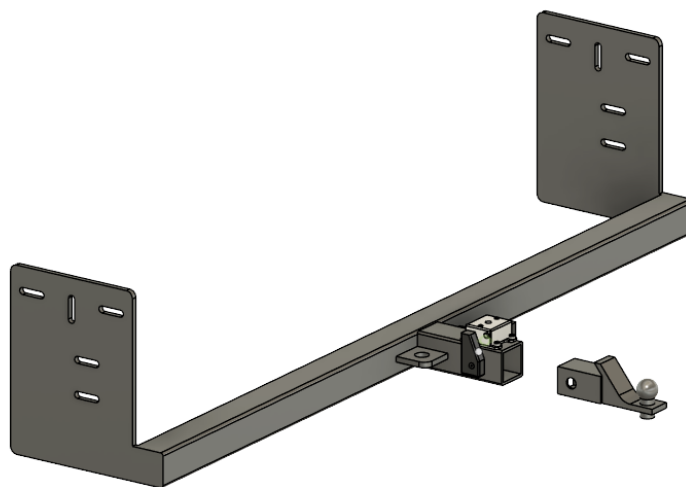
Figura 19
Prototipo armado



Fuente: Elaboración propia

3.7. Modelo funcional 3D

Figura 20
Modelo funcional digital



La Figura 20 hace referencia a el momento de esta montada del receptor de acople, en anexo de mostrar video y modelo tridimensional del prototipo. (ver anexo 2 y 3)

3.8. Costos prototipo

El costo aproximado de los materiales del prototipo es de \$44.088 cullo detalle se encuentra en la Tabla 6. Este fue fabricado mediante impresión 3D, principalmente debido a la facilidad de fabricación, la rapidez en la producción de piezas y la eficiencia para realizar pruebas de componentes, ajustes y verificaciones de calce entre los distintos elementos del conjunto.

Tabla 6

Precio de materiales

Ítem (IVA incluido)	Cantidad	Precio Unitario	Total	Tienda
Rodamiento(5x8x2,5mm)	1	\$1.117	\$1.117	https://tinyurl.com/4rzhbpkm
Tornillo M3x10	1	\$6.000	\$6.000	https://tinyurl.com/2nc8yjkv
Resorte de tensión	1	\$978	\$978	https://tinyurl.com/2xhawx6v
Perno cabeza plana M4x12	1	\$390	\$390	https://tinyurl.com/3zc2b6dk
Pasador	1	\$1.099	\$1.099	https://tinyurl.com/3uj5hcb8
Rollo de PLA	2	\$15.290	\$30.580	https://tinyurl.com/4w3hdbnb
Tornillo M3x4	4	\$981	\$3.924	https://acesse.one/DyDdV
		Total	\$44.088	

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 6 hace referencia solo a los costos en materiales del prototipo, en este caso los materiales utilizados para la realización de pruebas y fabricación final del prototipo.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4. Análisis de resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al prototipo desarrollado. Se analizan los tiempos de operación, la percepción de los usuarios y el funcionamiento del sistema en comparación con un pasador convencional. Además, se exponen los resultados de las simulaciones realizadas para evaluar el comportamiento estructural del material seleccionado. A partir de estos resultados, se busca determinar si la propuesta desarrollada constituye una mejora respecto al diseño original.

4.1. Pruebas comparativas

En este capítulo se analizan las pruebas comparativas del rediseño contra el pasador original, en donde se realizaron pruebas individuales con usuarios, con el objetivo de medir y comparar el tiempo necesario para ejecutar el proceso de montaje y desmontaje, así como evaluar la usabilidad del prototipo, considerando la facilidad de uso, la comprensión del mecanismo y la percepción general del sistema, tanto en el modelo base como en el sistema mejorado.

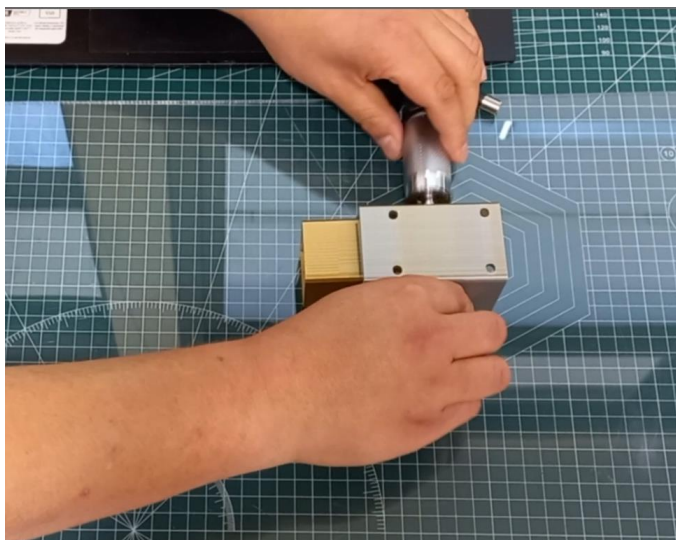
La prueba fue aplicada a un total de 11 participantes. Cada uno ejecuto la misma tarea en ambos modelos, registrando los tiempos de operación junto con observaciones relacionadas con la facilidad de uso, la comprensión del mecanismo y la percepción del rediseño. Además, los participantes completaron una ficha de evaluación en la que expresaron su percepción respecto al prototipo después de realizar la prueba.

Con esto se obtuvieron datos cuantitativo y cualitativo sobre el desempeño de del nuevo diseño, particularmente sobre la eficiencia, ergonomía y reducción de tiempo percibida con las pruebas. Esta información permitirá determinar si el rediseño ofrece mejoras significativas en comparación con el producto original.

