

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROYECTO DE TÍTULO
REDISEÑO DE UN SISTEMA DE ACOPLE Y DESACOPLE MÓVIL PARA
REMOLQUE

Trabajo de titulación para optar al título de
Ingeniero en Fabricación y diseño
industrial con Licenciatura en Ingeniería
en fabricación y diseño industrial.

Seminario de título

Alumno:

Diego Gómez González

Profesor guía:

Augusto Vargas Schüller



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 de un sistema de acople y desacople móvil para remolque

Nombre del candidato(a): Diego Gomez Gonzalez

Carrera / Grado: Ingeniería en Fabricación y Diseño Industrial

Campus: Sede Viña del Mar Departamento: Diseño y manufactura DIMA

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Augusto Vargas, 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: 30/ junio Firma: [Firma]

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 30 - JUNIO Firma: [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.

RESUMEN

KEYWORDS: Sistema de acople; remolques livianos; desacople involuntario; seguridad operacional; error humano; cierre automático; verificación objetiva; ANFE; QFD.

En los remolques livianos, los sistemas de acople manual tipo bola presentan un riesgo significativo de desacople involuntario, asociado principalmente a su alta dependencia del operador para ejecutar y verificar correctamente el cierre del mecanismo, especialmente bajo condiciones dinámicas de operación. Esta dependencia expone al sistema a errores de omisión, cierres incompletos y fallas no detectadas, constituyendo una debilidad relevante desde el punto de vista de la seguridad operacional.

El presente trabajo aborda esta problemática mediante un proceso de rediseño orientado a reducir la dependencia del operador como causa raíz del desacople involuntario. Para ello, se aplicó una metodología de análisis trazable que integró la revisión normativa y de mercado, el análisis causal mediante diagrama de Ishikawa y matriz causa–problema–impacto, la priorización de modos de falla mediante ANFE y la traducción de necesidades de seguridad en requisitos técnicos a través del despliegue de la función de calidad (QFD).

Como resultado, se desarrolló un sistema de acople con cierre automático verificable (AutoLock), diseñado para eliminar decisiones y acciones críticas dependientes del operador durante el proceso de enganche. La evaluación comparativa, de carácter analítico y funcional, indica una reducción de las acciones manuales críticas de 4 a 1 (–75 %), acompañada por una disminución de los pasos operativos de 7 a 4 (–42,8 %) y del tiempo estimado de acoplamiento de 20–25 s a 8–10 s (–50–60 %) respecto de un sistema tradicional.

Los resultados obtenidos permiten concluir que la incorporación de mecanismos de cierre automático y verificación objetiva del estado del acople constituye una estrategia viable para reducir la dependencia del operador y mejorar la seguridad operacional en remolques livianos, estableciendo una base técnica para futuras validaciones experimentales y desarrollos aplicados.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	2
INTRODUCCIÓN.....	7
CONTEXTO Y MOTIVACIÓN.....	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
ANTECEDENTES.....	10
1.1 OBJETIVO GENERAL	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES	12
1.4 METODOLOGÍA GENERAL Y ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	12
1.5 DEFINICIONES ASOCIADAS Y CONCEPTOS TÉCNICOS.....	13
1.5.1 Términos y definiciones	14
1.5.2 Siglas y abreviaturas.....	19
DIAGNÓSTICO Y ANTECEDENTES DEL ACOPLE DE REMOLQUES.....	21
2.1 ESTADO DEL ARTE Y CONTEXTO DE SEGURIDAD.....	22
2.1.1 Contexto en Chile.....	22
2.1.2 Contexto internacional.....	23
2.2 TIPOLOGÍAS DE SISTEMAS DE ACOPLE EXISTENTES.....	24
2.2.1 Acople mecánico tipo bola 1-7/8”	25
2.2.2 Acople mecánico tipo bola 2”, 2-5/16”	29
2.2.2 Sistemas automáticos / auto cierre (referentes)	32
2.2.3 Sistemas neumáticos e hidráulicos (alta capacidad).....	35
2.3 COMPARACIÓN DE MERCADO.....	39
2.4 SÍNTESIS DEL DIAGNÓSTICO	41
2.4.1 Problema principal y justificación del rediseño	42
2.4.2 Criterios iniciales de evaluación del rediseño	43
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.....	45
3.1 TIPOS DE PROBLEMAS.....	46
3.2 PROBLEMA IDENTIFICADO	51
3.3 RESTRICCIONES Y REQUISITOS DE DISEÑO	52
3.3.1 RESTRICCIONES NORMATIVAS Y DE COMPATIBILIDAD	52
METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	54
4.1 METODOLOGÍAS Y SU APLICACIÓN.....	55

4.1.1 Diagrama de Ishikawa	57
4.1.2 Matriz Causa–Problema–Impacto	59
4.1.3 AMFE/ANFE del sistema actual	62
4.1.4 QFD (Despliegue de la función de calidad)	67
4.2 CIERRE METODOLÓGICO: DECISIONES DE DISEÑO	70
4.2.1 Requisitos priorizados finales.....	72
4.2.2 Conceptos de solución evaluados.....	73
DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO	75
5.1 PRESENTACIÓN DEL CONCEPTO.....	76
5.2 DESCRIPCIÓN DEL MECANISMO DE CIERRE AUTOMÁTICO.....	77
5.3 DISEÑO	78
5.3.1 Componentes principales	78
5.3.2 Manufactura asociada.....	80
5.3.3 Planos de fabricación.....	81
5.4 FUNCIONAMIENTO DEL MECANISMO	81
5.5 VENTAJAS DEL DISEÑO	84
EVALUACIÓN DE LA MEJORA Y VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO	86
6.1 CRITERIOS Y MÉTRICAS DE EVALUACIÓN.....	87
6.2 COMPARACIÓN CON EL SISTEMA TRADICIONAL.....	88
6.3 RESULTADOS.....	89
CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	91
7.1 CONCLUSIONES POR OBJETIVO ESPECÍFICO	92
7.1.1 Objetivo específico 1.....	93
7.1.2 Objetivo específico 2.....	93
7.1.3 Objetivo específico 3.....	94
7.1.4 Objetivo específico 4.....	95
7.2 LIMITACIONES DEL ESTUDIO	95
7.3 RECOMENDACIONES	96
7.4 TRABAJO FUTURO (PROSPECTIVA).....	97
REFERENCIAS	98
LISTADO DE REFERENCIA	99
ANEXOS.....	104
ENLACE DE PRESENTACIÓN:	105
PLANOS	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de sistemas de acople según criterios de mercado y operación.....	40
Tabla 2 Matriz Causa – Problema - Impacto	61
Tabla 3 ANFE – Sección: Componente estudiado.....	64
Tabla 4 ANFE – Sección: Condiciones existentes.....	65
Tabla 5 ANFE – Sección: Resultados.....	66
Tabla 6 QFD – Importancia en el diseño.....	68
Tabla 7 Leyenda de la tabla de QFD	69
Tabla 8 Componentes y su función	79
Tabla 9 Análisis de ventajas y comparación.....	85
Tabla 10 Mediciones y comparación.....	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1 Acople mecánico tipo bola.....	25
Figura 2 Sistema de bloqueo externo mediante candado para acople tipo bola.	28
Figura 3 Sistema de bloqueo externo mediante candado instalado.	28
Figura 4 Acople tipo bola con palanca ergonómica de mayor longitud.	29
Figura 5 Acople reforzado tipo “pico de loro” para bolas de mayor diámetro.....	30
Figura 6 Acople mecánico tipo bola con sistema de bloqueo automático.....	31
Figura 7 Acople automático tipo “drop-on”.	33
Figura 8 Acople automático tipo “jaw coupling”.	34
Figura 9 Sistema de acople neumático para remolques de alta capacidad.	36
Figura 10 Sistema de acople hidráulico de alta capacidad.	38
Figura 11 Diagrama tipo “ESPINAS DE PESCADO”.....	58
Figura 12 Imagen referencial del Sistema AutoLock.....	78
Figura 13 Imagen referencial de funcionamiento AutoLock.....	82
Figura 14 Imagen demostrativa de accionamiento.....	82
Figura 15 Imagen referencial del sistema AutoLock cerrado.....	83
Figura 16 Imagen referencial de funcionamiento del gancho de cierre.....	83
Figura 17 Imagen referencial de cierre completo.....	84

INTRODUCCIÓN

El transporte de carga mediante remolques es una práctica extendida en contextos recreativos, productivos e industriales, particularmente en aplicaciones asociadas a vehículos livianos y medianos. En este escenario, el sistema de acople entre el vehículo tractor y el remolque constituye un elemento de seguridad crítica, ya que su desempeño condiciona la integridad del conjunto durante la circulación y, en consecuencia, el nivel de riesgo operacional asociado al transporte con carga.

En el segmento de remolques livianos, y especialmente en configuraciones basadas en acoples tipo bola de uso estandarizado, persisten diseños que presentan una alta dependencia del operador para asegurar el cierre del mecanismo, verificar el estado de traba y completar acciones de seguridad complementarias. Esta dependencia incrementa la probabilidad de fallas por omisión y cierres parciales no detectados, trasladando la responsabilidad de la seguridad del sistema principalmente al usuario y exponiendo el proceso de acople a errores no intencionados.

Estas fallas pueden manifestarse una vez iniciada la circulación, cuando el conjunto vehículo–remolque se ve sometido a vibraciones, impactos y variaciones de carga propias de la marcha, condiciones bajo las cuales un cierre incompleto o una verificación insuficiente pueden derivar en la pérdida de sujeción del sistema. En este contexto, la seguridad del acople no depende únicamente de la resistencia estructural de sus componentes, sino también de la correcta ejecución y verificación de una secuencia operativa crítica por parte del operador.

A partir de este escenario, el presente trabajo se orienta al rediseño de un sistema de acople móvil para remolques livianos, con foco en la seguridad operacional y en la reducción de la dependencia del operador como causa raíz del desacople involuntario. El documento desarrolla un proceso trazable que abarca desde la identificación del problema y sus causas fundamentales, la priorización de modos de falla y la definición de requisitos de diseño, hasta la formulación y evaluación de una propuesta de mejora coherente con las condiciones reales de uso. En este sentido, se plantea la necesidad de abordar la problemática del desacople involuntario desde el diseño del sistema de acople, incorporando soluciones que reduzcan la cantidad de decisiones y acciones críticas dependientes del operador y que proporcionen mecanismos de verificación objetiva del estado del enganche. Este enfoque busca fortalecer la seguridad del sistema más allá de las prácticas operativas tradicionales, asegurando coherencia entre el diagnóstico inicial, las metodologías de análisis aplicadas y la solución de diseño propuesta.

CONTEXTO Y MOTIVACIÓN

En coherencia con lo anterior, el contexto actual del uso de remolques livianos ha demostrado un incremento sostenido, tanto en aplicaciones recreativas como productivas. Este fenómeno se asocia, por una parte, al crecimiento de actividades vinculadas al transporte de equipamiento recreativo y, por otra, a la incorporación de carros utilitarios de pequeña capacidad en emprendimientos y actividades logísticas de baja escala. Como consecuencia, esta expansión ha incrementado la exposición a escenarios de operación más diversos, en los cuales la seguridad del sistema de acople adquiere un rol determinante.

En este escenario, antecedentes técnicos, normativos y de mercado indican que una proporción relevante de los incidentes asociados al uso de remolques no se origina exclusivamente en fallas estructurales de los componentes, sino en errores operativos durante los procesos de acople y desacople. Los sistemas de acople manual convencionales exigen que el operador ejecute una secuencia de acciones críticas, tales como la apertura del mecanismo, el aseguramiento del cierre y la instalación de dispositivos de seguridad secundarios. La omisión o ejecución incompleta de alguna de estas acciones puede derivar en cierres parciales no detectados. Una vez iniciada la circulación, estas deficiencias se traducen en un aumento significativo del riesgo de pérdida de sujeción del sistema. Tal como ha sido descrito en la literatura técnica y en reportes asociados a la seguridad operacional de sistemas mecánicos dependientes del usuario, estas situaciones evidencian que la seguridad del acople depende en gran medida del correcto desempeño del operador y no exclusivamente del diseño estructural del mecanismo. Esta dependencia directa del factor humano constituye, por tanto, una debilidad relevante desde el punto de vista de la seguridad operacional.

La motivación de este trabajo surge, en consecuencia, de la necesidad de abordar esta debilidad desde el diseño del sistema de acople, incorporando criterios orientados a la reducción del error humano y al aumento de la confiabilidad del mecanismo, sin perder compatibilidad con las soluciones estandarizadas presentes en el mercado. En este marco, el enfoque adoptado busca contribuir al desarrollo de sistemas de acople más seguros y robustos, alineados con las condiciones reales de uso y con los marcos normativos vigentes.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A partir del análisis del contexto operativo y de los antecedentes técnicos, normativos y de mercado disponibles, se identifica como problemática central la alta probabilidad de desacople involuntario en sistemas de acople manual para remolques livianos. Diversos estudios en el ámbito de la seguridad operacional y los factores humanos han establecido que la ocurrencia de fallas en sistemas mecánicos operados manualmente se encuentra fuertemente influenciada por variables operativas y por la dependencia del operador en la correcta ejecución de secuencias críticas de acción (Reason, 1990; Norman, 2013). En el caso de los sistemas de acople para remolques, esta dependencia expone al sistema a errores de omisión, cierres incompletos del mecanismo de traba y a la ausencia de una verificación efectiva del estado del acople antes y durante la operación.

Bajo condiciones dinámicas reales —tales como vibraciones, variaciones de carga, impactos o maniobras bruscas— un sistema de acople que no haya sido asegurado correctamente puede perder su capacidad de sujeción, generando situaciones de riesgo tanto para el vehículo tractor como para el entorno. Este tipo de escenarios ha sido documentado en normativas técnicas y reportes de seguridad vial asociados a sistemas de enganche, donde se advierte que cierres incompletos, aseguramientos deficientes o la falta de mecanismos de confirmación del cierre incrementan significativamente el riesgo de desacople durante la operación (SAE J684, 2011; NHTSA, 2018).

En este contexto, el problema identificado no se limita a una falla puntual de componentes individuales, sino que se origina principalmente en la alta dependencia del operador para asegurar y verificar correctamente el estado del sistema de acople, condición que expone el proceso a errores de omisión y cierres incompletos no detectados. La persistencia de soluciones altamente estandarizadas, con escasa retroalimentación objetiva para el operador respecto del estado de seguridad del acople, refuerza la dependencia del usuario como elemento crítico del proceso de aseguramiento. Esta condición ha sido ampliamente descrita en la literatura sobre diseño centrado en el usuario y prevención del error humano, donde se señala que los sistemas que no entregan señales claras de estado aumentan la probabilidad de fallas operativas no intencionales (Norman, 2013; Reason, 2000).

En respuesta a esta problemática, el presente trabajo se orienta a identificar y priorizar las causas raíz y los modos de falla que influyen en el desacople involuntario de sistemas de acople manual para remolques livianos, con el propósito de establecer criterios objetivos que orienten el desarrollo de una mejora de diseño. A partir de este análisis, se definen un objetivo general y objetivos específicos que guían el proceso de rediseño del sistema de acople, los cuales se presentan a continuación.

ANTECEDENTES

Con el fin de estructurar la respuesta a esta problemática, se plantea la siguiente pregunta: ¿Qué objetivos deben definirse para abordar de manera sistemática y verificable la problemática del desacople involuntario en sistemas de acople manual para remolques livianos? A partir del problema identificado y del análisis de los factores técnicos, operativos y de diseño que influyen en la pérdida de sujeción del sistema, se hace necesario estructurar un proceso de rediseño orientado por objetivos claros, coherentes y medibles. La dependencia del operador como elemento crítico del aseguramiento del acople, junto con la ausencia de mecanismos de cierre automático y de verificación objetiva del estado del sistema, requiere ser abordada desde una perspectiva de ingeniería que permita reducir la probabilidad de error humano y aumentar la confiabilidad operacional del conjunto.

En este contexto, la definición de objetivos se establece como una herramienta fundamental para asegurar coherencia entre el diagnóstico del problema, la aplicación de metodologías de análisis y las decisiones de diseño adoptadas. Los objetivos del presente trabajo se formulan con el propósito de identificar y priorizar las causas raíz y los modos de falla críticos asociados al desacople involuntario, y de orientar el desarrollo de una propuesta de rediseño que reduzca la dependencia del operador y mitigue el riesgo operacional, mediante la aplicación de herramientas de análisis reconocidas en el ámbito del diseño y la seguridad operacional (Reason, 2000; Norman, 2013).

1.1 OBJETIVO GENERAL

Rediseñar un sistema de acople para remolques livianos que reduzca la probabilidad de desacople involuntario, aplicando de Ishikawa, ANFE y QFD para disminuir la dependencia del operador.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Con el propósito de dar cumplimiento al objetivo general planteado, se definieron los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar el contexto técnico, normativo y de mercado asociado a los sistemas de acople para remolques livianos, con el fin de identificar las principales carencias de seguridad y brechas de diseño presentes en las soluciones convencionales.
2. Identificar y priorizar las causas raíz y los modos de falla críticos asociados al desacople involuntario del sistema de acople, considerando la influencia del error humano y la dependencia del operador en el proceso de aseguramiento.

3. Traducir las necesidades de seguridad y uso del sistema en requisitos técnicos de diseño, manteniendo coherencia entre el problema identificado, las causas priorizadas y la solución propuesta.
4. Desarrollar y evaluar de manera comparativa una propuesta de rediseño del sistema de acople, orientada a reducir la dependencia del operador, contrastando su desempeño conceptual y funcional con sistemas tradicionales mediante criterios asociados a acciones críticas, pasos operativos y condiciones que incrementen la probabilidad de desacople involuntario.

1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

El presente trabajo se enfoca en el rediseño conceptual y funcional de un sistema de acople móvil para remolques livianos, considerando principalmente configuraciones de uso estándar en vehículos livianos y medianos, con énfasis en la reducción de la dependencia del operador y en la mejora de la seguridad operacional durante el proceso de acople. El estudio se limita al análisis del mecanismo de acople y su interacción operativa, sin abordar en profundidad aspectos estructurales del remolque ni del vehículo tractor.

Asimismo, la evaluación de la propuesta se realiza a nivel analítico y comparativo, basada en metodologías de análisis de riesgos y diseño, sin contemplar ensayos experimentales a escala real ni validaciones en campo. Estas instancias se consideran como proyecciones de trabajo futuro, necesarias para validar el desempeño del sistema en condiciones reales de operación.

1.4 METODOLOGÍA GENERAL Y ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

La metodología adoptada en este trabajo corresponde a un enfoque secuencial y trazable, orientado al rediseño de un sistema mecánico con foco en la seguridad operacional. El proceso se inicia con la recopilación y análisis de antecedentes técnicos, normativos y de mercado, continúa con la identificación y priorización de fallas mediante herramientas de análisis de causa y riesgo, y culmina con la definición de requisitos y el desarrollo de una propuesta de diseño coherente con el problema identificado.

Como apoyo al proceso de investigación y redacción del documento, se utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa, empleadas principalmente para la revisión de coherencia textual, reformulación de enunciados, apoyo en la estructuración del discurso académico y exploración preliminar de conceptos técnicos presentes en la literatura. El uso

de estas herramientas tuvo un carácter complementario y no sustituyó el criterio ingenieril del autor ni la toma de decisiones técnicas asociadas al análisis del problema, la selección de metodologías, la definición de requisitos de diseño o la formulación de la propuesta desarrollada.

El documento se organiza en capítulos, donde cada uno responde a una pregunta técnica específica que orienta su contenido y su aporte al desarrollo global del proyecto. Esta estructura permite mantener coherencia entre el diagnóstico inicial, la aplicación de metodologías de análisis, las decisiones de diseño adoptadas y la evaluación de la mejora propuesta.

Entre los criterios definidos se considera lograr una reducción de la dependencia del operador durante el proceso de acople, la incorporación de mecanismos que permitan verificar el estado del enganche, la compatibilidad con estándares dimensionales existentes y la mantención de un nivel de complejidad y costo acorde al segmento de remolques livianos. Asimismo, se contempla la evaluación del desempeño del sistema bajo condiciones normales de operación, con el fin de asegurar un comportamiento seguro y confiable en escenarios reales de uso.

1.5 DEFINICIONES ASOCIADAS Y CONCEPTOS TÉCNICOS

Para asegurar una comprensión clara y homogénea del contenido técnico desarrollado en este documento, resulta necesario establecer un conjunto de definiciones operativas y conceptos clave que serán utilizados de manera recurrente a lo largo del trabajo. En particular, considerando que el estudio aborda el rediseño de un sistema de acople móvil para remolques livianos desde una perspectiva de seguridad operacional, surge la pregunta de qué conceptos técnicos, normativos y metodológicos deben ser definidos previamente para facilitar la lectura y evitar ambigüedades en la interpretación del análisis y de la propuesta de diseño.

La presente sección tiene por objetivo precisar el significado de los términos fundamentales asociados al sistema mecánico analizado, a los principios de seguridad y operación, y a las metodologías de análisis empleadas, permitiendo que el lector, independientemente de su nivel de especialización, disponga de un marco conceptual común para la comprensión de los capítulos posteriores.

1.5.1 Términos y definiciones

- Sistema de acople

Conjunto de componentes mecánicos destinados a unir de manera segura un remolque al vehículo tractor, permitiendo la transmisión de cargas longitudinales, transversales y verticales durante la operación, y asegurando la estabilidad del conjunto bajo condiciones dinámicas de circulación (SAE International, 2011).

- Remolque liviano

Vehículo no motorizado diseñado para ser remolcado por un vehículo tractor, generalmente con un peso bruto vehicular reducido y destinado al transporte de carga liviana, equipamiento recreativo u otros elementos, comúnmente asociado a configuraciones de uso estándar en vehículos livianos y medianos.

- Vehículo tractor

Vehículo motorizado encargado de arrastrar el remolque, proporcionando la fuerza de tracción necesaria para el desplazamiento del conjunto y absorbiendo las cargas transmitidas a través del sistema de acople.

- Desacople involuntario

Separación no intencionada entre el vehículo tractor y el remolque durante la operación, originada por fallas del sistema de acople, errores operativos o condiciones dinámicas adversas, y que puede generar situaciones de riesgo para los usuarios y el entorno (SAE International, 2011; NHTSA, 2018).

- Mecanismo de traba

Elemento o conjunto de elementos del sistema de acople encargados de asegurar el cierre del dispositivo una vez acoplado a la bola u otro elemento de enganche, evitando la liberación del remolque durante la operación.

- Cierre automático

Característica de diseño mediante la cual el sistema de acople asegura el cierre del mecanismo de traba sin requerir una acción manual adicional del operador, reduciendo la dependencia del usuario y la probabilidad de errores de omisión (Norman, 2013).

- Cadenas de seguridad

Dispositivos secundarios de sujeción, generalmente constituidos por cadenas metálicas, diseñados para mantener unido el remolque al vehículo tractor en caso de falla del acople principal, minimizando las consecuencias de un desacople (SAE International, 2011).

- Condiciones dinámicas de operación

Conjunto de sollicitaciones variables que actúan sobre el sistema de acople durante la circulación, tales como vibraciones, aceleraciones, frenadas, impactos y variaciones de carga, que pueden afectar su desempeño y seguridad.

- Carga vertical (tongue load)

Componente vertical de la carga transmitida por el remolque al vehículo tractor a través del sistema de acople, la cual influye directamente en la estabilidad del conjunto y en el comportamiento dinámico del vehículo.

- Seguridad operacional

Condición mediante la cual un sistema cumple su función prevista minimizando el riesgo de fallas y accidentes durante su operación normal, considerando tanto aspectos técnicos como humanos (Reason, 2000).

- Error humano

Acción u omisión no intencionada por parte del operador que puede conducir a un resultado no deseado, particularmente relevante en sistemas donde la seguridad depende de la correcta ejecución de secuencias operativas críticas (Reason, 2000).

- Error de omisión

Tipo de error humano caracterizado por la falta de ejecución de una acción requerida dentro de un proceso operativo, como la no verificación del cierre del sistema de acople antes de la circulación.

- Dependencia del operador

Grado en que el correcto funcionamiento y la seguridad de un sistema dependen de la intervención directa y del juicio del usuario, sin asistencia de mecanismos automáticos o de retroalimentación objetiva (Norman, 2013).

- Desacople involuntario

Separación no intencionada entre el vehículo tractor y el remolque durante la operación, originada por errores de omisión, cierres incompletos o fallas en la verificación del sistema de acople, y no por una acción deliberada del operador. Este tipo de evento ha sido identificado en la literatura técnica y normativa asociada a sistemas de remolque como un riesgo relevante para la seguridad operacional, especialmente en configuraciones dependientes del usuario para asegurar el cierre del mecanismo (SAE, 2013).

- Dependencia del operador

Grado en que el funcionamiento seguro de un sistema depende de la correcta ejecución, atención y verificación por parte del usuario, sin contar con mecanismos automáticos o medios de verificación objetiva que permitan mitigar errores humanos no intencionados. En sistemas mecánicos manuales, una alta dependencia del operador incrementa la probabilidad de fallas por omisión y constituye una condición crítica desde la perspectiva de los factores humanos y la seguridad operacional (Reason, 1990; Norman, 2013).

- Verificación objetiva

Confirmación del estado correcto de un sistema mediante indicadores, dispositivos o mecanismos independientes de la percepción subjetiva del operador, orientados a reducir la probabilidad de error humano no intencionado. La incorporación de mecanismos de verificación objetiva constituye una estrategia reconocida en el diseño seguro de sistemas para la reducción del riesgo asociado al uso (ISO, 2010).

- Causa raíz

Factor fundamental que origina una falla o problema, cuya identificación permite abordar el origen del riesgo en lugar de solo sus manifestaciones superficiales.

- Modo de falla

Forma específica en que un componente o sistema puede fallar, afectando su desempeño y seguridad durante la operación.

- Análisis Modal de Fallos y Efectos (ANFE)

Metodología sistemática utilizada para identificar, evaluar y priorizar modos de falla potenciales de un sistema, considerando criterios de severidad, ocurrencia y detectabilidad, con el objetivo de reducir riesgos (Reason, 2000).

- Diagrama de Ishikawa

Herramienta de análisis causal que permite identificar y organizar las posibles causas de un problema en categorías, facilitando la identificación de causas raíz asociadas a fallas del sistema.

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD)

Metodología de diseño orientada a traducir necesidades del usuario y requerimientos de seguridad en características técnicas del producto, asegurando coherencia entre el problema identificado y la solución propuesta.

- Riesgo

Combinación de la probabilidad de ocurrencia de una falla y la severidad de sus consecuencias sobre el sistema, los usuarios y el entorno.

- Severidad

Medida que expresa la magnitud de las consecuencias de un modo de falla sobre el sistema, los usuarios y el entorno, en caso de que dicha falla ocurra. En el contexto del análisis de riesgos, la severidad permite evaluar el impacto potencial de una falla, independientemente de su probabilidad de ocurrencia.

- Ocurrencia

Indicador que representa la probabilidad o frecuencia con la cual un modo de falla puede presentarse durante la operación del sistema. La ocurrencia se evalúa considerando antecedentes históricos, condiciones de uso y características propias del diseño del sistema analizado.

- Detectabilidad

Capacidad del sistema o de los procedimientos asociados para identificar un modo de falla antes de que este genere consecuencias indeseadas. Una baja detectabilidad implica que la falla es difícil de identificar oportunamente, incrementando el nivel de riesgo asociado (Reason, 2000).

- Norma técnica

Documento establecido por un organismo reconocido que define requisitos, lineamientos o especificaciones técnicas para productos, procesos o sistemas, con el objetivo de asegurar niveles mínimos de seguridad, calidad y desempeño en condiciones de uso definidas (ISO, 2018).

- Estandarización

Proceso mediante el cual se establecen y aplican normas técnicas comunes para productos o sistemas, permitiendo asegurar compatibilidad, interoperabilidad y niveles mínimos de seguridad, además de facilitar su fabricación, uso y mantenimiento en distintos contextos.

- Compatibilidad dimensional

Condición mediante la cual las dimensiones geométricas de un componente o sistema permiten su correcta integración con otros elementos estandarizados, garantizando un acoplamiento seguro y funcional, como ocurre en la relación entre el acoplador y la bola de enganche conforme a normas técnicas (SAE International, 2011).

- Retrocompatibilidad

Capacidad de un sistema, componente o diseño de integrarse y funcionar correctamente con configuraciones, interfaces y componentes preexistentes, sin requerir modificaciones estructurales mayores en los sistemas originales. En el contexto de este trabajo, la retrocompatibilidad se refiere a la aptitud del sistema de acople rediseñado para ser instalado y utilizado en remolques livianos y vehículos tractores actualmente en uso, respetando las dimensiones, interfaces y configuraciones estándar del mercado.

- Requisito técnico

Condición específica, medible y verificable que debe cumplir un sistema o componente para satisfacer necesidades funcionales, normativas o de seguridad previamente identificadas. Los requisitos técnicos constituyen la base para la toma de decisiones en el proceso de diseño y rediseño de sistemas.

1.5.2 Siglas y abreviaturas

Con el fin de facilitar la lectura del documento y asegurar una correcta interpretación de los términos abreviados utilizados a lo largo del trabajo, en esta sección se presentan las principales siglas y abreviaturas empleadas, junto con su significado correspondiente. Estas siglas se utilizarán de manera consistente en los capítulos posteriores.

- ANFE

Análisis Modal de Fallos y Efectos. Metodología sistemática utilizada para identificar, evaluar y priorizar los modos de falla potenciales de un sistema, considerando criterios de severidad, ocurrencia y detectabilidad.

- QFD

Despliegue de la Función de Calidad (*Quality Function Deployment*). Herramienta de diseño orientada a traducir las necesidades del usuario y los requerimientos del sistema en características técnicas del producto.

- SAE

Society of Automotive Engineers (SAE International). Organización internacional dedicada al desarrollo de normas técnicas y estándares para la industria automotriz y de transporte.

- ISO

International Organization for Standardization. Organización internacional encargada de elaborar normas técnicas aplicables a productos, servicios y sistemas en distintos sectores industriales.

- NHTSA

National Highway Traffic Safety Administration. Agencia del Departamento de Transporte de los Estados Unidos responsable de la seguridad vial y la regulación de vehículos motorizados.

- PRT

Planta de Revisión Técnica. Instalación autorizada para realizar inspecciones técnicas periódicas a vehículos y remolques, verificando el cumplimiento de condiciones mínimas de seguridad y funcionamiento.

- MTT

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile. Organismo público encargado de la regulación del transporte terrestre, aéreo y marítimo, así como de las telecomunicaciones en el país.

- CLP

Peso chileno. Unidad monetaria oficial de la República de Chile, utilizada en el presente documento para expresar valores económicos asociados a costos, presupuestos y evaluaciones comparativas.

- Kg

Kilogramo. Unidad de masa del Sistema Internacional de Unidades (SI).

- N

Newton. Unidad de fuerza del Sistema Internacional de Unidades (SI).

- mm

Milímetro. Unidad de longitud del Sistema Internacional de Unidades (SI).

DIAGNÓSTICO Y ANTECEDENTES DEL ACOPLE DE REMOLQUES

Para abordar de manera fundamentada el rediseño de un sistema de acople móvil para remolques livianos, resulta indispensable establecer un diagnóstico claro del estado actual de estas soluciones, considerando tanto los antecedentes normativos y técnicos disponibles como la realidad del mercado y los escenarios de uso más habituales. En este sentido, el análisis desarrollado en el presente capítulo busca responder a la interrogante de qué se conoce actualmente, desde el punto de vista normativo, técnico y comercial, sobre los sistemas de acople para remolques, y en qué aspectos específicos se localizan las principales debilidades que justifican un rediseño orientado a la seguridad operacional.

El capítulo se centra en el estudio de los sistemas de acople utilizados en remolques livianos, particularmente aquellos basados en configuraciones estandarizadas de uso masivo, donde la operación manual y la correcta ejecución de acciones por parte del operador juegan un rol determinante en el aseguramiento del sistema. A partir de la revisión de normativas aplicables, antecedentes de seguridad vial, soluciones comerciales existentes y referencias técnicas, se analizan los criterios de diseño predominantes, las prácticas operativas recurrentes y las limitaciones que estos sistemas presentan frente a condiciones reales de operación.

2.1 ESTADO DEL ARTE Y CONTEXTO DE SEGURIDAD

La seguridad de los sistemas de acople y enganche de remolques es un aspecto crítico en la ingeniería vehicular, ya que estos dispositivos constituyen el elemento estructural y funcional que mantiene unidos el vehículo tractor y el remolque durante la operación en carretera. Para comprender el estado actual de estos sistemas y las principales debilidades que han sido reportadas tanto en la práctica como en la normativa, es necesario analizar las regulaciones, recomendaciones técnicas y prácticas de diseño a nivel nacional e internacional. Este análisis establece una base comparativa que permitirá identificar brechas existentes y criterios técnicos a considerar en el rediseño de sistemas de acople orientados a mitigar el riesgo de desacople involuntario.

2.1.1 Contexto en Chile

En Chile, los vehículos remolcados y los sistemas de acople se encuentran regulados principalmente a través de la normativa de tránsito y de los decretos que establecen las

condiciones técnicas para la circulación de vehículos y remolques en vías públicas. La Ley de Tránsito N.º 18.290 y sus reglamentos asociados definen requisitos generales aplicables a los remolques, tales como dimensiones máximas, condiciones de circulación, exigencia de seguros obligatorios —como el Seguro Obligatorio de Accidentes Personales (SOAP) para carros de arrastre— y la obligatoriedad de someter estos vehículos a procesos periódicos de revisión técnica, orientados a verificar el estado de los sistemas mecánicos relevantes para la seguridad vial (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, s.f.).

De manera específica, el Decreto Supremo N.º 22 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones establece que los remolques con una capacidad de carga superior a 750 kg deben contar con sistemas de freno independientes, accionados desde el vehículo tractor. Este requisito tiene como objetivo asegurar una desaceleración y detención controlada del conjunto vehículo–remolque, particularmente en situaciones de emergencia, pérdida de control o fallas del sistema de acople principal (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2006).

Complementariamente, el marco normativo chileno se apoya en documentos técnicos y manuales de procedimiento utilizados por las Plantas de Revisión Técnica (PRT), los cuales definen criterios específicos para la inspección del estado de los sistemas de acople durante la revisión técnica vehicular. En estos procedimientos se evalúan aspectos como la integridad física del dispositivo de acople, la ausencia de holguras excesivas, el correcto funcionamiento del mecanismo de cierre y la presencia de dispositivos de seguridad secundarios, especialmente en remolques equipados con frenos de inercia o sistemas auxiliares de frenado. Estas inspecciones buscan asegurar un comportamiento adecuado del sistema de acople bajo condiciones dinámicas de carga y vibración propias de la operación real (PRT Chile, 2022).

2.1.2 Contexto internacional

A nivel internacional, los sistemas de acople para remolques livianos y medianos se encuentran regulados por normas técnicas específicas que establecen requisitos detallados de diseño, fabricación, identificación y ensayos de seguridad. Entre los estándares más reconocidos en este ámbito se encuentra la norma SAE J684: Trailer Coupling, Hitches, and Safety Chains — Automotive Type, desarrollada por SAE International. Esta norma es aplicable a acoples, enganches y cadenas de seguridad utilizados en remolques con un peso bruto vehicular de hasta 4.540 kg (10.000 lb), y define criterios de desempeño frente a cargas longitudinales, transversales y verticales, así como requisitos de identificación y ensayos de resistencia mecánica (SAE International, 2011).

El estándar SAE J684 constituye un referente ampliamente adoptado por fabricantes, organismos reguladores y laboratorios de ensayo, ya que proporciona un marco técnico común para asegurar que los sistemas de acople cumplan con niveles mínimos de seguridad y confiabilidad durante la operación. Asimismo, la norma contempla el uso de cadenas de seguridad como un mecanismo secundario de retención, estableciendo requisitos de materiales, resistencia a la fatiga y configuración de montaje, con el fin de mitigar las consecuencias de un desacople del enganche principal y reducir el riesgo de remolques descontrolados en carretera (SAE International, 2011).

Además del estándar SAE, existen otras normas internacionales relevantes, particularmente en el ámbito de la Organización Internacional de Normalización (ISO) y de la regulación europea, que abordan dispositivos de acoplamiento y sistemas complementarios asociados a la seguridad de los remolques. Entre estos se incluyen estándares relacionados con conectores eléctricos y sistemas de señalización luminosa, los cuales aseguran la compatibilidad funcional entre vehículos tractores y remolques en distintos mercados, contribuyendo a una operación segura y estandarizada a nivel internacional (ISO, 2018).

2.2 TIPOLOGÍAS DE SISTEMAS DE ACOPLE EXISTENTES

Comprender las distintas tipologías de sistemas de acople disponibles en el mercado resulta fundamental para contextualizar la problemática abordada en este trabajo y para identificar las limitaciones estructurales y operativas que influyen en la seguridad del proceso de enganche. Los mecanismos de acople utilizados en remolques presentan una amplia diversidad en términos de principio de funcionamiento, capacidad de carga, nivel de automatización y grado de dependencia del operador, lo que se traduce en diferencias significativas en su comportamiento durante la operación, particularmente frente a vibraciones, impactos y variaciones de carga propias de la circulación.

En el mercado actual es posible identificar soluciones que abarcan desde acoples puramente mecánicos de operación manual, ampliamente difundidos en remolques livianos de bajo costo, hasta sistemas automáticos, neumáticos o hidráulicos diseñados para aplicaciones de alta capacidad y uso industrial. Sin embargo, esta diversidad tecnológica no se distribuye de manera homogénea entre los distintos segmentos de carga: mientras los sistemas de mayor capacidad incorporan mecanismos de bloqueo asistido y redundancias de

seguridad, los remolques livianos continúan dependiendo mayoritariamente de diseños tradicionales con escasa evolución funcional.

A partir de esta observación surge la siguiente pregunta orientadora: ¿Qué características de diseño distinguen a los distintos sistemas de acople existentes y cómo estas influyen en su seguridad, confiabilidad y dependencia operativa del usuario?

En las subsecciones siguientes se analizan las principales tipologías de sistemas de acople existentes, describiendo su funcionamiento general, aplicaciones típicas, beneficios y limitaciones, con la finalidad de entender cómo se comporta el mercado en este contexto.

2.2.1 Acople mecánico tipo bola 1-7/8"

- **Funcionamiento**

El acople mecánico tipo bola corresponde a uno de los sistemas de enganche más difundidos en remolques livianos y medianos, debido a su simplicidad constructiva, bajo costo y alto nivel de estandarización. Su principio de funcionamiento se basa en la interacción entre una bola de acero montada en el vehículo tractor y un receptáculo fijado al remolque, comúnmente denominado “coco”. La unión se asegura mediante un pestillo mecánico que se cierra sobre la bola, el cual es posteriormente bloqueado de forma manual mediante un pasador o seguro adicional.

El funcionamiento del sistema es completamente mecánico, sin la incorporación de componentes electrónicos, hidráulicos o neumáticos. Esta configuración responde a los criterios establecidos por la norma SAE J684, la cual define las dimensiones normalizadas de las bolas, los requisitos de resistencia del mecanismo y las condiciones generales de operación para acoples automotrices de este tipo (SAE International, 2011).



Figura 1 Acople mecánico tipo bola.

Fuente: Metalbert. (s.f.). <https://www.metalbert.cl>

- Uso y aplicaciones típicas

Este tipo de acople es ampliamente utilizado en vehículos livianos y medianos, tales como camionetas y SUV, y en remolques de carga moderada. Dependiendo del diámetro de la bola (1 7/8", 2" o 2 5/16") y de la clasificación del conjunto, estos sistemas pueden operar con cargas que alcanzan aproximadamente los 3.500 kg. Sus aplicaciones más frecuentes incluyen el transporte de carga general, remolques agrícolas de pequeña escala, transporte de embarcaciones y usos recreativos, donde se privilegia la facilidad de montaje y la compatibilidad con vehículos de uso cotidiano.