En las Figuras 21 y 22 se documentan las pruebas de usabilidad realizadas con usuarios, en las cuales se evalúa el funcionamiento de ambos sistemas de acople. Durante estas pruebas se midió el tiempo requerido para fijar y liberar el perfil mediante el pasador, así como aspectos asociados a la ergonomía, facilidad de uso y comprensión del mecanismo, con el fin de determinar cuál de los sistemas resulta más cómodo e intuitivo para el usuario.

Se entregarán las respuestas dadas por los usuarios que realizaron las pruebas en donde los que estuvieron de acuerdo en rellenar el documento y el registro de las pruebas. (ver anexo 4 y 5)

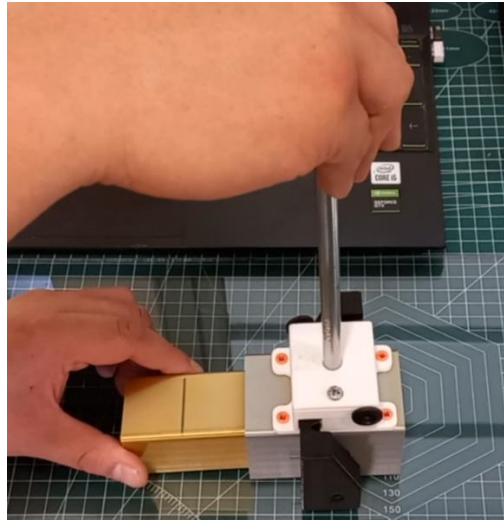
Figura 21
Fotografía de usuario realizando pruebas con pasador



Fuente: Elaboración propia

Figura 22

Fotografía de usuario realizando pruebas con prototipo



Fuente: Elaboración propia

4.2. Análisis de resultados

Las mediciones de tiempo realizadas a 11 usuarios muestran una diferencia significativa entre el sistema base y el prototipo. El tiempo promedio del acoplado y desacople son de 35 segundo en el original esto se puede ver en la Tabla 7 y en el prototipo fue de 11 segundos se puede ver en la Tabla 8, esto representa una reducción del 69% de tiempo.

La reducción porcentual del tiempo se calculó mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 1

Porcentaje de reducción

$$\text{Reducción (\%)} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100$$

Donde T_1 corresponde al tiempo inicial del proceso y T_2 al tiempo final obtenido tras la

$$\text{Reducción \%} = \frac{35 \text{ s} - 11 \text{ s}}{35 \text{ s}} \times 100$$

$$\text{Reducción \%} = \frac{24}{35} \times 100 = 68,57\% \approx 69\%$$

En base a estos resultados se el prototipo realiza el acople y desacople en un 31% del tiempo del pasador base.

La Tabla 7 presenta el registro de toma de tiempos de acople y desacople del pasador bace de cada uno de los usuarios registrados.

Tabla 7

Recopilación datos de pasador Bace

Usuario	Acople	Desacople	Tiempo T(s)
1	8	10	18
2	18	3	21
3	28	13	41
4	25	8	33
5	30	6	36
6	28	7	35
7	19	12	31
8	30	14	44
9	55	17	72
10	20	12	32
11	18	5	23
Tiempo Promedio B			35

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 8 presenta el registro de toma de tiempos de acople y desacople del prototipo de cada uno de los usuarios registrados.

Tabla 8*Recopilación datos de prototipo*

Usuario	Acople	Desacople	Tiempo T(S)
1	11	3	14
2	3	2	5
3	4	2	6
4	8	3	11
5	10	2	12
6	8	4	12
7	7	3	10
8	8	5	13
9	11	5	16
10	6	5	11
11	6	4	10
Tiempo Promedio P			11

Fuente: Elaboración propia

Puede apreciarse que entre los resultados obtenidos de la Tabla 8 existe una menor variabilidad entre los tiempos registrados por los usuarios, lo que sugiere que su funcionamiento es más simple y menos dependiente de las capacidades del usuario. En cambio, los tiempos asociados a la Tabla 7 presentan diferencias significativas, lo que refleja que su uso depende en mayor medida de la destreza del usuario.

No obstante, durante estas pruebas también se identificaron fallas específicas en ambos sistemas las cuales influyeron en el desempeño percibido. En el caso del pasador original, la falla se relacionó con el proceso de instalación, el cual requiere una alineación correcta del cierre de la chapa del bloqueador esto produjo que algunos usuarios no lograran asegurar correctamente el sistema lo cual incrementa el riesgo de liberación de este.

Respecto al prototipo, si bien el mecanismo permitió reducir errores de instalación, se detectaron fallas durante su operación. Entre ellas, se observó que el desplazamiento de las cremalleras no siempre es fluido, presentando atascos que interrumpían el movimiento de este. Además, en algunos casos los pasadores se desacoplaban de las perforaciones y eso provocaba que

estos se desalinearan y obligaba al usuario a reajustar manualmente el mecanismo para continuar utilizando el prototipo.

4.3. Validación de material

Con el fin de determinar si el material seleccionado para el nuevo pasador ofrece un desempeño estructural superior al de los materiales comúnmente utilizados en pasadores comerciales, se realizó un análisis comparativo de tensión estática utilizando el módulo de simulación de Autodesk fusión 360 este utiliza el criterio de Von Mises esta es una forma que utilizan programas como Fusión 360 para saber si una pieza se va a deformar o no cuando está sometida a cargas. El software toma todas las fuerzas y tensiones que actúan sobre la pieza y las resume en un solo valor de tensión equivalente, llamado tensión de Von Mises. Luego, este valor se compara con el límite elástico del material.

- Si la tensión de Von Mises es menor que el límite elástico, la pieza trabaja de forma segura.
- Si es mayor, el material comienza a deformarse de manera permanente.

El análisis de Von Mises permite identificar las zonas más exigidas del diseño y verificar si el material elegido es adecuado antes de fabricar la pieza.