- Beneficios

Entre los principales beneficios del acople mecánico tipo bola destaca su simplicidad operativa, ya que, al no requerir fuentes de energía externa ni sistemas auxiliares, reduce la complejidad del conjunto y los costos asociados a instalación, operación y mantenimiento. Esta simplicidad contribuye a disminuir la cantidad de puntos potenciales de falla, lo que ha favorecido su adopción masiva en aplicaciones no industriales (U. S. Department of Transportation, 2018).

Asimismo, presenta un costo accesible en comparación con sistemas de acople más complejos. En el mercado nacional e internacional, los valores de ganchos de bola varían ampliamente según capacidad y fabricante, situándose como una de las alternativas más económicas disponibles para remolques livianos (CURT Manufacturing, 2023). Finalmente, su alta compatibilidad dimensional con el parque vehicular existente lo posiciona como el sistema predominante en este segmento, especialmente en configuraciones de bola de 1 7/8", ampliamente utilizadas en vehículos de menor capacidad (CONASET, 2023).

- Limitaciones y riesgos operativos

A pesar de sus ventajas, el acople mecánico tipo bola presenta limitaciones relevantes desde el punto de vista de la seguridad operacional. Bajo condiciones de carga constante o tras maniobras que generan elevadas cargas verticales, el mecanismo de pestillo puede experimentar atascos o dificultades de liberación, lo que obliga al operador a realizar intervenciones manuales adicionales, tales como golpear el mecanismo para lograr su desbloqueo. Estas prácticas inducen desgaste prematuro de los componentes y evidencian una dependencia significativa del usuario y del correcto estado del mecanismo.

Adicionalmente, la correcta operación del sistema depende en gran medida de que el operador verifique manualmente el cierre completo del pestillo y la correcta instalación del

seguro, lo que incrementa el riesgo de cierres incompletos o verificaciones insuficientes antes de la circulación. Esta dependencia del usuario, combinada con la ausencia de mecanismos de verificación automática del estado del acople, aumenta la probabilidad de desacople involuntario bajo condiciones dinámicas de operación (Jones & Miller, 2019).

2.2.1.1 Variantes y soluciones existentes en acoples tipo bola

Al analizar en mayor detalle la oferta disponible para acoples mecánicos tipo bola, se observa que las variaciones existentes dentro del segmento de remolques livianos no se concentran en modificaciones estructurales del mecanismo de acople propiamente tal, sino principalmente en soluciones accesorias orientadas a la seguridad pasiva o antirrobo. Esta situación es particularmente evidente en el caso de los acoples asociados a bolas de 1 7/8", donde la estandarización del diseño ha limitado la aparición de variantes que incorporen mejoras sustantivas en términos de seguridad operacional y reducción del error humano.

En el segmento correspondiente a bolas de 1 7/8", utilizado mayoritariamente en remolques livianos, la oferta de mercado muestra una alta homogeneidad en el diseño del mecanismo de traba, manteniéndose la configuración tradicional de pestillo mecánico con bloqueo manual. Los catálogos de fabricantes y distribuidores presentan esta medida como una opción estándar para rangos de carga liviana, sin destacar variantes reforzadas o configuraciones con modificaciones significativas en el principio de funcionamiento del acople.

En este contexto, las principales "variantes" identificadas no corresponden a cambios en el diseño estructural del acople, sino a la incorporación de dispositivos de bloqueo externos, comúnmente denominados *locks* o candados de seguridad. Estos sistemas actúan bloqueando mecánicamente la palanca de accionamiento del acople, impidiendo su apertura una vez instalada en el acople. Su objetivo principal es evitar desacoples accidentales por apertura involuntaria de la palanca y, en muchos casos, cumplir también una función antirrobo.



Figura 2 Sistema de bloqueo externo mediante candado para acople tipo bola.



Figura 3 Sistema de bloqueo externo mediante candado instalado.

Fuente: MercadoLibre Chile (s.f.).

En la imagen se distingue el dispositivo de seguridad adicional que bloquea la palanca del acople, impidiendo su apertura una vez instalada.

Desde una perspectiva de diseño, estos dispositivos no modifican el funcionamiento interno del mecanismo de traba, sino que actúan como un elemento adicional que depende de una correcta instalación por parte del operador. Si bien aportan una capa extra de seguridad, no eliminan la necesidad de verificar manualmente el correcto cierre del acople ni reducen de forma significativa la dependencia del usuario durante el proceso de enganche.

Adicionalmente, se identifican en el mercado algunos modelos de acoples tipo bola de 1 7/8" que incorporan mejoras ergonómicas en la palanca de accionamiento, tales como

manillas de mayor longitud o superficie de contacto para la mano. Estas modificaciones buscan facilitar la operación de cierre y apertura del mecanismo, especialmente bajo condiciones de carga o alineación imperfecta.



Figura 4 Acople tipo bola con palanca ergonómica de mayor longitud.

Fuente: Metalbert (s.f.). <https://www.metalbert.cl>

No obstante, estas mejoras no alteran la morfología general del acople ni el diseño del mecanismo de cierre, manteniéndose las mismas condiciones de funcionamiento y los mismos riesgos asociados a cierres incompletos o verificaciones insuficientes del estado del sistema.

2.2.2 Acople mecánico tipo bola 2", 2-5/16"

En contraste con lo observado en el segmento de 1 7/8", al analizar la oferta correspondiente a acoples para bolas de 2" y 2 5/16" se identifica una mayor diversidad de diseños reforzados y soluciones orientadas explícitamente a mejorar la seguridad y la robustez del sistema. En estos tamaños es común encontrar acoples fabricados mediante procesos de forja o fundición, mecanismos de bloqueo automático, indicadores visuales de cierre y, en aplicaciones específicas, sistemas de accionamiento asistido o automatizado.

Entre estas soluciones destacan los acoples tipo “pico de loro” o militares, los cuales incorporan un sistema de sujeción mediante dos superficies macizas de acero que envuelven la bola,

generando un cierre altamente robusto. Estos sistemas, si bien presentan un costo significativamente mayor y requieren modificaciones en el diseño del remolque para su integración, ofrecen un nivel de seguridad superior frente a cargas dinámicas y condiciones de operación exigentes.



Figura 5 Acople reforzado tipo “pico de loro” para bolas de mayor diámetro.

Fuente: Dunkay (s.f.) y MetalCar (s.f.).

En la imagen se muestra un sistema de acople de alta robustez utilizado en aplicaciones de mayor capacidad, caracterizado por un mecanismo de cierre envolvente y estructuralmente reforzado.

Además, en el mercado se identifican soluciones de acople que incorporan mecanismos de bloqueo automático del pestillo, representando un avance significativo respecto a los sistemas de cierre puramente manual utilizados en remolques livianos. Estos acoples mantienen el principio mecánico del sistema tipo bola, pero integran un mecanismo interno que asegura el cierre del pestillo de manera automática una vez que el receptáculo se posiciona correctamente sobre la bola.

En este tipo de sistemas, el diseño del mecanismo permite que el pestillo se accione por efecto del peso del remolque y de la geometría interna del acople, generando un bloqueo positivo sin requerir una acción manual adicional por parte del operador. En muchos modelos, este funcionamiento se complementa con indicadores visuales de estado, que permiten confirmar si el acople se encuentra correctamente cerrado, reduciendo la probabilidad de cierres incompletos o errores de omisión durante el proceso de enganche.



Figura 6 Acople mecánico tipo bola con sistema de bloqueo automático.

Fuente: Imagen referencial de fabricante / mercado internacional (s.f.).

En la imagen se muestra un ejemplo de acople para bolas de mayor diámetro que incorpora un mecanismo de cierre automático del pestillo, permitiendo asegurar el acople sin intervención manual adicional del operador.

Desde el punto de vista de la seguridad operacional, estos sistemas representan una mejora relevante, ya que reducen la dependencia del operador en la ejecución correcta de la secuencia de cierre y disminuyen la probabilidad de que el remolque quede parcialmente acoplado. No obstante, este tipo de soluciones se encuentra mayoritariamente restringido a aplicaciones de mayor capacidad de carga. La presencia de mecanismos de bloqueo automático en acoples de mayor diámetro evidencia que la tecnología necesaria para reducir el error humano en el proceso de acople ya existe y se encuentra disponible, aunque su aplicación no ha sido extendida de manera sistemática al segmento de remolques livianos. Esta situación refuerza la hipótesis de que la limitada evolución de los acoples de 1 7/8" no responde a restricciones técnicas fundamentales, sino a decisiones de diseño y de mercado, abriendo una oportunidad clara para el desarrollo de soluciones que integren principios de bloqueo automático y verificación del estado del acople en sistemas destinados a cargas menores.

El análisis de las variantes disponibles evidencia que, mientras los segmentos de mayor capacidad han incorporado avances significativos en términos de robustez, automatización y seguridad del acople, el segmento correspondiente a bolas de 1 7/8" presenta una escasa evolución en el diseño del mecanismo de traba, limitándose mayoritariamente a soluciones accesorias o mejoras ergonómicas menores. Esta disparidad revela una oportunidad clara de mejora en el diseño de

sistemas de acople para remolques livianos, particularmente orientada a reducir la dependencia del operador y a mejorar la seguridad operacional sin incrementar de forma significativa la complejidad ni el costo del sistema.

2.2.2 Sistemas automáticos / auto cierre (referentes)

Estos sistemas incorporan mecanismos que permiten asegurar el acople de manera automática una vez que el remolque entra en contacto con el vehículo tractor, reduciendo significativamente la probabilidad de error humano durante el proceso de enganche.

No obstante, este tipo de soluciones se encuentra mayoritariamente orientado a aplicaciones industriales, comerciales o de alta capacidad, presentando características de diseño, costos y requerimientos estructurales que limitan su adopción en el segmento de remolques livianos. A continuación, se analizan dos sistemas automáticos representativos presentes en el mercado, utilizando el mismo criterio de evaluación aplicado a las tipologías anteriores.

2.2.2.1 Acople automático tipo “Drop-on” (AL-KO AKS AutoLatch)

- **Funcionamiento**

Los sistemas de acople automático tipo *drop-on* están diseñados para permitir el enganche del remolque simplemente posicionándolo sobre la bola del vehículo tractor, sin necesidad de accionar manualmente un pestillo. El mecanismo interno detecta el correcto posicionamiento sobre la bola y activa automáticamente el cierre del sistema de traba mediante resortes y geometrías internas que generan un bloqueo positivo del acople.

En muchos modelos, este funcionamiento se complementa con indicadores visuales que informan al usuario si el acople se encuentra correctamente cerrado, aportando una verificación inmediata del estado del sistema. Este principio de funcionamiento busca eliminar pasos críticos del proceso de enganche y reducir la dependencia del operador (AL-KO, 2022).



Figura 7 Acople automático tipo “drop-on”.

Fuente: AL-KO Vehicle Technology (s.f.).

En la imagen se muestra un sistema de acople que se bloquea automáticamente al posicionarse sobre la bola, incorporando indicadores visuales de cierre.

- **Uso y aplicaciones típicas**

Este tipo de acople se utiliza principalmente en remolques de mayor capacidad, caravanas, remolques comerciales y aplicaciones donde se requiere un alto nivel de seguridad operacional y repetitividad en el proceso de enganche. Su uso es común en mercados europeos y en aplicaciones donde el remolque es acoplado y desacoplado con frecuencia.

- **Beneficios**

El principal beneficio de estos sistemas radica en la reducción del error humano, al eliminar la necesidad de accionar manualmente el pestillo de cierre. La incorporación de mecanismos de auto cierre y de indicadores de estado mejora la confiabilidad del sistema y facilita la verificación del acople, aumentando la seguridad durante la operación. Asimismo, estos sistemas ofrecen una experiencia de uso más intuitiva, especialmente para usuarios con menor conocimiento técnico (AL-KO, 2022).

- **Debilidades y limitaciones**

Entre las principales limitaciones de estos sistemas se encuentran su mayor complejidad constructiva y su costo elevado en comparación con acoples mecánicos tradicionales. Además, su

integración suele requerir remolques diseñados específicamente para soportar las cargas y geometrías asociadas al mecanismo automático, lo que restringe su aplicación en remolques livianos existentes.

2.2.2.2 Acople automático industrial tipo “Jaw coupling” Ringfeder / Rockinger

- **Funcionamiento**

Los sistemas automáticos tipo *Jaw coupling* utilizan un mecanismo de cierre mediante mordazas o garras que envuelven el elemento de enganche del vehículo tractor. El proceso de acople se realiza de manera automática cuando el remolque se posiciona correctamente, activando el cierre de las mordazas mediante resortes, actuadores neumáticos o hidráulicos, según la aplicación.

Estos sistemas están diseñados para soportar cargas elevadas y condiciones de operación exigentes, incorporando redundancias de seguridad y mecanismos de bloqueo que aseguran la unión incluso bajo solicitaciones dinámicas severas (Ringfeder Power Transmission, 2021).



Figura 8 Acople automático tipo “Jaw coupling”.

Fuente: Ringfeder Power Transmission (S. F.).

En la imagen se muestra un sistema de acople automático industrial basado en mordazas de cierre, utilizado en aplicaciones de alta capacidad.

- **Uso y aplicaciones típicas**

Estos sistemas se emplean principalmente en vehículos industriales, camiones, remolques pesados y aplicaciones logísticas donde la seguridad y la rapidez del acople son críticas. Su uso es habitual en entornos industriales, portuarios y de transporte pesado, donde la automatización del proceso de enganche permite mejorar la eficiencia operativa y reducir riesgos laborales.

- **Beneficios**

Entre sus principales beneficios se encuentra su alto nivel de seguridad estructural, la reducción casi total de la intervención humana durante el acople y la capacidad de operar bajo cargas elevadas y condiciones dinámicas extremas. Estos sistemas ofrecen un desempeño confiable y repetible, siendo ampliamente validados en aplicaciones industriales (Ringfeder Power Transmission, 2021).

- **Debilidades y limitaciones**

A pesar de sus ventajas, estos sistemas presentan limitaciones significativas para aplicaciones livianas, debido a su elevado costo, complejidad de instalación y requerimientos estructurales. Además, su tamaño y peso los hacen incompatibles con vehículos livianos y remolques de pequeña escala, restringiendo su uso a segmentos industriales y de alta capacidad.

El análisis de los sistemas automáticos de acople disponibles en el mercado evidencia que existen soluciones técnicamente maduras orientadas a reducir el error humano y aumentar la seguridad del proceso de enganche. Sin embargo, estas soluciones se concentran en segmentos de mayor capacidad y complejidad, dejando al segmento de remolques livianos mayoritariamente dependiente de sistemas de cierre manual tradicionales. Esta brecha refuerza la oportunidad de desarrollar un sistema de acople que incorpore principios de auto cierre y verificación del estado del acople, adaptados a las restricciones de costo, tamaño y compatibilidad propias del segmento liviano.

2.2.3 Sistemas neumáticos e hidráulicos (alta capacidad)

Dentro del conjunto de soluciones de acople existentes, los sistemas neumáticos e hidráulicos representan el nivel más alto de automatización y capacidad de carga disponible actualmente en el mercado. Estas tecnologías están orientadas a aplicaciones industriales y de alto tonelaje, donde las exigencias de seguridad, precisión y confiabilidad superan ampliamente los requerimientos típicos de

los remolques livianos. Su análisis resulta relevante en este trabajo no como soluciones directamente transferibles al segmento liviano, sino como referentes tecnológicos que evidencian cómo la automatización del acople permite reducir de manera sustancial la dependencia del operador y los riesgos asociados al error humano.

2.2.3.1 Sistema de acople neumático

- **Funcionamiento**

Los sistemas de acople neumático utilizan la energía del aire comprimido para accionar mecanismos de sujeción móviles que aseguran la unión entre el vehículo tractor y el remolque. El principio de funcionamiento se basa en la activación de cilindros neumáticos controlados por válvulas, los cuales generan el movimiento necesario para cerrar y mantener bloqueado el sistema de acople. Este tipo de configuración permite una fuerza de cierre constante y controlada, independiente de la intervención directa del operador.

El sistema requiere una conexión al circuito de aire comprimido del vehículo tractor, comúnmente integrado al sistema de frenos neumáticos, lo que garantiza la disponibilidad de presión durante la operación y permite la integración de funciones de seguridad adicionales, como bloqueos automáticos ante pérdidas de presión.



Figura 9 Sistema de acople neumático para remolques de alta capacidad.

Fuente: TTP Chile (s.f.).

Ejemplo de acople neumático accionado mediante aire comprimido, utilizado en aplicaciones industriales.

- **Uso y aplicaciones típicas**

Este tipo de sistema se emplea principalmente en camiones de alto tonelaje, maquinaria pesada y remolques industriales, donde las cargas transportadas superan ampliamente los 7.000 kg. Es común en sectores como minería, transporte de materiales a granel y aplicaciones logísticas de gran escala, donde el control dinámico del acople resulta crítico para la estabilidad del conjunto.

- **Beneficios**

Entre sus principales beneficios se encuentra su alta capacidad de carga, pudiendo soportar cargas superiores a los 25.000 kg, dependiendo del diseño y fabricante (SAF-Holland, 2023). Además, la utilización de aire comprimido permite mantener una presión constante sobre el mecanismo de cierre, lo que contribuye a reducir vibraciones y holguras durante la operación. La integración con sistemas de freno neumático mejora el comportamiento dinámico del conjunto y cumple con normativas internacionales orientadas a la estabilidad y seguridad del remolque (ISO 3853).

- **Debilidades y limitaciones**

A pesar de sus ventajas, los sistemas neumáticos presentan limitaciones significativas para aplicaciones livianas. Requieren un mantenimiento periódico de válvulas, mangueras y sellos, además de una infraestructura neumática inexistente en vehículos livianos. Asimismo, su costo elevado, que puede oscilar entre 800.000 y 2.500.000 CLP según configuración y fabricante, los hace inviables para remolques de pequeña escala (JOST, 2023).

2.2.3.2 Sistema de acople hidráulico de alta capacidad

- **Funcionamiento**

Los sistemas de acople hidráulico emplean fluido hidráulico presurizado para accionar mecanismos de bloqueo automático de alta precisión. Un actuador hidráulico controla el movimiento del sistema de cierre, permitiendo ajustes controlados y una fuerza de sujeción elevada. En muchos casos, estos sistemas incorporan control remoto, lo que permite accionar el acople directamente desde la cabina del vehículo tractor.



Figura 10 Sistema de acople hidráulico de alta capacidad.

Fuente: AXF Chile (s.f.).

Sistema de acople accionado mediante actuadores hidráulicos, utilizado en aplicaciones de alta exigencia.

- Uso y aplicaciones típicas

Este tipo de sistemas se aplica en sectores donde se requiere alta precisión y control, tales como minería subterránea, transporte de materiales peligrosos y remolques de alto tonelaje. Su capacidad de ajuste milimétrico permite compensar desniveles y asegurar un acople confiable incluso en condiciones operativas complejas.

- Beneficios

Entre sus beneficios destacan la precisión de ajuste, con tolerancias del orden de ± 5 mm, lo que reduce esfuerzos indebidos durante el acople (Hydrauliska, 2023). Asimismo, la utilización de materiales de alta resistencia, como aceros inoxidable y sellos especializados, otorga una elevada durabilidad frente a ambientes corrosivos y exigentes (Bosch Rexroth, 2023).

- Debilidades y limitaciones

Las principales limitaciones de estos sistemas radican en su dependencia energética, ya que requieren alimentación eléctrica o hidráulica continua, y en su costo elevado, que puede situarse entre 1.200.000 y 4.000.000 CLP, dependiendo de la aplicación. Estas

características restringen su uso a contextos industriales, haciéndolos impracticables para el segmento de remolques livianos.

El análisis de los sistemas neumáticos e hidráulicos evidencia que la automatización del proceso de acople permite alcanzar niveles superiores de seguridad, confiabilidad y control, reduciendo de manera significativa la intervención humana. Sin embargo, las exigencias de infraestructura, complejidad y costo asociadas a estas tecnologías limitan su aplicación a escenarios de alta capacidad, reafirmando la brecha existente entre las soluciones industriales avanzadas y los sistemas utilizados en remolques livianos.

2.3 COMPARACIÓN DE MERCADO

El análisis individual de las tipologías de sistemas de acople existentes permite avanzar hacia una comparación transversal de las soluciones disponibles en el mercado, considerando variables técnicas, operativas y de uso que inciden directamente en la seguridad del proceso de enganche. Esta comparación resulta particularmente relevante para el segmento de remolques livianos, donde la oferta se concentra mayoritariamente en sistemas de operación manual, a diferencia de los segmentos de mayor capacidad, en los que se observa una adopción progresiva de mecanismos automáticos y de verificación del estado del acople.

Para estructurar esta comparación, se consideran factores asociados al principio de funcionamiento, nivel de automatización, dependencia del operador, complejidad del sistema y compatibilidad con remolques livianos. Estos factores permiten evaluar no solo las capacidades técnicas de cada sistema, sino también su adecuación a las condiciones reales de uso y a las restricciones propias del mercado objetivo.

A continuación, se presenta una tabla comparativa que sintetiza las principales características de los sistemas de acople analizados en las secciones anteriores, con el fin de visualizar de manera integrada las brechas existentes entre las soluciones disponibles y las necesidades del segmento liviano.

Tip o de sistema	Tip de vel automatiza ción	Ni de dencia operador	Depen del ejidad sistema	Compl del sistema	Capa de bilidad remolques livianos	Compati con
Acople mecánico tipo bola (manual)	Acople tipo bola con bloqueo automático	Baja	Alta	Baja	Baja a media	Alta
Acople tipo bola con bloqueo automático	Acople tipo bola con bloqueo automático	Me	Media	Media	Medi a	Limitada
Sistema automático tipo drop-on	Sistema automático tipo drop-on	Me	Baja	Media	Medi a-alta	Baja
Sistema neumático	Sistema neumático	Alt	Muy baja	Alta	Alta	Nula
Sistema hidráulico	Sistema hidráulico	Alt	Muy baja	Alta	Muy alta	Nula
Sistema automático mecánico reforzado (Ultra-Tow XTP)	Sistema automático mecánico reforzado (Ultra-Tow XTP)	Me	Baja -alta	Media	Alta	Muy baja

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis desarrollado en las secciones 2.2.1 a 2.2.3.

La tabla evidencia una relación directa entre el nivel de automatización del sistema y la reducción de la dependencia del operador, lo que se traduce en una mejora potencial de la seguridad operacional al disminuir la probabilidad de error humano durante el proceso de acople. Sin embargo, también se observa que, a medida que aumenta el nivel de automatización, se incrementan la complejidad del sistema, el costo y los requerimientos estructurales asociados, factores que limitan su aplicación en el segmento de remolques livianos.

En este contexto, el segmento de remolques livianos presenta una situación particular: los sistemas más compatibles con este tipo de aplicación corresponden mayoritariamente a soluciones de operación manual, las cuales exhiben el mayor nivel de dependencia del operador y presentan una carencia de mecanismos de verificación automática del estado del acople. En contraste, los sistemas que incorporan soluciones efectivas para reducir el error humano se encuentran orientados a aplicaciones de mayor capacidad, resultando poco viables para su implementación directa en remolques livianos debido a su complejidad y exigencias técnicas.

Esta comparación pone de manifiesto una oportunidad de diseño clara: el desarrollo de un sistema de acople para remolques livianos que incorpore principios de autocierre o verificación objetiva del estado del acople, propios de soluciones de mayor capacidad, pero reinterpretados bajo criterios de simplicidad, compatibilidad dimensional y costo coherente con el mercado objetivo. En este sentido, la oportunidad no radica en replicar sistemas industriales complejos, sino en adaptar sus principios funcionales a las condiciones y restricciones propias del segmento liviano.

2.4 SÍNTESIS DEL DIAGNÓSTICO

El desarrollo del presente capítulo tuvo como objetivo responder a la siguiente pregunta orientadora del diagnóstico: ¿Qué se conoce actualmente, desde el punto de vista normativo, técnico y de mercado, sobre los sistemas de acople para remolques, y en qué aspectos específicos se localiza el problema que justifica un rediseño orientado a la seguridad operacional?

A partir del análisis del contexto normativo nacional e internacional, del estudio de las tipologías de sistemas de acople existentes y de la comparación de soluciones disponibles en el mercado, se identifica que los mayores avances en materia de seguridad, automatización y verificación del estado del acople se han desarrollado principalmente en sistemas destinados a remolques de mayor capacidad. Estos sistemas incorporan mecanismos de autocierre, redundancias de seguridad y medios de verificación objetiva que reducen de manera significativa la dependencia del operador y la probabilidad de error humano durante el proceso de acople.

En contraste, el segmento de remolques livianos continúa dependiendo mayoritariamente de sistemas de operación manual, caracterizados por una alta dependencia del operador para ejecutar y verificar correctamente acciones críticas de aseguramiento del acople. La ausencia de mecanismos automáticos o de verificación objetiva del estado del cierre constituye una carencia funcional específica, ya que expone al sistema a errores de omisión o cierres incompletos que no son detectados durante la verificación estática previa al uso, pero que pueden manifestarse durante la operación del conjunto vehículo–remolque.

De este modo, el diagnóstico no evidencia una falta general de soluciones técnicas, sino una brecha claramente identificable entre el nivel de desarrollo alcanzado por los sistemas de acople de mayor capacidad y las soluciones disponibles para remolques livianos. Esta brecha se manifiesta en la carencia de mecanismos orientados a reducir la dependencia del operador y a permitir una verificación objetiva del estado del acople, configurando el problema central que justifica el desarrollo de una propuesta de rediseño orientada a mejorar la seguridad operacional en este segmento.

2.4.1 Problema principal y justificación del rediseño

El diagnóstico desarrollado en el presente capítulo permite identificar que el problema central asociado a los sistemas de acople utilizados en remolques livianos corresponde al incremento del riesgo de desacople involuntario en remolques livianos, asociado a la dependencia del operador en el aseguramiento del acople.

El análisis de las soluciones predominantes evidencia que dicho riesgo no se origina principalmente en fallas estructurales de los componentes, sino en la alta dependencia del operador para ejecutar y verificar correctamente una secuencia de acciones manuales críticas durante el proceso de acople. La omisión o ejecución incompleta de estas acciones puede derivar en cierres parciales no detectados, los cuales no siempre son evidenciados durante la verificación estática previa al uso.

La ausencia de mecanismos que permitan confirmar de manera objetiva el estado del acople constituye una carencia funcional relevante, ya que impide mitigar errores humanos no intencionados y aumenta la probabilidad de desacople involuntario una vez iniciada la circulación del conjunto vehículo–remolque, fenómeno ampliamente documentado en la literatura asociada a factores humanos y seguridad operacional (Reason, 2000).

En este contexto, la problemática abordada no se explica por la inexistencia de soluciones técnicas en términos generales, sino por una brecha en la aplicación de principios de diseño orientados a la reducción del error humano en el segmento de remolques livianos. Esta brecha justifica el desarrollo de una propuesta de rediseño cuyo foco sea disminuir la dependencia del operador mediante la incorporación de mecanismos que permitan un acople que requiera una menor dependencia del usuario, en coherencia con el objetivo general planteado en este trabajo.

2.4.2 Criterios iniciales de evaluación del rediseño

A partir del diagnóstico desarrollado en este capítulo, que incluyó la revisión normativa y técnica, el análisis de tipologías y la comparación de soluciones comerciales (ver Tabla 1), se identificó que, en el segmento de remolques livianos, las soluciones predominantes son mayoritariamente manuales, con alto nivel de dependencia del operador y carencia de verificación objetiva del estado del cierre, mientras que las soluciones con mayor automatización y menor dependencia se asocian a sistemas de mayor complejidad y menor compatibilidad con remolques livianos. En base a estos hallazgos, se definen los siguientes criterios iniciales de diseño como guía para orientar el rediseño del sistema de acople:

1. Reducir la dependencia del operador en acciones críticas de aseguramiento.

Considerando que el riesgo de desacople involuntario se incrementa cuando el operador debe ejecutar y verificar múltiples acciones manuales críticas, el rediseño debe disminuir la cantidad de manipulaciones críticas y simplificar la secuencia operativa asociada al acople y desacople. La evaluación se realizará de manera comparativa mediante indicadores simples derivados del diagnóstico, considerando, el número de acciones críticas que requieren intervención directa del operador y el número total de pasos operativos necesarios para completar el proceso de acople y desacople, en relación con un sistema manual tradicional

2. Incorporar verificación objetiva del estado del acople.
Dado que el diagnóstico evidencia una carencia funcional en mecanismos de confirmación del cierre en sistemas livianos, el rediseño debe incluir un medio de verificación objetiva del estado del enganche (por ejemplo, autocierre con condición verificable, indicador mecánico

de estado o señal inequívoca de cierre), de modo que el operador pueda confirmar el aseguramiento del sistema sin depender exclusivamente de una inspección subjetiva.

3. Mantener compatibilidad con estándares dimensionales y configuraciones de uso masivo. Para asegurar aplicabilidad en el segmento objetivo, el sistema propuesto debe ser compatible con los estándares dimensionales y configuraciones predominantes en remolques livianos (especialmente acoples tipo bola), evitando soluciones que requieran modificaciones estructurales mayores en el remolque o el vehículo tractor, o que limiten la interoperabilidad con el parque existente.
4. Asegurar un nivel de complejidad y costo coherente con el segmento liviano. La comparación de mercado muestra que el aumento de automatización suele implicar mayor complejidad y costos, reduciendo la viabilidad de adopción en remolques livianos. Por ello, el rediseño debe equilibrar la mejora de seguridad operacional con criterios de simplicidad constructiva, factibilidad de manufactura, facilidad de mantenimiento y costo compatible con el mercado objetivo.

Estos criterios permiten orientar el desarrollo del concepto de solución hacia un acople liviano que incorpore principios funcionales de autocierre y verificación, sin trasladar al segmento liviano la complejidad propia de sistemas industriales de mayor capacidad.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

El presente capítulo tiene como propósito avanzar desde el diagnóstico del escenario existente hacia la formulación precisa del problema de diseño, estableciendo con claridad qué aspectos del sistema de acople para remolques livianos requieren ser abordados mediante el rediseño y bajo qué condiciones debe evaluarse una solución alternativa.

La pregunta que guía este capítulo es: ¿Cuál es el problema específico que debe resolver el rediseño del sistema de acople para remolques livianos con el fin de reducir la probabilidad de desacople involuntario y disminuir la dependencia del operador, considerando las condiciones reales de uso y las restricciones técnicas del segmento?

A partir de la definición general del problema establecida en el capítulo anterior, este capítulo se organiza en una serie de secciones destinadas a profundizar en la comprensión del fenómeno de desacople involuntario desde una perspectiva técnica y operativa. En primer lugar, se identifican y clasifican los distintos tipos de problemas que pueden afectar al sistema de acople, con el fin de reconocer las variables críticas involucradas en su funcionamiento. Posteriormente, se delimita el problema específico a intervenir y, finalmente, se establecen los requerimientos y restricciones que condicionarán el desarrollo del sistema propuesto.

3.1 TIPOS DE PROBLEMAS

Con el objetivo de avanzar hacia una definición precisa del problema de diseño, resulta necesario identificar y clasificar las principales problemáticas que pueden presentarse en los sistemas de acople para remolques durante su operación. Estas problemáticas no responden a una única causa, sino que se originan a partir de la interacción entre factores técnicos, operativos y de uso, los cuales, en conjunto, pueden derivar en situaciones de desacople no intencionado.

En este contexto, a continuación, se presenta un desglose de los principales tipos de problemas y de las causas potenciales asociadas al proceso de acople y desacople de remolques, considerando tanto el funcionamiento del mecanismo como las condiciones reales de operación. Esta clasificación constituye el punto de partida para la posterior selección del problema a intervenir y para la definición de los criterios que guiarán el rediseño del sistema.

1. Problemas Mecánicos en la Unión y Punto de Contacto

- Deformación del componente envolvente de la bola:

El desgaste o deformación del receptáculo de la bola genera holguras que disminuyen la capacidad de retención del mecanismo. La pérdida de ajuste entre la bola y el acoplador

aumenta directamente el riesgo de desacople bajo solicitaciones variables propias de la operación del conjunto vehículo–remolque (*Principios de mecánica de contacto; SAE J684*)

- Corrosión y fatiga de materiales:

La exposición prolongada a ambientes corrosivos, humedad o agentes químicos acelera el deterioro de los componentes metálicos. Sumado a cargas cíclicas, esto puede generar grietas por fatiga y fallos prematuros en el sistema estructural del acople. (*Inspenet, s. f.*)

- Afectación del cierre por condiciones climáticas adversas:

Hielo, barro, nieve o polvo pueden obstaculizar el movimiento interno del mecanismo de traba, dificultando el cierre completo y reduciendo la fricción necesaria para asegurar el bloqueo. (*Yamazen, s. f., mecánica de contacto*)

- Apriete deficiente en el seguro o traba

El aflojamiento del seguro ya sea por desgaste o por un apriete inadecuado por parte del operador, reduce la rigidez del sistema y aumenta la probabilidad de liberación involuntaria durante la operación, especialmente en ausencia de mecanismos de verificación objetiva del cierre.

- Omisión del paso de aseguramiento del seguro:

La falta de colocación del pasador o cierre final del mecanismo es una de las causas más frecuentes de fallas operativas, asociada a sobrecarga de pasos, prisa o poca iluminación. (*Norman, 2013; Reason, 2000*)

- Presión desigual en zonas de contacto:

Ajustes incorrectos o deformaciones locales generan presiones desiguales en las superficies en contacto, provocando desgaste acelerado y pérdida de alineación. (*Yamazen, s. f.*)

- Vibraciones y cargas dinámicas excesivas:

Las vibraciones producidas durante el tránsito, especialmente en caminos irregulares, pueden inducir aflojamiento progresivo cuando el mecanismo no ha sido correctamente asegurado o presenta desgaste previo. En ausencia de un cierre verificado, la vibración puede provocar la salida progresiva de la traba de su asiento.

- Problemas en uniones por interferencia:

Un ajuste inadecuado en uniones por interferencia genera tensiones internas irregulares y puede comprometer la estabilidad del ensamblaje. (*Ingeniería Samat, s. f.*)

- Contaminación por partículas externas:

Ingresos de piedras pequeñas, polvo o restos metálicos en el punto de cierre pueden impedir un contacto plano y homogéneo, generando cierres parciales que pueden ceder bajo vibración.

2. Problemas por Mala Distribución de Carga (*Blue Ox, s. f.*)

- Sobrecarga en el frontis del remolque:

Una distribución excesiva de peso sobre la lanza afecta la estabilidad y genera un comportamiento oscilatorio mayor, aumentando el riesgo de esfuerzos anómalos en el punto de acople.

- Diferencias de altura entre vehículo y remolque:

Cuando la línea de tiro queda inclinada, el remolque transmite cargas en ángulo, reduciendo el contacto efectivo en el mecanismo de acople y favoreciendo fatiga y holguras.

- Ausencia de cultura de carga segura:

La falta de capacitación en el aseguramiento adecuado de carga puede generar esfuerzos imprevistos en el sistema de traba, especialmente ante frenadas o maniobras bruscas. (*T21 México, 2021*)

3. Fallas en Componentes Críticos

- Pérdida de sujeción del sistema bajo cargas dinámicas:

Terrenos irregulares generan sollicitaciones verticales y laterales que actúan sobre el mecanismo. En presencia de errores operativos, como cierres incompletos, estas sollicitaciones pueden provocar la liberación parcial o total del acople.

- Soldaduras defectuosas en estructuras:

Porosidades, falta de penetración o inclusiones pueden comprometer la resistencia y generar fallas en puntos sometidos a altos esfuerzos. (*RapidDirect, s. f.*)

- Materiales de baja calidad:

El uso de aleaciones no certificadas puede resultar en componentes con menor resistencia mecánica o dureza, aumentando la probabilidad de roturas o deformaciones bajo carga.

4. Problemas Operativos y Logísticos (*Nationwide Trailers, s. f.*), (*Reason, 2000; Norman, 2013*)

- Falta de automatización en procesos de carga/descarga:

La ausencia de sistemas automáticos incrementa la dependencia del operador durante el proceso de acople y desacople, aumentando el tiempo de operación y la probabilidad de errores humanos.

- Ineficiencia operativa en el aseguramiento del acople:

Los sistemas manuales requieren múltiples pasos: posicionar, bajar, ajustar, bloquear y verificar. Este proceso es más lento y depende fuertemente de la experiencia y fuerza del operador, incrementando el riesgo de omisiones o cierres incompletos.

- Subutilización de remolques por falta de mantenimiento:

Suspensiones en mal estado, pernos sueltos o sistemas de freno deteriorados reducen la capacidad operativa y elevan los esfuerzos sobre el punto de acople.

- Sensores de freno o presión defectuosos:

Fallas en sensores neumáticos pueden impedir una correcta respuesta del sistema de frenado, generando cargas inesperadas sobre el mecanismo. (*Bendix, s. f.*)

- Omisión de pasos operativos en el acople:

Los acoples tradicionales requieren entre 4 y 6 acciones manuales consecutivas. Según la literatura en ergonomía cognitiva, cada paso adicional aumenta la probabilidad de errores de omisión, especialmente en tareas repetitivas o realizadas bajo presión de tiempo. La falta de cierre del seguro, la omisión del pasador o la ausencia de verificación final son fallas directamente vinculadas a la carga cognitiva del operador.

- Fallos por secuencia incorrecta:

La ejecución de pasos en desorden —por ejemplo, levantar la manilla antes de posicionar correctamente la bola— puede generar cierres parciales que no son visibles hasta que el sistema es sometido a carga dinámica. Este tipo de error es común en procedimientos que no tienen guías físicas o retroalimentación automática.

- Sobrecarga operativa por complejidad del mecanismo:

Los sistemas manuales requieren atención dividida: abrir, sostener, alinear, empujar, bloquear, verificar y asegurar. Esta multiplicidad de acciones incrementa la carga de trabajo mental y física. Reason (2000) señala que las tareas con alta complejidad procedimental tienen una probabilidad significativamente mayor de presentar errores no intencionales (*slips* y *lapses*).

- Dependencia de experiencia previa del operador:

La correcta fijación del acople depende de la destreza del usuario, su conocimiento de los pasos y su capacidad para detectar fallos. Operadores sin capacitación formal son más susceptibles a ejecutar cierres parciales o no percibir señales sutiles de acople defectuoso.

- Fatiga y condiciones ambientales adversas:

Factores como cansancio, apuro, baja visibilidad, lluvia o frío aumentan la probabilidad de que el operario no complete el aseguramiento del mecanismo o no perciba anomalías en las piezas móviles. En entornos reales, estas condiciones amplifican el riesgo de desacople accidental.

5. Riesgos de Seguridad

- Desenganches repentinos por fallos en el seguro:

La falta de aseguramiento adecuado o la fatiga de componentes puede provocar liberación accidental del remolque, un evento documentado en múltiples accidentes. (*Joe Zaid & Associates, s.f.*)

- Daños por corrosión en ambientes hostiles:

La corrosión reduce la sección resistente y acelera la falla de componentes críticos.

- Accidentes por falta de capacitación en operadores:

La norma ISO 45001 destaca que los actos inseguros producto de capacitación insuficiente aumentan significativamente los incidentes.

6. Problemas Normativos y de Cumplimiento (*Cadena SER, 2025*)

- Incumplimiento de estándares DOT y regulaciones vigentes:

Desatender normas de carga, iluminación y seguridad del enganche puede derivar en sanciones y comprometer la seguridad vial.

- Multas por sobrepeso o carga mal asegurada:

Transportar cargas sobre el límite o sin asegurar adecuadamente aumenta el riesgo de pérdida de control y penalizaciones legales.

7. Desafíos en Entornos Específicos

- Minería: Sobrecarga y desgaste acelerado:

Ambientes de alta carga y vibraciones extremas generan desgaste acelerado en el mecanismo del acople.