Para ello, se evaluaron tres materiales:

- Acero A36, representativo de aceros al carbono de baja aleación usados en pasadores económicos.
- Acero inoxidable AISI 304, utilizado en pasadores donde se prioriza la resistencia a la corrosión.
- Acero aleado AISI 4140 tratado térmicamente, propuesto para el diseño mejorado por su elevada resistencia mecánica y buen comportamiento frente a cargas cíclicas.

En todos los casos, se aplicaron condiciones idénticas de carga y restricciones, con el objetivo de garantizar una comparación justa entre materiales. La carga utilizada en la simulación fue de 22,2 [kN], valor que corresponde a la capacidad de remolque de la Clase III según la norma SAE J684, convertida a fuerza a partir de la masa equivalente 2,268 [kg]. Esta condición fue seleccionada por representar un escenario de uso realista y exigente para remolques livianos y medianos, permitiendo evaluar la resistencia del pasador bajo condiciones ideales.

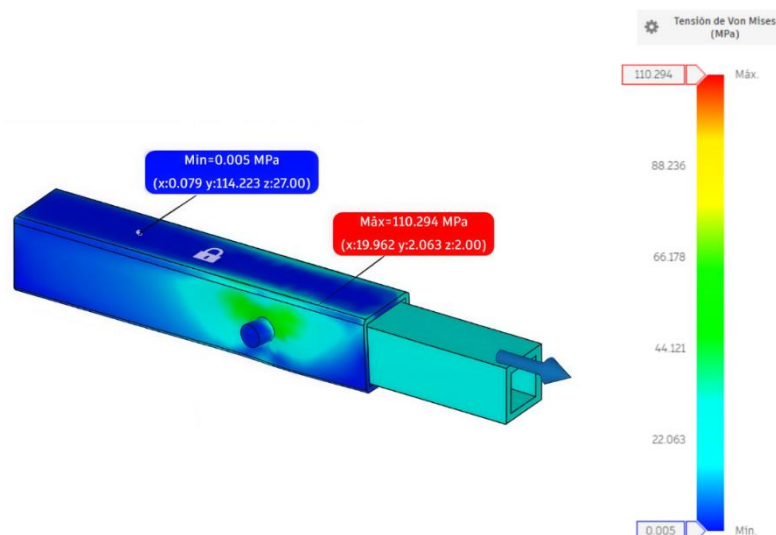
Las pruebas realizadas consisten en simular las condiciones reales a las que estaría sometido el pasador durante el uso del sistema de enganche. En la simulación, el pasador se encuentra confinado entre los perfiles del acople, reproduciendo el escenario en el que la carga transmitida por el remolque genera esfuerzos de corte en el pasador, concentrados principalmente en los bordes de las perforaciones de los perfiles en contacto.

Los análisis fueron realizados solo a los pasadores esto se realizó para poder simplificar la geometría de la simulación por esa razón en los análisis no aparece el diseño del prototipo y solo los perfiles con el pasador.

4.3.1. Pruebas pasador acero A36

Al someter al pasador a una fuerza de 22,2 [kN], El esfuerzo máximo registrado en la Figura 23 es de aproximadamente 110 MPa, el cual se localiza principalmente en la zona de contacto entre el pasador y el perfil, específicamente alrededor de las perforaciones laterales, donde se concentran las cargas de corte, las tarjetas muestran los lugares con mayores esfuerzos y menores en este caso, la azul indica donde están menos concentrados los esfuerzos y la roja donde están más concentrados este resultado.

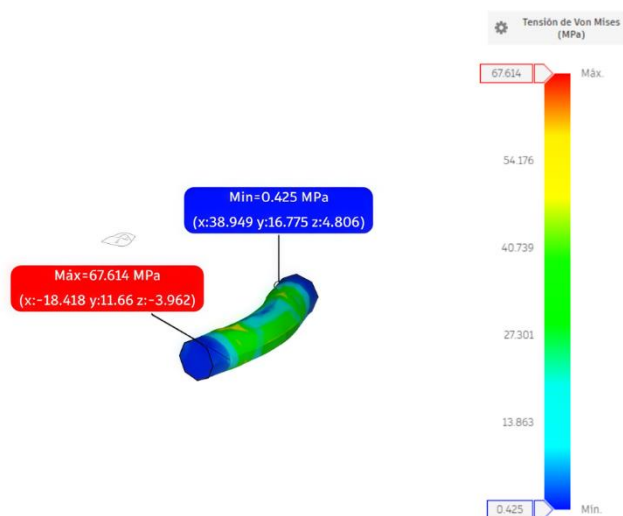
Figura 23
Análisis pasador acero A36 tensiones de Von Mises



Fuente: Elaboración propia

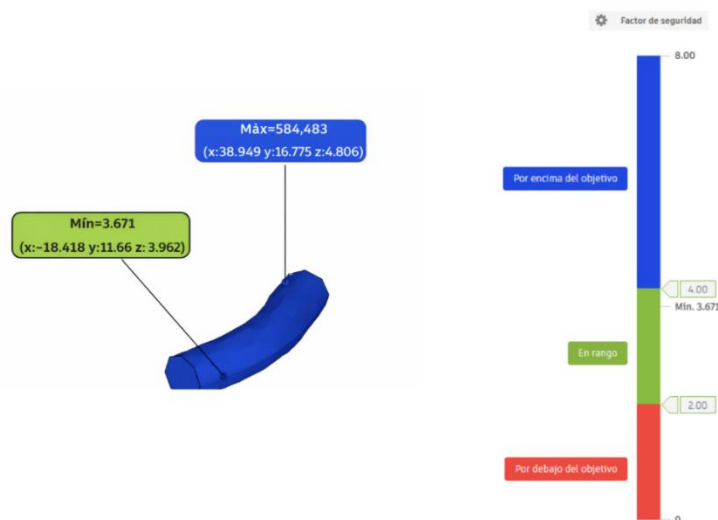
La Figura 24 muestra que el pasador con el acero A36 está soportando una carga máxima de 67,6[Mpa] mientras que su límite elástico es de 250[Mpa] como se muestra en la Tabla 5, lo cual indica que esta dentro de su zona elástica y no entra en deformación plástica.