- Transporte marítimo/agrícola: Falta de sistemas de monitoreo:

La ausencia de rastreo satelital o monitoreo continuo limita la detección temprana de anomalías estructurales.

- Zonas remotas: Falta de mantenimiento preventivo:

La distancia a centros de servicio puede ocasionar acumulación de fallos menores que evolucionan a fallos críticos.

3.2 PROBLEMA IDENTIFICADO

A partir del análisis de los distintos tipos de problemas asociados a los sistemas de acople utilizados en remolques livianos, se identificaron factores de riesgo de naturaleza mecánica, operativa, normativa y de uso.

Este problema se manifiesta como la liberación parcial o total del mecanismo de fijación del acople una vez iniciado el desplazamiento del conjunto vehículo–remolque. El análisis desarrollado evidencia que dicho fenómeno no se origina principalmente en fallas estructurales de los componentes, sino en la alta dependencia del operador para ejecutar y verificar correctamente una secuencia de acciones manuales críticas durante el proceso de acople. La omisión o ejecución incompleta de estas acciones puede dar lugar a cierres parciales que no son detectados durante la verificación estática previa al uso.

En sistemas de operación manual, la ausencia de mecanismos que permitan confirmar de manera objetiva el estado del cierre dificulta la detección temprana de estas condiciones, incrementando la probabilidad de desacople involuntario durante la operación. Antecedentes técnicos y reportes de la industria señalan que la combinación de cierres incompletos y solicitudes propias del uso incrementa significativamente la probabilidad de liberación del acople, especialmente en sistemas que dependen de la correcta verificación por parte del usuario (RapidDirect, s. f.; Yamazen, s. f.).

En este contexto, el problema identificado no corresponde a una falla puntual de un componente específico ni a condiciones externas de operación, sino a una carencia de diseño orientado a la reducción del error humano en el aseguramiento del acople, particularmente en el segmento de remolques livianos, donde predominan soluciones manuales sin verificación objetiva del estado del cierre.

En síntesis, el problema que se investiga en este trabajo corresponde al INCREMENTO DEL RIESGO DE DESACOPLE INVOLUNTARIO EN REMOLQUES LIVIANOS, ASOCIADO A LA DEPENDENCIA DEL OPERADOR EN EL ASEGURAMIENTO DEL ACOPLE.

3.2.1 MOTIVACIÓN DE LA SELECCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La identificación de la problemática central se fundamenta en el diagnóstico desarrollado en el Capítulo I, el cual integró revisión normativa, análisis de tipologías y comparación de soluciones disponibles en el mercado (Tabla 1). Dicho diagnóstico evidencia que, en el segmento de remolques livianos, predominan sistemas de acople de operación manual, caracterizados por una alta

dependencia del operador para ejecutar y verificar correctamente acciones críticas de aseguramiento. En contraste, las soluciones que reducen esta dependencia mediante mecanismos asistidos o automáticos se concentran en aplicaciones de mayor capacidad, con niveles de complejidad y compatibilidad que dificultan su adopción directa en remolques livianos.

Finalmente “el incremento del riesgo de desacople involuntario en remolques livianos, asociado a la dependencia del operador en el aseguramiento del acople” se explica por la necesidad de ejecutar una secuencia de acciones manuales cuyo incumplimiento o ejecución incompleta puede derivar en cierres parciales no detectados, condición que incrementa el riesgo de pérdida de sujeción durante la operación del conjunto vehículo–remolque.

3.3 RESTRICCIONES Y REQUISITOS DE DISEÑO

Resulta necesario definir las restricciones y requisitos que condicionarán el desarrollo de la propuesta de rediseño. Estos elementos permiten traducir el diagnóstico y la formulación del problema en criterios técnicos concretos para orientar la generación y evaluación de la solución.

Los requisitos de diseño se enfocan en reducir la dependencia del operador durante el proceso de aseguramiento, mediante la disminución de acciones manuales críticas y la simplificación de la secuencia operativa del acople, sin comprometer la seguridad operacional. Las restricciones de diseño, en tanto, se relacionan con compatibilidad dimensional y de uso con sistemas estandarizados del segmento liviano, así como con límites de complejidad técnica y costo coherentes con el mercado objetivo. En las subsecciones siguientes se detallan estas restricciones y requisitos, estableciendo el marco de diseño para el desarrollo del sistema propuesto.

3.3.1 RESTRICCIONES NORMATIVAS Y DE COMPATIBILIDAD

El rediseño del sistema de acople propuesto se encuentra condicionado por un conjunto de restricciones normativas y de compatibilidad, las cuales delimitan el espacio de solución y aseguran la viabilidad técnica, legal y operativa del sistema dentro del segmento de remolques livianos. Estas restricciones se derivan de la revisión normativa desarrollada en

el Capítulo I, así como de las condiciones de uso y configuración predominantes en el mercado nacional.

Desde el punto de vista normativo, el sistema de acople debe cumplir con los requisitos establecidos para dispositivos de enganche de remolques livianos, tanto a nivel nacional como internacional. En el contexto chileno, se consideran las exigencias aplicables a remolques definidas en la normativa vigente, mientras que a nivel internacional se adoptan como referencia los criterios establecidos en normas ampliamente utilizadas en la industria, tales como SAE J684 e ISO 1103, las cuales definen requisitos de geometría, compatibilidad dimensional y resistencia mecánica para acoples tipo bola. Estas normas constituyen una restricción ineludible para el diseño del sistema, ya que condicionan directamente las dimensiones, interfaces y capacidades de carga admisibles.

En particular, el sistema de acople debe ser compatible con bolas de diámetro nominal 1 7/8” (47,6 mm), configuración predominante en remolques livianos, respetando las tolerancias geométricas establecidas en ISO 1103 y SAE J684. Asimismo, el rediseño no debe alterar la arquitectura general de fijación a la lanza del remolque, manteniendo la posibilidad de montaje mediante configuraciones estándar utilizadas en el mercado nacional, tales como fijación atornillada o soldada sobre perfiles de sección rectangular habituales en este tipo de aplicaciones.

Desde la perspectiva de la compatibilidad de uso, el sistema propuesto debe integrarse al parque de remolques livianos existente sin requerir modificaciones estructurales mayores en el remolque ni en el vehículo tractor. Esta restricción busca asegurar la retrocompatibilidad del diseño y evitar soluciones que, aun siendo técnicamente viables, limiten su adopción por exigir cambios significativos en configuraciones actualmente utilizadas en el mercado. En coherencia con ello, el rediseño se plantea a partir de una configuración de acople existente, sobre la cual se introducen las modificaciones necesarias para abordar el problema identificado.

.

.

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Una vez definida la problemática de diseño —Incremento del riesgo de desacople involuntario en remolques livianos, asociado a la dependencia del operador en el aseguramiento del acople— y establecidos los parámetros, restricciones y requisitos que condicionan el sistema de acople, se hace necesario aplicar metodologías de análisis sistemáticas que permitan comprender cómo esta problemática se manifiesta en el funcionamiento real del producto y de qué manera puede ser abordada desde el diseño.

La pregunta que guía este capítulo es: ¿Qué metodologías permiten identificar y comprender las causas técnicas y operativas que conducen a la pérdida de sujeción del sistema de traba bajo condiciones dinámicas, y cómo sus resultados orientan la toma de decisiones en el proceso de rediseño del acople?

La pérdida de sujeción del sistema de traba bajo condiciones dinámicas se origina en la interacción entre el comportamiento mecánico del acople, la secuencia de acciones requeridas durante su operación y las condiciones reales de uso del conjunto vehículo–remolque. En consecuencia, el análisis del problema requiere metodologías que permitan descomponer el sistema, identificar relaciones causales entre variables técnicas y operativas y priorizar aquellos factores que inciden de manera más significativa en el riesgo de desacople involuntario.

En este capítulo se aplican metodologías de análisis orientadas a: (i) identificar y estructurar las causas asociadas a la pérdida de sujeción del acople, (II) evaluar y priorizar los modos de falla críticos del sistema existente, y (III) establecer una base objetiva para la definición de requisitos y criterios de diseño del sistema propuesto. Estas metodologías permiten analizar el funcionamiento del sistema actual y vincular los resultados obtenidos con decisiones de diseño concretas, asegurando trazabilidad entre el diagnóstico, el análisis y el desarrollo de la solución.

En las secciones siguientes se presentan las metodologías seleccionadas —Ishikawa, ANFE y QFD— describiendo su aplicación específica en el contexto de este trabajo y su rol dentro del proceso de análisis y desarrollo del nuevo sistema de acople.

4.1 METODOLOGÍAS Y SU APLICACIÓN

Con el objetivo de abordar de manera sistemática la problemática identificada y orientar el proceso de rediseño del sistema de acople, se selecciona un conjunto de metodologías de análisis complementarias. Estas metodologías permiten comprender el problema desde distintas perspectivas, identificar relaciones causales entre variables técnicas y operativas, y priorizar los aspectos del diseño que inciden de manera más significativa en la pérdida de sujeción del sistema de traba bajo condiciones dinámicas.

La aplicación de múltiples metodologías responde a la necesidad de analizar el sistema no solo desde su funcionamiento mecánico, sino también desde su interacción con el usuario y las condiciones reales de operación.

El diagrama de Ishikawa se utiliza como una herramienta inicial de análisis causal, permitiendo identificar y organizar las posibles causas del problema en categorías estructuradas, tales como diseño, operación, entorno y usuario. Su aplicación busca visualizar de manera clara las relaciones entre factores y reconocer aquellos elementos que requieren un análisis más profundo.

Posteriormente, la matriz causa–problema–impacto se emplea para evaluar y jerarquizar las causas identificadas, estableciendo su relación directa con la problemática seleccionada y su impacto en la seguridad operacional del sistema. Esta matriz permite priorizar las variables más críticas y enfocar los esfuerzos de análisis en aquellas con mayor incidencia en la pérdida de sujeción del acople.

El análisis modal de fallos y efectos (AMFE/ANFE) del sistema actual se aplica con el propósito de identificar los modos de falla asociados al mecanismo de acople, evaluar su severidad, ocurrencia y detectabilidad, y determinar el nivel de riesgo asociado a cada uno. Esta metodología permite cuantificar el impacto de los fallos y establecer una base objetiva para la comparación entre el sistema existente y las propuestas de rediseño.

Finalmente, el despliegue de la función de calidad (QFD) se utiliza para traducir los requerimientos técnicos y operativos derivados de los análisis previos en criterios de diseño concretos. Esta herramienta permite relacionar las necesidades identificadas con características técnicas del sistema, asegurando coherencia entre el diagnóstico del problema, los requisitos del diseño y las soluciones evaluadas.

En conjunto, la aplicación de estas metodologías permite estructurar el proceso de análisis del sistema de acople actual, priorizar los factores críticos asociados a la problemática seleccionada y fundamentar las decisiones de diseño que se desarrollan en los capítulos siguientes.

A continuación, cada metodología es abordada en detalle en los apartados posteriores, explicando su aplicación específica y los resultados obtenidos en el contexto del presente trabajo.

4.1.1 Diagrama de Ishikawa

A continuación, se presenta el Diagrama de Ishikawa, una herramienta de análisis causa-efecto que permite descomponer sistemáticamente un problema en sus factores contribuyentes principales para identificar las causas raíz de forma clara y estructurada (Ishikawa, 1985). En este proyecto se empleará para analizar la liberación accidental del mecanismo de traba bajo condiciones dinámicas inducidas por variables operativas, clasificando las variables con el fin de orientar el rediseño hacia la reducción del riesgo de desacople.

4.1.1.1 Categorías y posibles causas

➤ Materiales

- Corrosión de componentes metálicos: La corrosión reduce la sección eficaz de pasadores y superficies de contacto, debilitando el bloqueo y facilitando su falla bajo carga vibratoria (Rodríguez & Martínez, 2021).
- Fatiga por esfuerzos cíclicos: Las cargas repetidas generan grietas iniciadas en micro defectos, que con el tiempo provocan la fractura súbita del pasador de traba durante maniobras en terreno irregular (Pruftechnik, 2022).
- Calidad de aleaciones no certificadas: Materiales de propiedades mecánicas inferiores no soportan las sollicitaciones dinámicas previstas, aumentando la probabilidad de fluencia plástica o fisuración prematura del mecanismo (Bluxeo, 2025).

➤ Máquina

- Desalineación entre gancho y receptáculo: La falta de co-axialidad introduce momentos de flexión y cargas excéntricas que tensan el seguro de traba más allá de su capacidad de diseño, generando liberaciones no deseadas (Rodríguez & Martínez, 2021).
- Tolerancias de mecanizado excesivas: Holguras elevadas permiten movimientos relativos que, combinados con vibraciones, generan impactos reiterados sobre el seguro, erosionándolo hasta su fallo (Rodríguez & Martínez, 2021).
- Juego o holgura en pasadores/interferencias: Un ajuste inadecuado facilita el desplazamiento del pasador bajo carga lateral, reduciendo la efectividad del bloqueo y provocando su liberación (Epidor, 2024).

- Operación
 - Falta de capacitación en montaje y control de calidad: Operarios sin formación específica pueden omitir inspecciones clave o ajustar mal componentes, no detectando condiciones propensas a fallos dinámicos (CONASET, 2023).
 - Errores humanos en la colocación de trabas o seguros: Un montaje apresurado o mal orientado del pasador de traba impide su encaje correcto, facilitando su liberación con vibraciones moderadas (ISO 45001, 2022).
- Entorno
 - Vibraciones y cargas dinámicas en terrenos irregulares: Oscilaciones verticales y laterales inducen fatiga acelerada en todos los elementos de sujeción, incrementando la probabilidad de fallo del sistema de traba (MIL-STD-810H, 2019).
 - Condiciones externas adversas que afectan el bloqueo: Barro, hielo o partículas pueden acumularse en la cavidad del seguro, impidiendo su cierre completo y provocando liberaciones bajo esfuerzo (Gorayeb & Associates, 2024).
- Tiempo
 - Desgaste progresivo y poca mantención: La falta de rutinas regulares de limpieza y lubricación acelera el desgaste de superficies de contacto, reduciendo la fuerza necesaria para liberar el seguro durante la operación (INN, 2022).

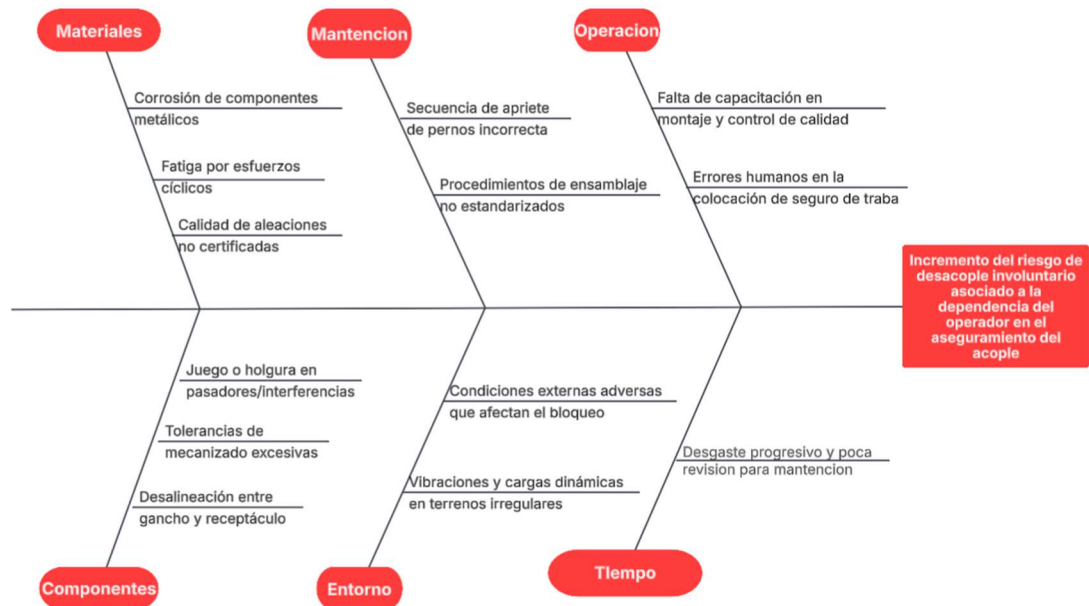


Figura 11 Diagrama tipo "Espinass de pescado"

Ishikawa, K. (1985). *What is Total Quality Control? The Japanese Way*. Prentice Hall. – Elaboración Propia.
 Ishikawa, K. (1986). *Guide to Quality Control (2nd ed.)*. Asian Productivity Organization.

4.1.2 Matriz Causa–Problema–Impacto

A partir del diagnóstico desarrollado en los capítulos anteriores y de la identificación de los distintos tipos de problemas asociados a los sistemas de acople para remolques livianos, se reconoce que la pérdida de sujeción del mecanismo no responde a una única causa aislada, sino a la interacción de múltiples variables técnicas, operativas y de uso. Diversos antecedentes técnicos y documentos de referencia en ingeniería de sistemas mecánicos de seguridad señalan que factores asociados a materiales, fabricación, montaje, operación, mantenimiento y entorno pueden incidir de manera directa en el desempeño y confiabilidad de mecanismos de traba sometidos a sollicitaciones dinámicas (Akao, 1990; Pyzdek & Keller, 2014).

En este contexto, se emplea la Matriz Causa–Problema–Impacto como una herramienta de análisis que permite estructurar y relacionar las causas identificadas en el diagnóstico con los problemas funcionales que estas generan y los impactos asociados a su manifestación durante la operación. Esta matriz no tiene por objetivo identificar nuevas causas, sino organizar y vincular de manera sistemática aquellas ya detectadas en el análisis de tipologías, en la matriz de espina de pescado y en la revisión de antecedentes técnicos, facilitando la comprensión del fenómeno y la priorización de acciones de diseño.

Las causas y los impactos considerados en la Matriz Causa–Problema–Impacto se extraen directamente del diagnóstico desarrollado en los capítulos anteriores, particularmente del análisis de tipologías de sistemas de acople, de la revisión de antecedentes normativos y técnicos, y de la identificación de los distintos tipos de problemas asociados al funcionamiento de acoples para remolques livianos. Este enfoque es consistente con metodologías de análisis de sistemas mecánicos de seguridad, en las cuales la identificación de causas se fundamenta en el estudio del producto existente, su contexto de uso y las condiciones operativas reales, más que en la generación de variables teóricas aisladas (Pyzdek & Keller, 2014; Stamatis, 2003). En este contexto, las causas incluidas en la matriz corresponden a condiciones, variables o situaciones identificadas en el análisis previo que pueden afectar el correcto funcionamiento del mecanismo de acople, ya sea por deterioro progresivo, desviaciones en el montaje, errores de operación o influencia del entorno de uso, variables que han sido ampliamente reconocidas en la literatura técnica sobre fallas en sistemas mecánicos como factores que incrementan la probabilidad de eventos no deseados cuando interactúan bajo sollicitaciones dinámicas (SAE International, 2011; ISO 1103, ISO 3853, ISO 7641, 2018).

Por su parte, los impactos generados representan las consecuencias funcionales y operativas que se producen cuando dichas causas se manifiestan durante la operación real del conjunto vehículo–remolque, tales como pérdida de capacidad de sujeción, liberaciones parciales del mecanismo o fallas del sistema de traba bajo vibración y carga variable. La relación entre causas técnicas u operativas e

impactos funcionales es un principio fundamental en el análisis de fallas y en herramientas de evaluación de riesgos aplicadas a sistemas de seguridad mecánica (Stamatis, 2003).

La Matriz Causa–Problema–Impacto no tiene por objetivo identificar nuevas causas ni cuantificar la magnitud de los impactos, sino vincular de manera explícita las causas previamente identificadas con el problema central del estudio y con los efectos que estas generan en términos de seguridad operacional. De este modo, la herramienta permite visualizar las relaciones causales existentes y establecer una base estructurada para el análisis posterior y la toma de decisiones en el proceso de rediseño del sistema de acople, tal como se propone en metodologías de mejora y diseño orientadas a la reducción del riesgo (Akao, 1990; Pyzdek & Keller, 2014).