Figura 24
Esfuerzos acero A36 pasador



Fuente: Elaboración propia

Figura 25
Análisis pasador A36 FS



Fuente: Elaboración propia

La Figura 25 muestra que el pasador con el acero A36 tiene un factor de seguridad mínimo de 3,67, el cual se localiza en la zona más exigida del componente, correspondiente al sector de contacto directo con la carga que en este caso serían las coordenadas a las que se hacen referencia en las etiquetas.

El factor de seguridad es un parámetro adimensional que relaciona la capacidad del material o componente con la demanda de esfuerzo o carga aplicada. Este se calcula como:

Ecuación 2
Factor de seguridad

$$FS = \frac{\tau_{ultimo}}{\tau_{adm}} = \frac{limite\ elastico}{esfuerzo} = \frac{248Mpa}{67Mpa} \approx 3,6$$

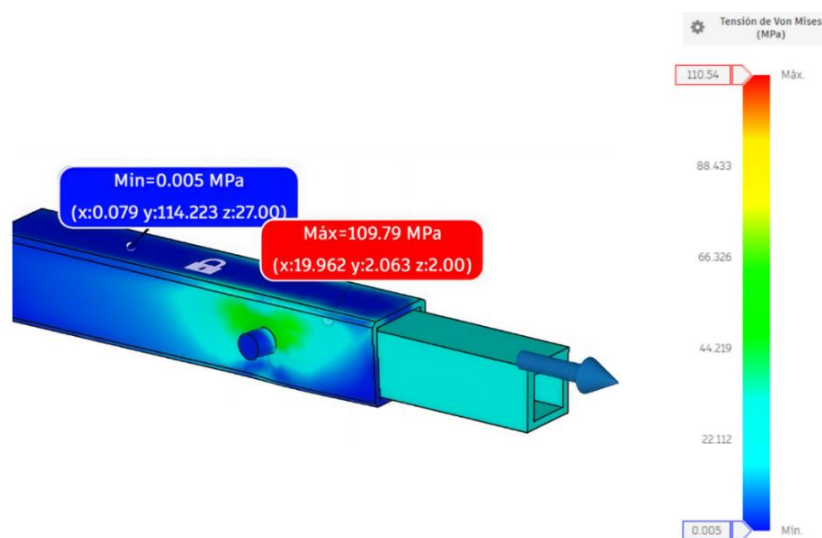
en este caso el programa con su biblioteca de materiales utiliza sus valores y esto es lo que nos arroja que el pasador es capaz de soportar 3 veces aproximadamente más carga.

4.3.2. Pruebas pasador acero inoxidable 304

la Figura 26 es de 109,79 MPa, localizado principalmente en la zona cercana al orificio del pasador, donde se produce la mayor concentración de tensiones producto del esfuerzo de corte.

Figura 26

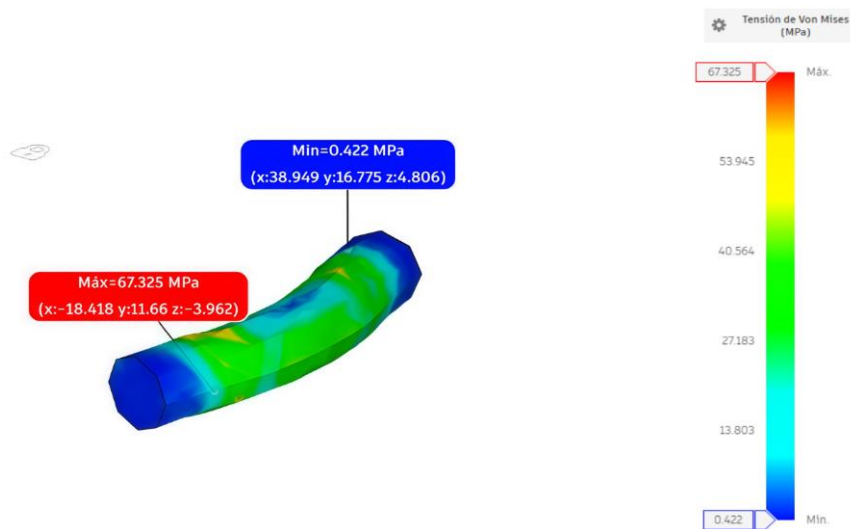
Análisis pasador acero inoxidable 304 tensiones Von Mises



Fuente: Elaboración propia

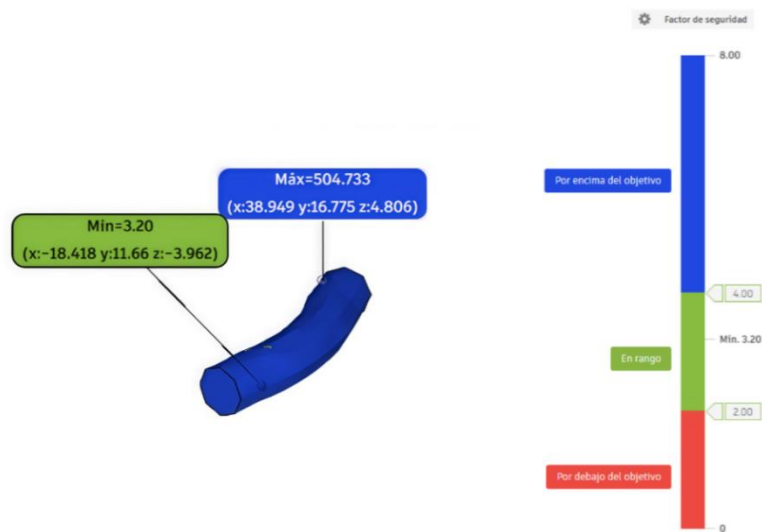
La Figura 27 muestra que el pasador con acero AISI 304 está soportando una carga máxima de 67,3 [Mpa], mientras que su límite elástico es de 190[Mpa] como se muestra en la Tabla 5, esto indica que el pasador está trabajando en su zona elástica y no entra en deformación plástica.