Tabla 2 Matriz Causa – Problema - Impacto

	Causa	Problema	Impacto generado
1	Corrosión de componentes metálicos		Reducción de resistencia mecánica, debilitamiento del pasador, pérdida progresiva de sujeción
2	Fatiga por esfuerzos cíclicos		Formación de grietas por acumulación de ciclos → fractura súbita del componente
3	Aleaciones no certificadas		Fallos prematuros por baja tenacidad o resistencia inadecuada a cargas dinámicas
4	Desalineación entre gancho y receptáculo		Generación de esfuerzos laterales irregulares → falla por flexión o sobrecarga
5	Tolerancias de mecanizado excesivas	Incremento del riesgo de desacople	Holguras que permiten movimiento entre piezas → impactos repetitivos y aflojamiento de la traba
6	Juego en pasadores / interferencias	involuntario en remolques livianos, asociado a la dependencia del operador en el aseguramiento del acople	Desplazamiento del pasador → pérdida de su función de bloqueo
7	Apriete de pernos incorrecto		Aflojamiento gradual por tensiones mal distribuidas → pérdida de rigidez estructural
8	Procedimientos de ensamblaje no estandarizados		Montaje inconsistente → variación en la efectividad del mecanismo de sujeción
9	Falta de capacitación en montaje y control de calidad		Errores humanos recurrentes que comprometen la correcta instalación del mecanismo
10	Colocación incorrecta del sistema de traba		Traba no activada o mal posicionada → liberación prematura bajo vibraciones
11	Vibraciones y cargas dinámicas en terrenos irregulares		Solicitudes variables e intensas → fatiga acelerada del conjunto
12	Condiciones externas adversas (barro, hielo, polvo)		Obstrucción del sistema de cierre → traba incompleta o falsa
13	Desgaste progresivo y falta de mantención		Disminución del ajuste funcional → facilidad de liberación no deseada

(Akao, 1990) (Pyzdek & Keller, 2014).

En la tabla podemos evidenciar que el riesgo de desacople involuntario en remolques livianos no responde a una única causa aislada, sino a la concurrencia de múltiples variables técnicas, operativas y de uso. Una parte significativa de estas variables se encuentra asociada a aspectos ya estandarizados por normativa y práctica industrial, tales como materiales con trazabilidad, criterios de diseño estructural, procesos de fabricación y tolerancias dimensionales, así como a fenómenos propios del desgaste y del ciclo de vida del producto, los cuales dependen principalmente del mantenimiento y de las condiciones de uso.

En este contexto, el análisis evidencia que abordar estas variables mediante un rediseño del sistema de acople resulta limitado o poco efectivo, dado que corresponden a elementos cuya confiabilidad ha sido ampliamente validada o que escapan al control directo del diseño del mecanismo. En contraste, se identifica una oportunidad clara de intervención en aquellas variables que sí pueden ser controladas desde el diseño, particularmente las asociadas a la dependencia del operador durante el proceso de aseguramiento del acople.

La matriz muestra que una parte relevante de las causas que contribuyen al problema central se relaciona con errores de operación, cierres incompletos y variabilidad en la ejecución de acciones críticas, fenómenos que se ven amplificados a medida que aumenta la cantidad de intervenciones manuales requeridas para lograr un acople seguro. En consecuencia, se concluye que una estrategia efectiva para reducir el riesgo de desacople involuntario consiste en disminuir el número de variables críticas involucradas en el proceso, reduciendo la cantidad de pasos operativos y la dependencia del usuario, en lugar de modificar componentes o soluciones que ya han demostrado un desempeño adecuado bajo criterios normativos y de diseño establecidos.

4.1.3 AMFE/ANFE del sistema actual

Con el objetivo de profundizar el diagnóstico técnico del sistema de acople existente, y complementar el análisis desarrollado en las etapas previas —tipologías de acople, identificación de problemas y matriz causa–problema–impacto— se aplica el Análisis de Modo y Efecto de Falla (ANFE), también conocido como Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Esta metodología permite analizar de manera sistemática los modos de falla potenciales del sistema de traba, considerando tanto aspectos mecánicos como operativos, y evaluar su contribución al problema central identificado: el incremento del riesgo de

desacople involuntario asociado a la dependencia del operador en el aseguramiento del acople.

La aplicación del ANFE resulta pertinente en este contexto, ya que el problema analizado no responde a una falla estructural aislada, sino a la interacción entre el diseño del mecanismo, su forma de operación y las condiciones reales de uso. En este sentido, el ANFE permite descomponer el funcionamiento del sistema actual en etapas y funciones, identificar los modos de falla asociados a cada una de ellas y establecer una priorización objetiva de aquellos fallos que presentan mayor impacto en la seguridad operacional del acople (Stamatis, 2003).

El análisis se estructura a partir de la identificación de los fallos potenciales del sistema y su evaluación mediante tres criterios fundamentales:

- Gravedad (G): nivel de impacto que genera el fallo en caso de ocurrencia, particularmente en términos de pérdida de sujeción y seguridad del acople.
- Ocurrencia (O): probabilidad de que el modo de falla se manifieste durante el uso normal del sistema.
- Detección (D): probabilidad de que el fallo no sea detectado antes de producir un efecto no deseado durante la operación.

La combinación de estos tres factores permite calcular el Número de Prioridad de Riesgo (RPN), el cual se utiliza como indicador para jerarquizar los modos de falla según su criticidad y orientar la toma de decisiones en el proceso de rediseño, enfocando los esfuerzos de diseño en la reducción de aquellos fallos que concentran mayor riesgo (IEC 60812, 2018).

En el marco de este trabajo, el ANFE no se emplea con fines de validación experimental ni de certificación del sistema, sino como una herramienta analítica que permite reforzar el diagnóstico del sistema actual y fundamentar, desde un enfoque técnico y trazable, la selección de variables de diseño orientadas a disminuir la dependencia del operador y reducir el riesgo de desacople involuntario.

Tabla 3 ANFE – Sección: Componente estudiado

AMFE (ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS POTENCIALES)		
Nombre del sistema: ACOPLER AUTOLOCK		
Fecha: 1º semestre 2026		
Nombre referencial de la pieza	Efecto potencial del fallo	Causa potencial del fallo
Seguro de traba	Desacople accidental durante movimiento brusco	Desgaste por fatiga debido a carga dinámica
Seguro de traba	Olvido u omisión de pasos de aseguramiento	Desacople indeseado del sistema
Conjunto gancho-receptáculo	Movimiento lateral excesivo	Desalineación entre componentes
Mecanismo de bloqueo	Falla al trabar completamente bajo condiciones off-road	Acumulación de barro/hielo en la cavidad
Pernos de unión	Aflojamiento progresivo	Torque de apriete incorrecto

Elaboración propia

Tabla 4 ANFE – Sección: Condiciones existentes

AMFE (ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS POTENCIALES)

Condiciones Existentes					
Controles actuales	Ocurrencia	Gravedad	Detección	Índice prioritario del riesgo (NPR)	Estado y acción recomendadas
Inspección anual	4	9	8	288	Rediseñar el seguro con mayor resistencia al desgaste y fatiga
Revision visual	6	9	7	378	Reducir la cantidad de intervenciones para asegurar el sistema
Revisión post montaje	6	8	7	336	Implementar centradores o guías
Limpieza manual eventual	6	9	6	324	Sellado del área crítica / drenaje automático
Llave manual sin control de torque	6	7	9	378	Establecer torque controlado y protocolo de apriete

Elaboración propia

Tabla 5 ANFE – Sección: Resultados

AMFE (ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS POTENCIALES)

Area responsable acción correctora	Resultados				Índice prioritario del riesgo (NPR)
	Acción correctora	Ocurrencia	Gravedad	Detección	
Ingeniería	Cambio de geometría + análisis de carga	4	7	5	140
Ingeniería y Diseño	Rediseño del seguro de traba que automatice pasos	4	9	5	180
Montaje	Incorporación de guía de centrado	3	8	4	96
Diseño	Añadir canal de drenaje y sello flexible	4	9	3	108
Producción	Uso de dinamómetro calibrado	2	7	3	42

Elaboración propia

El las tablas ANFE se observa que los modos de falla más críticos del sistema de acople no se asocian exclusivamente a fallas estructurales del componente, sino principalmente a condiciones operativas y a la intervención directa del usuario durante el proceso de aseguramiento del acople. En particular, los modos de falla con mayor Número Prioritario de Riesgo (NPR) corresponden a la omisión de pasos de aseguramiento, cierres incompletos del mecanismo de traba y configuraciones incorrectas del sistema antes de la operación, los cuales presentan una relación directa con la complejidad y secuencialidad del procedimiento manual.

Los valores asignados en el ANFE responden a una evaluación cualitativa estructurada, basada en los criterios estándar de la metodología: Gravedad (G), Ocurrencia (O) y Detección (D). La gravedad representa el impacto potencial del modo de falla sobre la seguridad del conjunto vehículo–remolque, considerando escenarios de desacople bajo condiciones dinámicas reales.

La ocurrencia estima la probabilidad relativa de que el modo de falla se manifieste durante el

uso normal del sistema, en función de la cantidad de acciones manuales requeridas, la exposición a vibraciones y la repetitividad del proceso de acople. La detección evalúa la probabilidad de que el fallo sea identificado antes de que el sistema entre en operación, considerando que muchos errores de aseguramiento no son evidentes visualmente y solo se manifiestan bajo carga o vibración.

El Número Prioritario de Riesgo (NPR) se obtiene como el producto de estos tres factores ($NPR = G \times O \times D$) y permite jerarquizar los modos de falla según su criticidad relativa. En este análisis, los valores elevados de NPR no se deben a un único factor dominante, sino a la combinación de una gravedad alta, una ocurrencia significativa asociada a la dependencia del operador y una baja capacidad de detección previa a la operación, especialmente en errores de cierre incompleto o pasos omitidos.

Cabe señalar que los valores numéricos asignados no pretenden cuantificar probabilidades absolutas, sino establecer una comparación relativa entre modos de falla, coherente con el diagnóstico técnico desarrollado en los capítulos anteriores, la matriz causa–problema–impacto y la identificación de variables críticas en el funcionamiento real de los sistemas de acople para remolques livianos.

En conjunto, los resultados del ANFE confirman que la problemática predominante no es únicamente la liberación involuntaria del mecanismo de traba como evento aislado, sino la susceptibilidad del sistema a errores humanos derivados de un proceso de acople largo, secuencial y altamente dependiente del operador. Esta condición incrementa el riesgo de desacople involuntario bajo condiciones dinámicas reales y refuerza la necesidad de orientar el rediseño hacia soluciones que reduzcan la cantidad de intervenciones manuales críticas, disminuyan la dependencia del usuario y mejoren la confiabilidad funcional del cierre del sistema, sin modificar componentes o principios mecánicos que ya han demostrado un desempeño adecuado bajo criterios normativos y de diseño establecidos.

4.1.4 QFD (Despliegue de la función de calidad)

Con el fin de que el rediseño responda directamente al problema central del estudio — incremento del riesgo de desacople involuntario en remolques livianos, asociado a la dependencia del operador en el aseguramiento del acople— se utiliza QFD (Quality Function Deployment) como herramienta de traducción entre fallas priorizadas y decisiones de diseño. En esta etapa, las salidas de Ishikawa, la matriz Causa–Problema–Impacto y el ANFE se consolidan en un conjunto de “fallas o necesidades” del sistema actual (por ejemplo: liberación por vibración, omisión de pasos,

holgura/desalineación), y se relacionan con posibles líneas de mejora del mecanismo de traba (por ejemplo: guía de centrado, seguro automático, control de torque).

El QFD se incorpora en este punto por una razón concreta: permite **priorizar** qué intervenciones de diseño tienen mayor efecto sobre las fallas que incrementan el riesgo de desacople, evitando decisiones basadas en supuestos o preferencias del diseñador. De este modo, la matriz QFD actúa como puente entre el diagnóstico y la definición de requisitos técnicos del sistema propuesto, manteniendo trazabilidad entre (I) la problemática identificada, (II) los modos de falla críticos y (III) las características de diseño que se deben reforzar (Akao, 1990; Ulrich & Eppinger, 2012).

A continuación, se expone la metodología QFD.

Tabla 6 QFD – Importancia en el diseño

Tabla QFD		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
Falla	Mejora	Material de fatiga	Tratamiento anticorrosión	Seguro automático	Facilitar limpieza	Pernos torque controlado	Diseño modular	Traba redundante	Guías de centrado	Tope o control físico	Impacto
Liberación por vibración		3	-	2	1	3	-	2	-	-	5
Desgaste acelerado		3	3	-	1	2	2	1	-	2	3
Omisión de paso / Error operativo		-	-	3	-	-	-	3	1	2	5
Inspección visual		-	1	2	3	-	-	-	3	3	3
Obstrucción por residuos de entorno		-	2	-	3	1	-	-	1	-	3
Esfuerzo por uso extremo		3	1	2	-	1	-	1	1	1	4
Holgura / Desalineación		-	1	3	1	2	1	2	3	2	5
Importancia técnica		9	8	12	9	9	3	9	9	10	

Elaboración propia basada en: Akao, Y. (1990). Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design. Productivity Press.
Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2012). Product Design and Development (5th ed.). McGraw-Hill.

La matriz QFD se completa asignando un valor de relación entre cada falla priorizada (filas) y cada mejora o característica técnica (columnas). Los valores utilizados representan la fuerza de la relación:

- 3 (relación fuerte): la mejora es determinante para reducir esa falla.
- 2 (relación media): la mejora contribuye de manera relevante, pero no es suficiente por sí sola.
- 1 (relación débil): la mejora tiene un efecto indirecto o secundario.
- – (sin relación): la mejora no influye de forma directa en esa falla.

La asignación de estos valores se realiza mediante juicio técnico, basado en el funcionamiento del mecanismo de traba descrito en el diagnóstico y en la lógica causa–efecto ya estructurada en Ishikawa, CPI y ANFE. En este trabajo, la evaluación fue realizada por el autor a partir de dicho diagnóstico y se utilizó como criterio de priorización relativa para apoyar decisiones de diseño, no como medición experimental (Akao, 1990; Ulrich & Eppinger, 2012).

La tabla entrega un resultado que va desde 1 al 5, donde:

- 5 = Muy crítica (consecuencia directa de falla del sistema)
- 3–4 = Moderadamente crítica (contribuye a la falla, pero no la genera por sí sola)
- 1–2 = Baja prioridad relativa (afecta usabilidad o mantenimiento, pero no la integridad estructural)

Tabla 7 Leyenda de la tabla de QFD

Valor	Interpretación
3	Correlación fuerte: el requisito técnico es crucial para resolver la necesidad o fallo.
2	Correlación media: el requisito técnico ayuda, pero no es determinante.
1	Correlación débil: hay una pequeña relación o efecto indirecto.
-	Sin relación: ese requisito técnico no influye directamente en esa necesidad.

Elaboración propia

A partir de la ponderación de relaciones establecida en la matriz QFD, se obtiene un orden de prioridad para las características técnicas que conviene reforzar en el rediseño del mecanismo de traba. La fila de importancia técnica corresponde a la suma ponderada de las relaciones asignadas en cada columna, por lo que valores más altos indican mejoras que impactan simultáneamente a un mayor número de fallas relevantes o que presentan relaciones fuertes con fallas críticas.

En este caso, la matriz muestra que las mejoras con mayor prioridad se asocian a intervenciones capaces de reducir la dependencia del operador y disminuir la variabilidad del aseguramiento del acople. En particular, las columnas con mayor importancia técnica se vinculan con: (I) incorporar un mecanismo de aseguramiento que minimice la omisión de pasos, (II) aumentar la estabilidad geométrica durante el acople mediante guías o centradores, y (III) controlar condiciones que facilitan liberaciones por vibración o holguras, ya sea por redundancia de retención o por limitación física del movimiento no deseado. Estas medidas atacan directamente las fallas priorizadas en las etapas previas, tales como liberación por vibración, omisión de pasos/errores operativos y holgura/desalineación.

En consecuencia, el QFD permite justificar con trazabilidad que el rediseño debe concentrarse en características de diseño que reduzcan intervenciones manuales críticas, aumenten la repetibilidad del cierre y disminuyan la dependencia del usuario durante el aseguramiento. Este resultado se utiliza como base para definir los requisitos técnicos del sistema propuesto y para seleccionar las soluciones de diseño que serán desarrolladas y evaluadas en las etapas siguientes (Akao, 1990; Ulrich & Eppinger, 2012).

4.2 CIERRE METODOLÓGICO: DECISIONES DE DISEÑO

La aplicación secuencial y complementaria de las metodologías desarrolladas en este capítulo permitió estructurar el proceso de toma de decisiones de diseño a partir de la problemática definida: el incremento del riesgo de desacople involuntario en remolques livianos, asociado a la dependencia del operador en el aseguramiento del acople. El propósito de este cierre metodológico es consolidar los principales resultados obtenidos y explicitar cómo estos conducen a criterios concretos que orientan el rediseño del sistema de traba.

El diagrama de Ishikawa permitió ordenar y visualizar las causas que contribuyen al problema central, evidenciando que la pérdida de sujeción del mecanismo no responde a una falla aislada, sino a la interacción de variables técnicas, operativas y de uso. En particular, esta herramienta permitió distinguir entre causas asociadas a componentes y procesos ampliamente estandarizados —como materiales, tolerancias de fabricación o criterios estructurales definidos por normativa— y aquellas vinculadas al proceso de acople y a la intervención del operador. Esta distinción resultó clave para identificar qué variables escapan al control directo del rediseño y cuáles representan una oportunidad efectiva de intervención desde el diseño del mecanismo.

La matriz Causa–Problema–Impacto permitió profundizar esta lectura, relacionando las causas identificadas con sus efectos funcionales y operativos durante la operación real del sistema. A partir de esta relación, se evidenció que una proporción relevante de los impactos más críticos — como liberaciones prematuras, cierres parciales no detectados y pérdida progresiva de sujeción bajo vibración— se origina en errores de operación, omisiones de pasos o variabilidad en la ejecución del proceso de acople. En contraste, las causas asociadas a fallas de materiales o a desviaciones estructurales corresponden mayoritariamente a fenómenos controlados por normativa, fabricación o mantenimiento, y no constituyen el foco principal del rediseño propuesto.

El AMFE del sistema actual permitió reforzar esta conclusión al identificar que los modos de falla con mayor nivel de riesgo combinan una alta severidad con dificultades de detección previa a la operación, especialmente en escenarios donde el cierre del sistema depende de múltiples acciones manuales consecutivas. Los valores elevados del número prioritario de riesgo (NPR) se concentran en modos de falla asociados a cierres incompletos, omisión de aseguramientos y errores que permanecen ocultos hasta que el sistema es sometido a carga o vibración, confirmando la vulnerabilidad del diseño actual frente a la variabilidad del factor humano.

Finalmente, el uso del QFD permitió traducir de manera estructurada estos resultados en prioridades de diseño, estableciendo una relación explícita entre las fallas críticas identificadas y las características técnicas del sistema de traba que presentan mayor capacidad de mitigarlas. La ponderación obtenida mostró que las intervenciones con mayor impacto no corresponden a cambios radicales en materiales o arquitectura general del acople, sino a aquellas orientadas a reducir el número de intervenciones manuales críticas, aumentar la repetibilidad del proceso de cierre y disminuir la dependencia del operador en el aseguramiento del sistema.

En conjunto, las metodologías aplicadas permitieron concluir que la estrategia de rediseño más efectiva para reducir el riesgo de desacople involuntario no consiste en modificar elementos cuya confiabilidad ya ha sido validada por la normativa y la práctica industrial, sino en eliminar o reducir variables operativas controlables desde el diseño, particularmente aquellas asociadas al proceso de acople manual. Este cierre metodológico establece así una base coherente y trazable para definir los requisitos prioritarios del sistema propuesto y orientar el desarrollo de las soluciones de diseño que se abordan en los capítulos siguientes.

4.2.1 Requisitos priorizados finales

A partir de los resultados obtenidos mediante las metodologías aplicadas en este capítulo, se definen los requisitos priorizados que orientarán el desarrollo del rediseño del sistema de acople. Estos requisitos se seleccionan en función de su capacidad para abordar las causas con mayor incidencia en el problema central identificado, esto es, el incremento del riesgo de desacople involuntario asociado a la dependencia del operador durante el aseguramiento del acople.