Figura 27
Esfuerzos acero AISI 304 pasador



Fuente: Elaboración propia

Figura 28
Análisis pasador acero inoxidable 304 FS



Fuente: Elaboración propia

La Figura 28 muestra que el pasador con el acero 304 tiene un factor de seguridad mínimo 3,20, el cual se localiza en la zona más exigida del componente, correspondiente al sector de

contacto directo con la carga que en este caso serían las coordenadas a las que se hacen referencia en las etiquetas.

$$FS = \frac{\tau_{ultimo}}{\tau_{adm}} = \frac{limite\ elastico}{esfuerzo} = \frac{215Mpa}{67Mpa} \approx 3$$

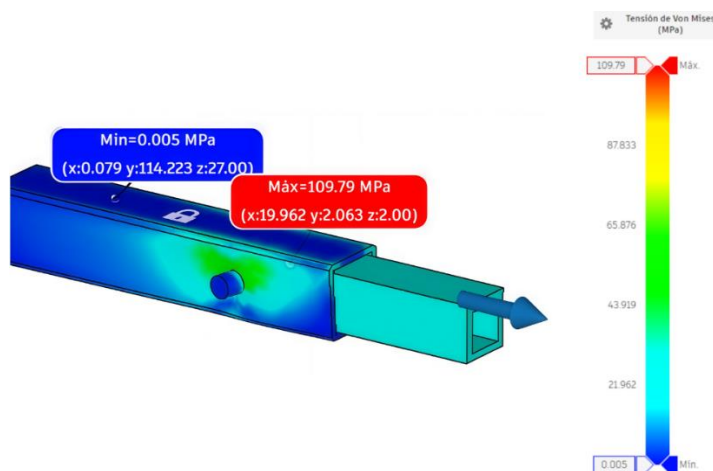
en este caso el programa con su biblioteca de materiales utiliza sus valores y esto es lo que nos arroja que el pasador es capaz de soportar 3 veces aproximadamente más carga.

4.3.3. Pruebas pasador AISI 4140 tratado térmicamente

La tensión máxima obtenida de la Figura 29 es de 109,79 MPa, la cual se concentra principalmente en la zona del orificio del pasador, específicamente en el borde de contacto entre el pasador y el perfil receptor.

Figura 29

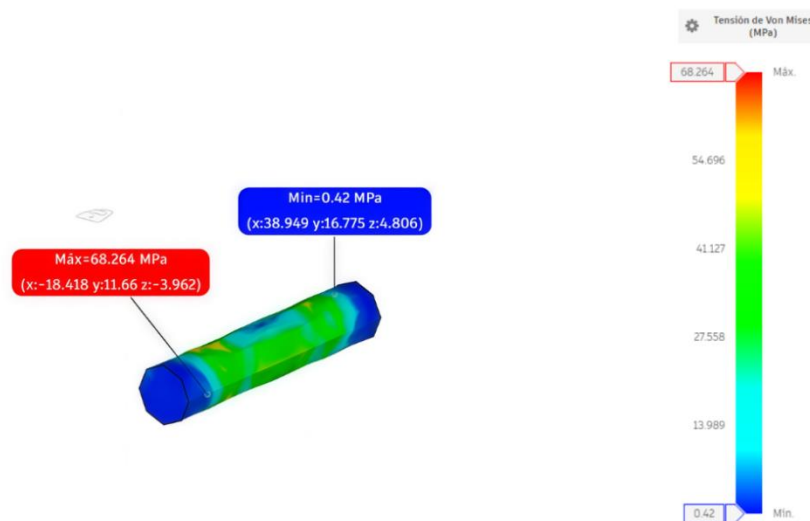
Pasador AISI 4140 tensiones Von mises



Fuente: Elaboración propia

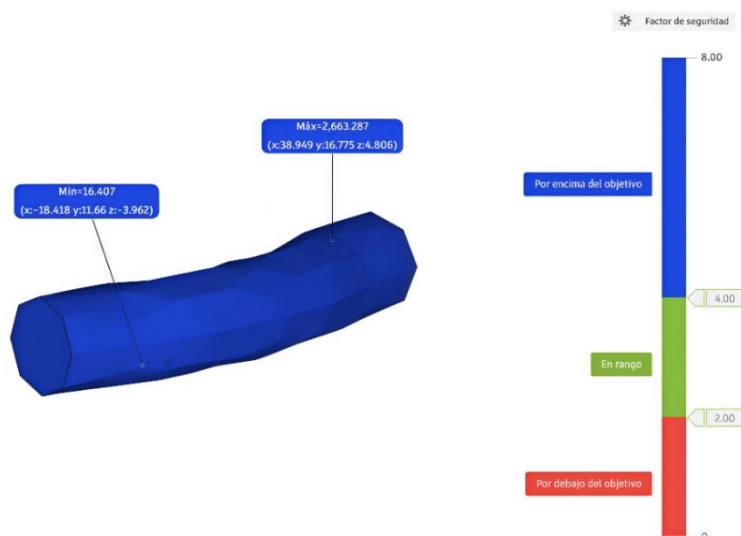
La Figura 30 muestra que el pasador con el acero AISI 4140 está soportando una carga máxima de 68,2[Mpa] mientras que su límite de elasticidad es de 655[Mpa] como se muestra en la Tabla 5, lo que indica que trabaja en su zona elástica y no entra en deformación plástica.

Figura 30
Esfuerzos acero AISI 4140 pasador



Fuente: Elaboración propia

Figura 31
Pasador AISI 4140 FS



Fuente: Elaboración propia

La Figura 31 muestra que el pasador con el AISI 4140 tiene un factor de seguridad mínimo 1.6, el cual se localiza en la zona más exigida del componente, correspondiente al sector de contacto

directo con la carga que en este caso serían las coordenadas a las que se hacen referencia en las etiquetas.

$$FS = \frac{\tau_{ultimo}}{\tau_{adm}} = \frac{limite\ elastico}{esfuerzo} = \frac{1120Mpa}{68Mpa} \approx 16$$

en este caso el programa con su biblioteca de materiales utiliza sus valores y esto es lo que nos arroja que el pasador es capaz de soportar 16 veces aproximadamente más carga.

La Tabla 9 resume los resultados obtenidos a partir de las simulaciones realizadas.

Tabla 9
Resumen resultados

Material del pasador	Esfuerzo máximo	Factor de
	Von Mises (MPa)	seguridad mínimo
Acero A36	67.6	3,67
Acero inoxidable AISI 304	67.2	3,20
Acero AISI 4140 tratado térmicamente	68.2	16

Fuente: Elaboración propia

Las simulaciones mostraron tensiones máximas similares para los tres materiales evaluados cercanas a 67 MPa, concentradas en la zona del orificio del pasador estos resultados son similares ya que las medidas y fuerza realizada en el análisis son las mismas para toda la razón de las pequeñas variaciones pueden deberse a que al generar las distintas simulaciones los contactos que se colocan manualmente pueden estar generando conflictos o estar mal seleccionados. Sin embargo, el factor de seguridad presentó diferencias significativas como se ve en la Tabla 9 el acero A36 alcanzó un valor de 3,67, el acero inoxidable AISI 304 obtuvo 3,20 y el acero AISI 4140 tratado térmicamente logró un valor cercano a 16. Estos resultados son debido a que estos 3 aceros

presentan diferentes límites elásticos como se muestra en la Tabla 5 siendo el con mayor límite elástico el acero AISI 4140 es por esta razón que posee un mejor factor de seguridad frente a los otros dos aceros esto deja ver que el acero AISI 4140 es capaz de resistir 16 veces la carga que está soportando sin que corra riesgo la integridad del pasador.

- Comparación AISI 4140 vs A36

En base en los resultados obtenidos en la Tabla 9, el acero AISI 4140 presenta un factor de seguridad significativamente superior al acero A36. Esta diferencia se debe principalmente a que el AISI 4140 posee un límite elástico de 655 [Mpa], el cual es mayor que el del acero A36, cuyo límite elástico es de 250 [Mpa].

Manteniendo la misma geometría del pasador y un diámetro constante de 5/8", el acero AISI 4140 ofrece una mayor capacidad para soportar esfuerzos sin alcanzar la deformación plástica. Como se observa en la Tabla 5, este material presenta mejores propiedades mecánicas, lo que se traduce en un mayor margen de seguridad para el uso que se está validando.

De acuerdo con los resultados, no es necesario modificar la geometría del componente para mejorar su desempeño estructural, siendo suficiente la sustitución del material por acero AISI 4140

$$F_s = 16 > 3,67$$

- Comparación AISI 4140 vs AISI 304

De manera similar, el acero AISI 4140 presenta un factor de seguridad considerablemente superior al del acero inoxidable AISI 304. Esta diferencia se debe principalmente a que el AISI 4140 posee un límite elástico de aproximadamente 655 [Mpa], mientras que el acero AISI 304 presenta un límite elástico de 190 [Mpa]. Bajo las mismas condiciones de carga, manteniendo la

misma geometría del pasador y un diámetro constante de 5/8", el acero AISI 4140 ofrece una mayor capacidad para resistir esfuerzos sin alcanzar la deformación plástica. Como se observa en la Tabla 5, este comportamiento se debe a sus superiores propiedades mecánicas, especialmente en términos de resistencia mecánica y límite elástico.

De acuerdo con los resultados obtenidos, no es necesario modificar la geometría del componente para incrementar su capacidad estructural, siendo suficiente la sustitución del material por acero AISI 4140.

$$Fs = 16 > 3,2$$

Los resultados muestran que el acero AISI 4140 alcanza un factor de seguridad cercano a 16, mientras que los aceros A36 y AISI 304 presentan valores de 3,67 y 3,20, respectivamente. Esto indica que el AISI 4140 proporciona un margen de seguridad aproximadamente cuatro veces superior bajo las mismas condiciones de carga y geometría.

Cabe destacar que ninguno de los materiales evaluados presentó fallas bajo la carga aplicada, ya que todos trabajan dentro de su zona elástica. Sin embargo, el objetivo de esta comparación no es demostrar la falla de los materiales utilizados actualmente en pasadores comerciales, sino identificar una alternativa con mejores propiedades mecánicas. En este sentido, el acero AISI 4140 destaca por su mayor límite elástico, resistencia mecánica y capacidad para soportar cargas cíclicas, lo que permite aumentar la confiabilidad del componente y reducir la probabilidad de fallas asociadas al desgaste, la deformación y la fatiga durante su vida útil.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del análisis realizado de antecedentes técnicos, productos comerciales, reportes de usuarios y casos documentados de fallas reales, se confirmó que los pasadores constituyen un elemento crítico de seguridad dentro del sistema de enganche, cuya falla puede derivar en accidentes de alta gravedad. El estudio permitió identificar los principales problemas de los pasadores disponibles en el mercado estos se relacionan con desgaste prematuro, deformaciones, fallas por fatiga, deficiencias en los sistemas de bloqueo y una alta dependencia de la correcta instalación por parte del usuario estas problemáticas fueron analizadas mediante la aplicación de la metodología AMFE y el diagrama de Ishikawa, con los cuales se evidencio que estos fallos no respondes a unas sola causa sino a combinaciones de factores los cuales resultaron ser materialidad, diseño, condiciones ambientales ,vibraciones y errores humanos de instalación.