El primer requisito prioritario corresponde a la reducción de la dependencia del operador en el proceso de acople, particularmente mediante la disminución del número de acciones manuales críticas necesarias para asegurar el sistema. Tal como se evidenció en el diagnóstico, en la matriz causa–problema–impacto y en el AMFE, los modos de falla con mayor nivel de riesgo se asocian a omisiones, ejecuciones incompletas o variabilidad en la realización de pasos secuenciales durante el acople. En este sentido, el diseño del sistema debe orientarse a eliminar o simplificar aquellas intervenciones cuya correcta ejecución dependa exclusivamente de la atención, experiencia o juicio subjetivo del usuario.

En segundo lugar, se establece como requisito prioritario el aseguramiento confiable del cierre del mecanismo de traba, de modo que el sistema alcance un estado de bloqueo efectivo de forma consistente una vez completado el proceso de acople. Este requisito se fundamenta en los resultados del AMFE, donde el cierre incompleto del sistema de traba fue identificado como uno de los modos de falla con mayor impacto sobre la seguridad operacional, especialmente bajo condiciones dinámicas de uso.

De manera complementaria, se considera como requisito relevante la posibilidad de reconocer el estado de cierre del sistema, de forma clara y no ambigua, como consecuencia directa del funcionamiento del mecanismo. Si bien este aspecto no constituye el eje central del rediseño, su incorporación resulta coherente con la estrategia de reducir la dependencia del operador, al disminuir la probabilidad de que un cierre incorrecto pase inadvertido antes de la operación del conjunto vehículo–remolque.

Asimismo, se prioriza la compatibilidad del sistema con los estándares dimensionales y configuraciones existentes en el segmento de remolques livianos, particularmente aquellos definidos en las normas ISO 1103 y SAE J684. Este requisito busca asegurar la retrocompatibilidad del diseño propuesto, evitando modificaciones estructurales mayores en el remolque o en el vehículo tractor, y manteniendo un nivel de complejidad técnica y costo acorde al mercado objetivo.

Finalmente, se establece como requisito que el sistema mantenga un comportamiento confiable bajo condiciones dinámicas reales de operación, tales como vibraciones, impactos y cargas variables, coherente con los escenarios de uso identificados en el diagnóstico. Este criterio no implica modificar principios estructurales ya validados por normativa, sino asegurar que las decisiones de diseño adoptadas no incrementen la sensibilidad del sistema frente a estas solicitaciones, en definitiva, tomar como base un acople existente y rediseñar puntualmente lo que debamos cambiar.

En conjunto, estos requisitos priorizados delimitan el marco dentro del cual se desarrollarán las propuestas de diseño del sistema de acople, permitiendo avanzar hacia soluciones que respondan de manera directa y coherente a la problemática identificada, y estableciendo la base para el desarrollo conceptual y la evaluación de alternativas que se presentan en los capítulos siguientes.

4.2.2 Conceptos de solución evaluados

En función de los requisitos priorizados definidos en la sección anterior y del contraste entre los distintos conceptos de solución analizados, se establecen un conjunto de decisiones de diseño que orientan el desarrollo del sistema de acople propuesto. Estas decisiones no corresponden aún a definiciones constructivas finales, sino a lineamientos técnicos que delimitan el enfoque del rediseño y que se derivan directamente de los resultados obtenidos a través del proceso metodológico desarrollado.

Las decisiones adoptadas responden a la necesidad de abordar el problema central identificado, esto es, la reducción del riesgo de desacople involuntario en remolques livianos asociado a la dependencia del operador durante el proceso de aseguramiento del acople. En este marco, el rediseño se orienta a disminuir la cantidad de variables operativas críticas, reducir la sensibilidad del sistema frente a errores de uso y mantener coherencia con las restricciones normativas, de compatibilidad y de mercado previamente establecidas.

A partir de lo anterior, se definen las siguientes decisiones de diseño:

- Incorporar un mecanismo de traba con autocierre o cierre asistido, de modo que el aseguramiento del acople no dependa exclusivamente de la ejecución consciente y secuencial de acciones manuales por parte del operador, reduciendo así la probabilidad de omisiones o cierres incompletos.
- Reducir la cantidad de pasos manuales críticos requeridos durante el proceso de acople y desacople, con el objetivo de disminuir la probabilidad de errores asociados a secuencias largas, repetitivas o sensibles a condiciones de uso reales.

- Favorecer que el propio funcionamiento del mecanismo permita reconocer el estado de cierre del acople, ya sea a través de su configuración mecánica o de señales visuales inherentes al diseño, como consecuencia del proceso de aseguramiento y no como un sistema independiente de control.
- Mantener la compatibilidad geométrica y dimensional con sistemas de acople tipo bola utilizados en remolques livianos, respetando los estándares definidos por las normas ISO y SAE, y evitando modificaciones estructurales mayores tanto en el remolque como en el vehículo tractor.
- Limitar la complejidad técnica y constructiva del sistema, privilegiando soluciones que resulten viables desde el punto de vista de fabricación, mantenimiento y costo, coherentes con el segmento de remolques livianos y con las prácticas habituales del mercado.
- Favorecer una interacción intuitiva con el usuario, de manera que la operación segura del sistema no requiera conocimientos técnicos especializados ni una experiencia previa significativa, reduciendo la dependencia del factor humano como variable crítica.

Estas decisiones de diseño constituyen el vínculo directo entre los resultados obtenidos en el desarrollo metodológico y la propuesta de rediseño del sistema de acople. En los capítulos siguientes, dichas decisiones serán abordadas mediante el desarrollo y evaluación del concepto seleccionado, permitiendo verificar su coherencia con los requisitos definidos y su contribución efectiva a la reducción del riesgo de desacople involuntario en condiciones reales de uso.

DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO

Como consecuencia del proceso metodológico desarrollado en los capítulos anteriores, se define una propuesta de rediseño orientada a reducir la probabilidad de desacople involuntario en sistemas de acople para remolques livianos. El diseño propuesto se deriva directamente de los

requisitos priorizados y de las decisiones de diseño establecidas a partir de la aplicación de herramientas de identificación causal, priorización de modos de falla y traducción de requerimientos técnicos, asegurando coherencia entre el problema identificado y la solución planteada.

El presente capítulo describe la arquitectura general del sistema propuesto, su principio de funcionamiento y los elementos mediante los cuales se materializan las decisiones de diseño adoptadas. En particular, el desarrollo se enfoca en la reducción de la dependencia del operador durante el proceso de acople, la incorporación de un mecanismo de traba con autocierre o cierre asistido y la disminución de la cantidad de intervenciones manuales críticas requeridas para asegurar el sistema. Como consecuencia del funcionamiento del mecanismo propuesto, el diseño permite reconocer el estado de cierre del acople, manteniendo en todo momento la compatibilidad con los estándares dimensionales y normativos propios del segmento de remolques livianos.

5.1 PRESENTACIÓN DEL CONCEPTO

El concepto propuesto corresponde a un mecanismo de acople denominado Sistema Autolock, cuyo principio funcional se basa en un bloqueo automático y auto asistido durante la inserción de la bola de 1-7/8". Este enfoque responde directamente a los requisitos de diseño orientados a reducir la cantidad de acciones manuales críticas y a disminuir la dependencia del operador durante el proceso de acople.

A diferencia de los acoples convencionales, que requieren múltiples intervenciones manuales —como la apertura de la palanca, el accionamiento excéntrico del cierre, el ajuste de la lengüeta receptora y la verificación visual final— el Sistema Autolock elimina la necesidad de accionar manualmente el mecanismo de cierre. El aseguramiento del acople se activa de manera autónoma mediante una geometría interna guiada y el accionamiento controlado de resortes de tracción, los cuales aseguran el enclavamiento del sistema una vez que la bola alcanza su posición de asiento.

De este modo, la operación del sistema se reduce a una única acción principal por parte del usuario: alinear e insertar la bola en el alojamiento del acople. El cierre automático se produce como consecuencia directa de esta acción, mientras que la intervención humana queda limitada al proceso de desacople. Esta reducción de pasos operativos críticos responde a los principios de diseño a prueba de fallos (*poka-yoke*), los cuales buscan prevenir errores de uso mediante soluciones integradas en la arquitectura del producto (Shingo, 1986).

Desde un punto de vista estructural, la arquitectura del sistema fue definida para responder a los requisitos de comportamiento bajo condiciones dinámicas. En particular, el diseño incorpora un doble punto de contacto entre la bola y el alojamiento, lo que mejora la transferencia de cargas y reduce concentraciones de esfuerzo. Asimismo, el pivote de accionamiento del mecanismo de traba se ubica por debajo de la línea de apoyo de la bola, generando un efecto de enclavamiento pasivo durante sollicitaciones longitudinales, como frenadas, que contribuye a evitar aperturas no deseadas.

Adicionalmente, se incrementa el espesor en zonas críticas sujetas a desgaste, con el objetivo de prolongar la vida útil del conjunto y mantener la estabilidad dimensional del sistema bajo cargas dinámicas repetidas. Estas decisiones de diseño permiten mejorar la resistencia del acople frente a vibraciones, impactos y sollicitaciones torsionales, factores directamente asociados a la liberación accidental del mecanismo en condiciones reales de operación (SAE International, 2021; INN, 2022).

El Sistema Autolock mantiene compatibilidad total con la geometría y tolerancias normadas para bolas de 1-7/8", cumpliendo los requisitos establecidos en NCh 2826, ISO 1103 y SAE J684. De esta manera, la propuesta se presenta como una alternativa técnicamente viable para el segmento de remolques livianos, integrando mejoras simultáneas en usabilidad, prevención de fallos operativos y desempeño estructural, sin comprometer la interoperabilidad con sistemas existentes.

5.2 DESCRIPCIÓN DEL MECANISMO DE CIERRE AUTOMÁTICO

El Sistema Autolock opera bajo un principio de acople automático en el que la propia geometría de la bola de tracción induce el cierre progresivo del mecanismo, sin necesidad de ajustes manuales.



Figura 12 Imagen referencial del Sistema AutoLock

Elaboración propia – Fusión 360

El proceso comienza cuando la bola del vehículo tractor entra en contacto con la lengua receptora superior, provocando la rotación de la horquilla estructural que sostiene al conjunto.

Esta rotación, guiada por pasadores, conduce a que las lenguas receptora superior e inferior encierren la bola contra el capuchón estándar de acople.

En esta fase, la energía almacenada en los resortes asegura que el sistema avance hasta la posición de cierre, momento en el cual el gancho de traba se inserta de manera automática en el martillo receptor de la manilla, bloqueando el mecanismo en estado “cerrado”.

La configuración geométrica y los topes mecánicos garantizan que la distribución de cargas se efectúe de manera equilibrada en al menos dos puntos de la superficie de la bola, reduciendo las concentraciones de esfuerzo y aumentando la durabilidad del acople.

5.3 DISEÑO

El diseño propuesto se compone de un conjunto reducido de piezas, optimizadas para maximizar la resistencia, simplificar el ensamblaje y facilitar el mantenimiento. A continuación, se describen los principales componentes:

5.3.1 Componentes principales

En la siguiente tabla, se detallarán los componentes principales del sistema, así como su función y materialidad.

Tabla 8 Componentes y su función

Componente	Función principal	Material /Fabricación
Horquilla estructural	Actúa como cuerpo principal del sistema y soporte de todos los componentes. Transmite cargas hacia el pasador. También funciona como pedal de giro para el mecanismo.	Chapa de acero estructural; procesos de corte, y soldadura.
Lengua receptora superior	Recibe inicialmente la bola y fuerza la rotación de la horquilla hacia la posición de cierre.	Pletina plegada de acero; corte y plegado.
Lengua receptora inferior	Contiene la bola por la parte posterior, asegurándola contra el capuchón de acople. Distribuye las cargas en un segundo punto de apoyo.	Pletina plegada de acero; corte y plegado.
Gancho de traba	Pieza sólida que asegura el sistema en posición cerrada, soportando las cargas críticas.	Plancha de acero cortada espesor 6 mm.
Manilla con martillo receptor	Permite liberar el sistema manualmente durante el desacople. Recibe el enganche del gancho de traba en posición cerrada.	Chapa; unión por pasadores.
Martillo receptor	Es quien recibe al gancho, permite su movimiento guiado por la bola hasta llegar al punto de cierre donde se cierra automáticamente.	Plancha de acero 12 mm.
Resortes de tracción.	Generan la fuerza necesaria para el cierre automático, absorben vibraciones y mantienen la traba en posición estable.	Acero elástico tratado térmicamente; conformado de resorte.
Pasadores de articulación	Permiten la rotación de la horquilla y la movilidad de las lenguas receptoras.	Acero templado.
Topes mecánicos	Limitan el recorrido de las piezas móviles y aseguran la correcta distribución de las cargas en el cierre y límite de apertura.	Integrados en el cuerpo de la horquilla mediante plegado y soldadura.

Elaborada propia

La tabla anterior fue realizada tomando como referencia la metodología de especificación de componentes y funciones propuesta por Pahl & Beitz (2007) en *Engineering Design: A Systematic Approach*, así como los lineamientos de Ulrich & Eppinger (2012) en *Product Design and Development* y de Boothroyd, Dewhurst & Knight (2011) en *Product Design for Manufacture and Assembly (DFMA)*, que enfatizan la relación entre función, material y proceso de fabricación en el desarrollo de productos de ingeniería.). Con el fin de clasificar y ordenar los componentes, sus funciones y materialidad

5.3.2 Manufactura asociada

El diseño del sistema de acople propuesto fue desarrollado considerando desde su etapa conceptual las capacidades reales de fabricación, con el objetivo de asegurar su viabilidad productiva y su eventual implementación en el segmento de remolques livianos. En este contexto, la manufactura asociada al Sistema Autolock se plantea a partir de procesos industriales ampliamente utilizados y disponibles a nivel local, privilegiando soluciones simples, repetibles y compatibles con producción a pequeña y mediana escala.

El sistema está concebido para ser fabricado principalmente mediante corte láser de planchas de acero, operaciones de plegado y procesos de soldadura, evitando la incorporación de operaciones complejas o altamente especializadas. El corte láser permite obtener geometrías precisas, repetibles y con tolerancias controladas, lo que resulta fundamental para asegurar el correcto funcionamiento del mecanismo de cierre y la interacción entre sus componentes móviles. Asimismo, este proceso facilita la fabricación de piezas planas con distintos espesores, permitiendo reforzar zonas críticas del diseño sin incrementar innecesariamente el número de componentes.

Las operaciones de plegado se utilizan para conformar elementos estructurales del sistema, permitiendo generar rigidez y resistencia a partir de piezas planas, reducir la cantidad de uniones soldadas y mejorar el comportamiento mecánico del conjunto frente a cargas dinámicas. El diseño de las piezas plegadas considera radios y ángulos compatibles con procesos industriales estándar, evitando deformaciones indeseadas y asegurando la repetibilidad del proceso productivo.

La unión de los distintos elementos del sistema se realiza mediante soldadura, la cual cumple un rol estructural clave en la conformación del conjunto y en la transferencia de cargas durante la operación. La selección de este proceso responde a su amplia disponibilidad,

confiabilidad y compatibilidad con los materiales propuestos, además de permitir una integración eficiente de las piezas cortadas y plegadas en un ensamblaje robusto y estable. El diseño considera accesos adecuados para la ejecución de cordones de soldadura continuos y controlados, evitando zonas de difícil acceso que puedan comprometan la calidad del ensamble.

En conjunto, la manufactura asociada al sistema propuesto se alinea con los requisitos de simplicidad, compatibilidad y viabilidad definidos en las etapas previas del proyecto, permitiendo materializar el diseño mediante procesos industriales accesibles y coherentes con el contexto productivo del mercado objetivo.

5.3.3 Planos de fabricación

Para la correcta materialización del sistema propuesto, se desarrolló un conjunto de planos de fabricación que definen en detalle la geometría, dimensiones, tolerancias, materiales y especificaciones constructivas necesarias para su producción.

Dado que estos planos poseen un alto nivel de detalle técnico y requieren ser visualizados en formatos de gran tamaño para mantener su legibilidad y escala original, no se incluyen de manera íntegra en el cuerpo principal de este documento. En su lugar, se incorporan como material complementario anexado al final de la presente tesis.

Los planos de fabricación completos se encuentran disponibles en el Anexo B, en formato digital (PDF), e incluyen vistas generales, despieces, detalles constructivos y notas técnicas relevantes para el proceso de fabricación y montaje del sistema.

5.4 FUNCIONAMIENTO DEL MECANISMO

El proceso de acople y desacople en el Sistema Autolock puede describirse en cinco etapas principales:

1. Aproximación y posicionamiento de la bola

El vehículo tractor acerca la bola de acople de 1-7/8" hacia el mecanismo. En esta fase, no se requiere ninguna acción manual previa, ya que el sistema permanece en estado abierto tras el último desacople.

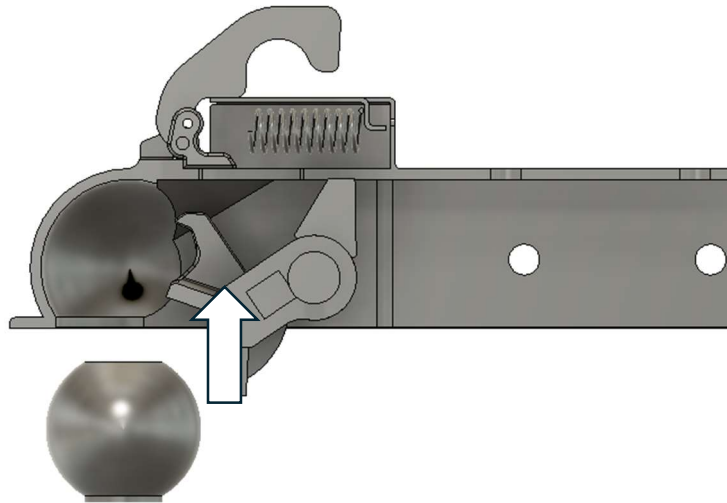


Figura 13 Imagen referencial de funcionamiento AutoLock

Elaboración propia – Fusión 360

2. Contacto inicial con la lengua receptora superior

La bola hace contacto con la lengua receptora superior, provocando la rotación de la horquilla estructural gracias a la articulación montada en pasadores. Los resortes torsionales facilitan este movimiento, guiando al sistema hacia la posición de cierre.

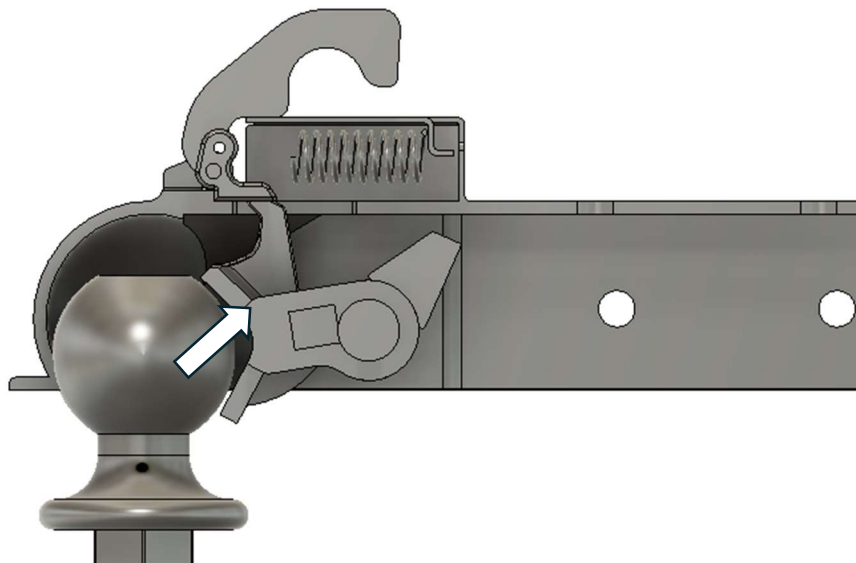


Figura 14 Imagen demostrativa de accionamiento – vista lateral - corte

Elaboración propia – Fusión 360

3. Encierro de la bola y cierre automático conforme la bola avanza en su inserción, la lengua receptora inferior se acopla desde la parte posterior, confinando la bola entre ambas lenguas y el capuchón estándar. La geometría del conjunto asegura la distribución de cargas en dos puntos de contacto, lo que disminuye las concentraciones de tensión y compresiones en el sistema de traba.