En base a estos resultados, se definieron los requerimientos de diseño del nuevo pasador, en donde se priorizo la resistencia mecánica, la reducción de errores humanos y la seguridad frente a vibraciones. A partir de estos criterios se desarrollaron propuestas de diseño hasta llegar a una propuesta final la cual incorpora un mecanismo interno de cierre alternativo, el cual reemplaza el sistema tradicional de un único pasador, incorporando pasadores laterales accionados mediante un conjunto de engranaje y cremalleras, además de tensores internos que permiten que este se cierre de forma automática.

La validación del diseño se realizó mediante pruebas de usabilidad la cual consistió en analizar como se compara el uso de un pasador con bloqueador comercial con la propuesta de diseño esto se estandarizó utilizando una representación de como seria el uso de ambos en la realidad, y mediante análisis estructural por elementos finitos utilizando el criterio de Von Mises. Los resultados de las pruebas de usabilidad en la cual se tubo una muestra de 11 personas mostraron

una reducción significativa del tiempo de acople y desacople del sistema, pasando de un promedio de 35 segundos en el pasador base a 11 segundos en el prototipo, lo que representa una disminución aproximada del 69%. Además, se observó una menor variabilidad en los tiempos registrados, lo que indica un funcionamiento más intuitivo y menos dependiente de la destreza del usuario, reduciendo el riesgo de errores de instalación. En cuanto a la validación estructural, las simulaciones mostraron que, bajo las mismas condiciones de carga y geometría, los tres materiales evaluados presentan niveles de tensión similares, sin embargo, el factor de seguridad obtenido difiere significativamente según el material. El acero AISI 4140 alcanzó un factor de seguridad cercano a 16, significativamente superior al obtenido con los aceros A36 y AISI 304. Este resultado confirma que la selección de dicho material mejora considerablemente la capacidad estructural del pasador sin requerir modificaciones en su geometría. Asimismo, a partir de las pruebas de usabilidad realizadas, los participantes indicaron que el prototipo desarrollado resulta más cómodo, intuitivo y fácil de manipular en comparación con el pasador con bloqueador convencional.

Los resultados obtenidos demuestran que tanto la sustitución del material como el rediseño del sistema de instalación constituyen una solución efectiva para incrementar la confiabilidad, resistencia y vida útil del componente frente a los esfuerzos de corte y las condiciones exigentes de operación a las que se encuentra sometido. Además, la nueva propuesta mejora la experiencia de uso, facilitando las tareas de montaje y desmontaje del sistema de acople, lo que contribuye a reducir errores de instalación y aumentar la seguridad durante su utilización.

En conclusión, el rediseño propuesto cumple con los objetivos planteados, demostrando que es posible mejorar significativamente la seguridad, confiabilidad y experiencia de uso del sistema de pasador de enganche mediante una combinación adecuada de análisis de fallas, diseño mecánico y selección de materiales.

Se recomienda, como trabajo futuro, realizar ensayos de vibración tanto en condiciones controladas como en escenarios reales, con el fin de evaluar el comportamiento del sistema de cierre frente a las vibraciones generadas durante la circulación del vehículo y el remolque. Asimismo, se sugiere complementar el estudio mediante análisis dinámicos y pruebas experimentales que permitan determinar el efecto de las vibraciones sobre los componentes internos del mecanismo propuesto. Además, se recomienda desarrollar un proceso de selección de materiales para el cuerpo del prototipo y los elementos asociados al sistema de cierre, considerando criterios de resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, manufacturabilidad y costos de fabricación.

ANEXOS

Anexo 1: Planimetrías

[PLANOS](#)

Anexo 2: Modelo tridimensional

[MODELO 3D](#)

Anexo3: Animación

[ANIMACION](#)

Anexo 4: Documentos

[DOCUMENTOS](#)

Anexo 5: Registros

[REGISTROS](#)

REFERENCIAS

B&W Custom Truck Beds, Inc. (2021, 13 de mayo). *Important safety recall notice: 5/8" Stainless Steel Locking Receiver Hitch Pin* (R CMN-21E042-0815) [Aviso de retiro]. National Highway Traffic Safety Administration.

Amazon.com: CZC AUTO. (s. f.). Recuperado 22 de noviembre de 2025, de https://www.amazon.com/-/es/CZC-AUTO-Cerradura-autom%C3%B3vil-bicicleta/dp/B07M6W71JJ/ref=sr_1_6?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=286A54E70SO7D&dib=eyJ2IjojMSJ9.9g-cDpafmymlGO8RN3szp2unFe-daBPAn7lyb-5isejnwxcAnxi5QelXngTYWTr9jXXDNXCy3w-azt226j1S1BeRIIEDcd-GHXtfNpqcJFGQ5ImzvyGVU6_uXFeUHRUkcUN-q4iD2_c8UdJYxV0Mslv_GA5-Jcy2t5SSNYZ5E-McKDFUJdYvLEf8VtK9vugpPnpfy8dO8KddYuVdH5C7J6pbh9OnvfUKinEio7pvEF4hYwu2esVfOj4YbhGF3QtLKst9-8BFVMfpw2bRzlrZwn2yhe9fvWTqZwkFG4eNVm4.AWr1q4Lwv5S6CQE1JSMTYOnlpvoeq84Bb17Zwub8pgg&dib_tag=se&keywords=Pasador%2Bde%2Bbloqueo%2Bde%2Benganche%2Bpara%2Bremolque&qid=1763861674&sprefix=pasador%2Bde%2Bbloqueo%2Bde%2Benganche%2Bpara%2Bremolque%2Caps%2C188&sr=8-6&th=1

Amazon.com: GGC4X4 Pasador de bloqueo de enganche antitraqueteo. (s. f.). Recuperado 22 de noviembre de 2025, de <https://www.amazon.com/-/es/antitraqueteo-portabicicletas-remolques-silencian-traqueteo/dp/B0952QRDPC>

Amazon.com: TowWorks 5/8" Pasador de bloqueo de enganche para remolque, 5/8": Automotriz. (s. f.). Recuperado 29 de junio de 2025, de <https://www.amazon.com/TowWorks->

Pasador-bloqueo-enganche-

remolque/dp/B07PQ6D8G6/ref=sr_1_3_sspa?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C

3%95%C3%91&crid=286A54E70SO7D&dib=eyJ2IjoiMSJ9.tH-

mw3vCDkQUzXOFFjnddi28quE6Rj0CSY35tWSIEgpQwb58j2oGGahoQ8vcuM-

80KigWthTqbb2kOof0V6JknVIL-

AMp7VqVTFf6M1fdYgwPTPKGKUC_3libli9FVp9oqu0VvT1su0ws85KtuJhSPn4kVLTvgUg

8Fg-

PsX42EpqAmS4qCkVb3gpOLDBUIlqDdh83fxrAML5WAo4OnIhTNhs2vGDWULDZSzkZw4

nuckFgKDxzcKjacmmSTfZ1mvIYUwLVpvLkCnw01JVM-

wgmVS8igfYdPCC7KPcrANFpkI.y9DTmW5pESwUu-

eAhDZnoP9IzkckqcYinjOfF7Oof0&dib_tag=se&keywords=Pasador%2Bde%2Bbloqueo%2Bd

e%2Benganche%2Bpara%2Bremolque&qid=1751237372&sprefix=pasador%2Bde%2Bbloqueo

%2Bde%2Benganche%2Bpara%2Bremolque%2Caps%2C188&sr=8-3-

spons&sp_csd=d2lkZ2V0TmFtZT1zcF9hdGY&th=1

AMFE: Definición, Pasos, Tipos y Herramientas. (2022, marzo 18). SafetyCulture.
<https://safetyculture.com/es/temas/amfe/>

Biblioteca del Congreso Nacional | Ley Chile (1984). <https://www.bcn.cl/leychile>

Domínguez, S. (2024, julio 1). AMFE: Cómo utilizar este método en gestión de riesgos.
EALDE Business School. <https://www.ealde.es/amfe/>

Enganche de remolque desmontable. (s. f.). Madrid Audio. Recuperado 29 de junio de
2025, de <https://madridaudio.com/producto/enganche-bola-de-remolque-fijo-desmontable-horizontal-o-vertical-madrid/>

Government of Canada, H. C. (2025, febrero 14). *Reese branded hitch receiver locks recalled due to potential crash hazard—Recalls, advisories and safety alerts – Canada.ca*. Government of Canada, Health Canada, Consumer product safety. <https://recalls-rappels.canada.ca/en/alert-recall/reese-branded-hitch-receiver-locks-recalled-due-potential-crash-hazard>

J684_201405: Trailer Couplings, Hitches, and Safety Chains—Automotive Type—SAE International. (s. f.). Recuperado 29 de junio de 2025, de https://www.sae.org/standards/content/j684_201405/

kiaaccesorios.cl | 526: Invalid SSL certificate. (s. f.). Recuperado 29 de junio de 2025, de <https://www.kiaaccesorios.cl/producto/kit-carga-vertical-new-seltos/>

Kit Soporte, Bola, Pasador. (s. f.). Metalcar | Carros de Arrastre y todos sus accesorios. Recuperado 22 de noviembre de 2025, de <https://www.metalcar.cl/product/kit-soporte-bola-pasador?srsId=AfmBOopNprJiaHfkt3nJP12313Cl9SuI8C-xUoJCPYT7Cc3NyTKjxtad>

Obu. (2017, mayo 2). The Dangers of Trailer Hitches—Facts, Resources & Tips for Staying Safe. *Meshbeshher & Spence*. <https://www.meshbeshher.com/news-and-updates/the-dangers-of-trailer-hitches-facts-resources-tips-for-staying-safe/>

Opinión de Amazon de Rhino USA. (s. f.). Recuperado 29 de junio de 2025, de <https://www.amazon.com/gp/aw/review/B07S425715/R2IVMRFF7NM38J?language=es&ie=UTF8&ASIN=B07S425715>

Opiniones de clientes: REESE Pin y clip. (s. f.). Recuperado 29 de junio de 2025, de https://www.amazon.com/-/es/product-reviews/B07BBD2QQL/ref=cm_cr_unknown?ie=UTF8&filterByStar=two_star&reviewerType=all_reviews&pageNumber=1#reviews-filter-bar

Opiniones de clientes: Rhino USA. (s. f.). Recuperado 29 de junio de 2025, de https://www.amazon.com/-/es/product-reviews/B07S425715/ref=acr_dp_hist_1?ie=UTF8&filterByStar=one_star&reviewerType=all_reviews#reviews-filter-bar

PEUGEOT 508 4 Puertas Bola desmontable horizontal semiautomatica de 2010-2018 | Remolques Zabala. (s. f.). Recuperado 22 de noviembre de 2025, de <https://remolqueszabala.com/producto/peugeot-508-4-puertas-bola-desmontable-horizontal-semiautomatica-de-2010-2018/>

Reglamento n.o 55 (CEPE) [2018/ 862]. (s. f.).

Soporte de bola de enganche para remolque con bola de 2 pulgadas y clip de pasador de enganche, enganche de bola de remolque de acero sólido para receptor de 2 pulgadas, 6000 libras, caída de 2 pulgadas: Amazon.com.mx: Automotriz y Motocicletas. (s. f.). Recuperado 22 de noviembre de 2025, de <https://www.amazon.com.mx/Soporte-enganche-remolque-pulgadas-receptor/dp/B0BF99PZ3S>

Ulrich, K. T. (s. f.). *Diseno y desarrollo de productos.*