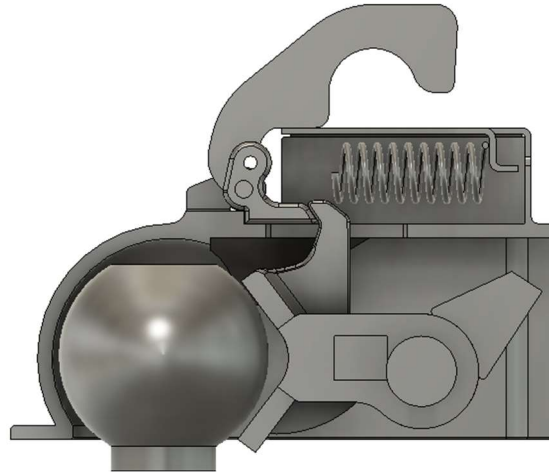


Figura 15 Imagen referencial del sistema AutoLock cerrado

Elaboración propia – Fusión 360

4. Enganche del sistema de traba, al completarse la rotación de la horquilla, el gancho de traba encaja de manera automática en el martillo receptor de la manilla, bloqueando el mecanismo en posición cerrada. Los topes mecánicos limitan el recorrido, asegurando que el cierre sea correcto y repetible.

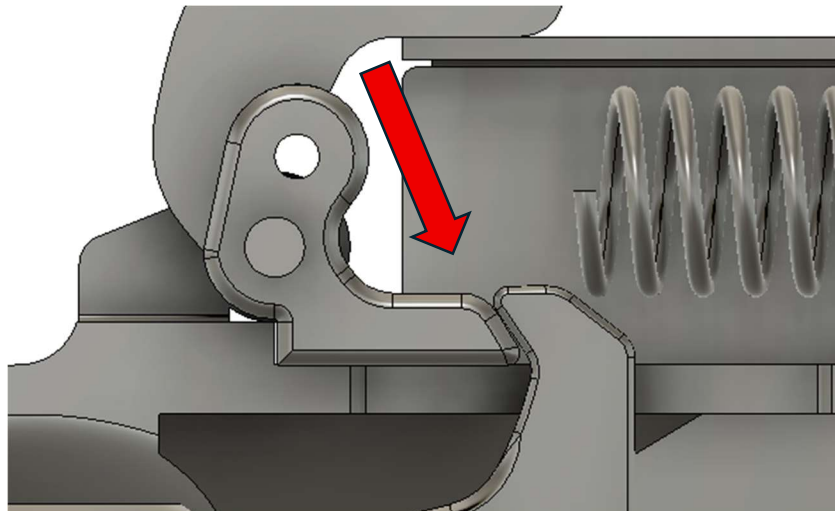


Figura 16 Imagen referencial de funcionamiento del gancho de cierre

Elaboración propia – Fusión 360

5. Confirmación del acople

Una vez enclavado, el usuario recibe una doble señal de confirmación:

- Visual: la palanca retorna automáticamente a la posición baja.
- Auditiva: el sistema emite un “clic” característico al trabarse.

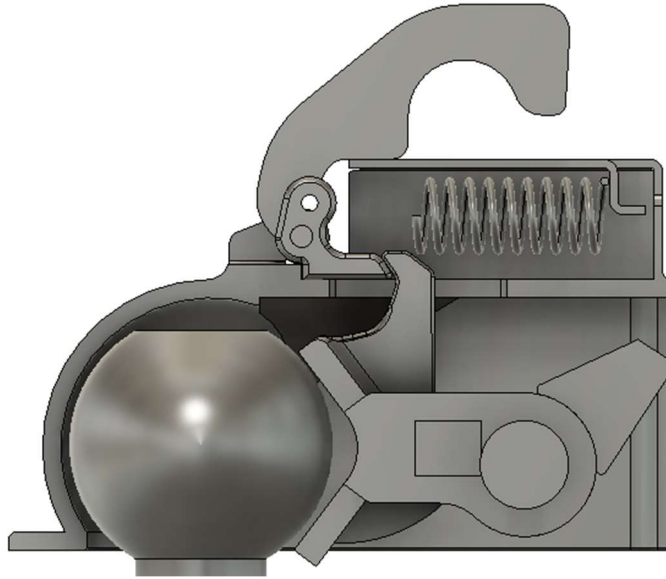


Figura 17 Imagen referencial de cierre completo

Elaboración propia – Fusión 360

El sistema se mantiene bloqueado en esta condición durante la operación normal, resistiendo vibraciones, cargas dinámicas y condiciones externas adversas. El único momento en que se requiere intervención manual es durante el desacople: el operador debe elevar la palanca, liberando el gancho y permitiendo la salida de la bola.

5.5 VENTAJAS DEL DISEÑO

A continuación, se expone una tabla comparativa para evidenciar las ventajas del diseño AutoLock respecto al convencional.

Tabla 9 Análisis de ventajas y comparación

Criterio	Sistema	Sistema	Mejora
	Tradicional (Manual con Palanca Excéntrica)	Autolock (Rediseñado)	observada o cumplimiento de criterio
Modo de acople	Manual, requiere ajustar y asegurar traba con palanca y pasador.	Automático: la bola induce el cierre y el sistema se bloquea sin intervención.	Reducción de error humano y tiempo de operación.
Cantidad de pasos de operación	3–4 pasos (alinear, insertar, ajustar, bloquear).	2 pasos (alinear e insertar).	Simplificación del 50 % en manipulación.
Seguridad de traba	Depende del apriete manual y uso de candado.	Bloqueo automático con seguro mecánico.	Mayor confiabilidad.
Distribución de cargas	Punto único de apoyo (lengua inferior).	Doble punto de contacto (superior e inferior).	Reducción de concentración de esfuerzos y desgaste.
Fatiga del material	Cumple con la norma NCh 2826 y SAE J684	Cumple con la norma NCh 2826 y SAE J684	Cumplimiento de la norma
Compatibilidad	Totalmente compatible con la bola estándar.	Totalmente compatible con la bola estándar.	Mismo estándar, cumplimiento de la norma
Costo estimado de fabricación	\$10.000–\$25.000 CLP	\$20.000–\$35.000 CLP (según espesor y materiales)	Leve aumento compensado por mayor seguridad.
Requisitos normativos (NCh 2826 / SAE J684)	Cumple con la norma	Cumple con la norma	márgenes de seguridad bajo norma.

Elaboración propia basada en datos de mercado y análisis normativo del proyecto (NCh 2826, SAE J684; Ulrich & Eppinger, 2012; Boothroyd et al., 2011).

EVALUACIÓN DE LA MEJORA Y VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO

Una vez desarrollado el diseño del sistema de acople propuesto y definida su arquitectura general, se procede a evaluar su desempeño en relación con los objetivos y requisitos establecidos a lo largo del presente trabajo. En particular, esta etapa busca determinar en qué medida el Sistema Autolock contribuye a reducir la probabilidad de desacople involuntario, mediante la disminución de la dependencia del operador durante el proceso de aseguramiento del acople.

El enfoque de evaluación adoptado se basa en una comparación analítica y funcional entre el sistema propuesto y un sistema de acople tradicional, considerando el proceso de uso del mecanismo bajo condiciones normales de operación. Este enfoque resulta coherente con la problemática abordada, la cual se encuentra directamente asociada a variables operativas y a la cantidad de intervenciones manuales críticas requeridas para asegurar el sistema, más que a deficiencias estructurales del componente.

En consecuencia, la evaluación no se centra en parámetros de resistencia mecánica o validaciones experimentales, sino en criterios operativos derivados del diseño del sistema, tales como la secuencia de acciones necesarias para el acople, la dependencia del operador y la capacidad del mecanismo para alcanzar un estado de cierre consistente. El presente capítulo describe los criterios y métricas utilizados para esta evaluación y establece el marco bajo el cual se realiza la comparación con sistemas de acople convencionales, con el fin de verificar la coherencia del diseño propuesto con los objetivos definidos en etapas previas del proyecto.

6.1 CRITERIOS Y MÉTRICAS DE EVALUACIÓN

La evaluación del Sistema Autolock se realiza utilizando criterios y métricas definidos a partir de los objetivos del proyecto y de los requisitos priorizados establecidos en el Capítulo IV. Estos criterios se orientan a caracterizar el desempeño operativo del sistema durante el proceso de acople y desacople, considerando aspectos directamente relacionados con la dependencia del operador y la probabilidad de errores de aseguramiento.

En este contexto, se adopta un enfoque de evaluación del diseño para el uso, enmarcado dentro de metodologías DFX, que permite comparar soluciones de diseño a partir de la descomposición del proceso operativo y de la identificación de acciones críticas involucradas en el uso del sistema (Ulrich & Eppinger, 2012). Este enfoque asume que la probabilidad de fallas operativas aumenta a medida que se incrementa la cantidad de acciones manuales requeridas y la sensibilidad del sistema a omisiones o ejecuciones incompletas durante el acople.

En función de lo anterior, se definen como criterios de evaluación los siguientes aspectos:

- Número de pasos requeridos para completar el proceso de acople y desacople, entendidos como acciones secuenciales necesarias para asegurar o liberar el sistema.
- Cantidad de intervenciones manuales críticas, definidas como aquellas acciones cuya omisión o ejecución incorrecta puede comprometer el correcto aseguramiento del acople.
- Tiempo estimado de operación, asociado al tiempo requerido para completar el proceso de acople o desacople bajo condiciones normales de uso.
- Reconocimiento del estado del acople, entendido como la capacidad del sistema para permitir identificar, a partir de su configuración funcional, si el mecanismo se encuentra correctamente asegurado.

Las métricas asociadas a cada criterio se obtienen mediante la descomposición del proceso de uso del sistema y la estimación comparativa de tiempos y acciones requeridas, a partir de la observación del funcionamiento del mecanismo y de criterios habituales de evaluación en ingeniería de diseño (Ulrich & Eppinger, 2012). Esta aproximación permite establecer una comparación objetiva entre el Sistema Autolock y un sistema de acople tradicional, sin recurrir a ensayos experimentales ni estudios de usuario.

A partir de este marco de evaluación, en el apartado siguiente se presenta la comparación entre el sistema propuesto y una solución convencional, utilizando los criterios definidos para identificar el impacto del rediseño en términos de reducción de intervenciones manuales, simplificación del proceso de acople y disminución de la dependencia del operador.

6.2 COMPARACIÓN CON EL SISTEMA TRADICIONAL

Para la comparación entre un sistema de acople tradicional y el Sistema Autolock se adopta un enfoque de evaluación comparativa de carácter analítico y funcional, orientado a examinar el proceso de uso del sistema durante el acople y desacople. Este enfoque se enmarca en metodologías DFX y, en particular, del enfoque Design for Use, el cual permite comparar soluciones de diseño a partir de la descomposición de la secuencia operativa y de la identificación de acciones manuales críticas involucradas en la interacción entre el usuario y el producto.

La comparación se basa en el análisis del funcionamiento del sistema propuesto a partir de su modelo tridimensional, de la simulación de la secuencia de acople y desacople y del registro audiovisual del funcionamiento del mecanismo, los cuales se encuentran documentados en el material de apoyo incluido en los anexos del presente trabajo. Este

material permite analizar de manera sistemática las acciones requeridas para operar el sistema y estimar los parámetros comparativos utilizados, sin recurrir a ensayos experimentales en condiciones reales de uso.

En este contexto, la evaluación se realiza considerando los siguientes criterios operativos:

- Tiempo necesario para completar la tarea de acople o desacople.
- Número de pasos requeridos para asegurar o liberar el sistema.
- Cantidad de intervenciones manuales críticas, entendidas como aquellas acciones cuya omisión o ejecución incorrecta puede comprometer el correcto aseguramiento del acople.
- Reconocimiento del estado del acople, entendido como la posibilidad de identificar el estado de cierre del sistema a partir de su configuración funcional.

Estos criterios permiten comparar de manera objetiva el proceso de uso del Sistema Autolock con respecto a un sistema de acople tradicional, a partir de la descomposición del procedimiento operativo y del análisis de la secuencia de acciones involucradas.

Tabla 10 Mediciones y comparación

Parámetro	Sistema tradicional	Autolock	Mejora
Número de pasos	7 pasos	4 pasos	−42,8 %
Intervenciones críticas	4	1	−75 %
Tiempo estimado	20–25 s	8–10 s	−50–60 %

Elaboración propia a partir del análisis funcional del modelo tridimensional y del material audiovisual del sistema propuesto, considerando criterios operativos descritos por Ulrich & Eppinger (2012) y Nielsen (1993).

La Tabla 10 presenta una comparación preliminar entre un sistema de acople tradicional y el Sistema Autolock, utilizando criterios de evaluación asociados a la eficiencia operativa y a la interacción usuario–producto. Los valores indicados corresponden a estimaciones obtenidas a partir del análisis secuencial del proceso de acople y desacople, considerando el número de pasos requeridos, la cantidad de intervenciones manuales críticas y el tiempo estimado de ejecución de la tarea.

6.3 RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran una reducción relevante en los parámetros operativos asociados al proceso de acople al comparar el Sistema Autolock con un sistema tradicional. Es importante señalar que esta evaluación corresponde a un análisis comparativo de carácter preliminar, basado en la revisión del funcionamiento del sistema a partir de modelos y simulaciones de uso, y no a una validación experimental mediante ensayos físicos o pruebas en terreno.

En particular, se observa una disminución del número de pasos necesarios para completar el proceso de acople, pasando de siete acciones secuenciales en el sistema convencional a cuatro en el Sistema Autolock, lo que representa una reducción aproximada del 42,8 %. Asimismo, el número de intervenciones manuales críticas se reduce de cuatro a una, lo que implica una disminución del 75 % en aquellas acciones cuya omisión o ejecución incorrecta puede comprometer el aseguramiento del sistema.

En términos de tiempo de operación, el Sistema Autolock presenta una reducción estimada del orden del 50 al 60 % respecto del sistema tradicional, disminuyendo el tiempo requerido para completar la tarea desde un rango de 20–25 segundos a aproximadamente 8–10 segundos. Estas estimaciones se derivan de la comparación de secuencias operativas equivalentes y de la reducción del número de acciones necesarias para alcanzar el estado de cierre del sistema.

La disminución del número de pasos y de intervenciones manuales críticas se traduce en una menor exposición a errores de operación durante el proceso de acople. Tal como señala Norman (2013), la simplificación de tareas mecánicas y la reducción de decisiones críticas durante la operación contribuyen a disminuir la probabilidad de ejecuciones incorrectas, especialmente en contextos de uso real donde pueden presentarse condiciones desfavorables.

En conjunto, esta evaluación comparativa indica que el Sistema Autolock presenta una mejora sustantiva en términos de eficiencia operativa y reducción de la dependencia del operador respecto a los sistemas de acople convencionales. Si bien estos resultados no constituyen una validación experimental, permiten respaldar de manera coherente las decisiones de diseño adoptadas y su alineación con los objetivos del proyecto, dejando establecida una base para futuras instancias de evaluación experimental y pruebas en terreno.

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El desarrollo del presente trabajo permitió abordar de manera estructurada la problemática asociada al incremento del riesgo de desacople involuntario en sistemas de acople para remolques livianos, focalizando el estudio en la dependencia del operador durante el proceso de aseguramiento del mecanismo de traba. A lo largo del proyecto se integraron el análisis del contexto técnico y normativo, la definición explícita del problema de diseño, la aplicación de metodologías de análisis de fallas y la evaluación comparativa preliminar de la solución propuesta.

En este capítulo se sintetizan los principales resultados obtenidos, evaluando en qué medida el sistema desarrollado responde a los objetivos planteados y a las restricciones definidas en las etapas iniciales del proyecto. La revisión se centra en la coherencia entre la problemática identificada, las decisiones de diseño adoptadas y los efectos esperados del rediseño sobre la seguridad operacional del sistema.

La pregunta que orienta este capítulo es: ¿en qué medida el rediseño propuesto contribuye a reducir el riesgo de desacople involuntario y con qué tipo de evidencia se sustenta dicha contribución? Para responderla, se consideran los resultados derivados del proceso metodológico aplicado —Ishikawa, matriz causa–problema–impacto, ANFE y QFD— junto con la evaluación comparativa preliminar realizada frente a sistemas de acople tradicionales.

Las conclusiones se estructuran a partir del grado de cumplimiento de los objetivos específicos, poniendo énfasis en la reducción de la dependencia del operador, la disminución de intervenciones manuales críticas y la mejora en la eficiencia operativa del proceso de acople. Asimismo, se identifican de manera explícita las limitaciones del estudio, derivadas del carácter conceptual y funcional de la evaluación realizada, y se proponen líneas de trabajo futuro orientadas a validar experimentalmente el desempeño del sistema bajo condiciones reales de uso.

De este modo, el presente capítulo cierra el proceso de diseño desarrollado, delimitando con claridad los alcances efectivos del trabajo y estableciendo una base técnica coherente para la continuación del desarrollo, validación y eventual implementación del sistema propuesto.

7.1 CONCLUSIONES POR OBJETIVO ESPECÍFICO

A continuación, se evalúa el grado de cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos planteados en la Sección 1.2, explicando de manera argumentada cómo y por qué estos se consideran alcanzados, en coherencia con la metodología aplicada y con los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto:

7.1.1 Objetivo específico 1

“Analizar el contexto técnico, normativo y de mercado asociado a los sistemas de acople para remolques livianos, con el fin de identificar las principales carencias de seguridad y brechas de diseño presentes en las soluciones convencionales”.

Este objetivo se considera cumplido, dado que en los capítulos iniciales se desarrolló un diagnóstico estructurado del estado actual de los sistemas de acople para remolques livianos, abordando de manera integrada el contexto normativo nacional e internacional, las tipologías de sistemas disponibles y las soluciones predominantes en el mercado. La revisión de normas como SAE J684, ISO 1103 y la normativa chilena vigente permitió establecer los requisitos dimensionales, funcionales y de compatibilidad que rigen este tipo de dispositivos.

A partir del análisis comparativo de soluciones comerciales, se identificó que el segmento de remolques livianos se caracteriza por el uso mayoritario de sistemas de acople manuales, los cuales presentan una elevada dependencia del operador durante el proceso de aseguramiento y carecen de mecanismos que reduzcan de forma efectiva la variabilidad operativa. La comparación con soluciones de mayor capacidad evidenció una brecha de diseño relevante, donde principios de aseguramiento más robustos no se trasladan al segmento liviano debido a restricciones de costo, complejidad y compatibilidad. Esta identificación de carencias y brechas fundamentó técnicamente la necesidad de un rediseño orientado a la seguridad operacional.

7.1.2 Objetivo específico 2

“Identificar y priorizar las causas raíz y los modos de falla críticos asociados al desacople involuntario del sistema de acople, considerando la influencia del error humano y la dependencia del operador en el proceso de aseguramiento”.

Este objetivo se considera cumplido, ya que las causas y modos de falla asociados al desacople involuntario fueron identificados, estructurados y priorizados mediante la aplicación de herramientas formales de análisis. El diagrama de Ishikawa permitió organizar las variables críticas en categorías asociadas a diseño, operación, usuario, entorno y condiciones de uso, evidenciando que la problemática no responde a un único factor aislado, sino a la interacción de múltiples variables concurrentes.

Posteriormente, la matriz causa–problema–impacto y el análisis ANFE permitieron jerarquizar estas variables en función de su incidencia en la pérdida de sujeción del sistema. Los resultados mostraron que los modos de falla con mayor nivel de riesgo se asocian principalmente a errores operativos, cierres incompletos del mecanismo de traba y dificultades para detectar un acople incorrecto antes de la operación. Esta priorización permitió establecer de manera objetiva que la dependencia del operador constituye una variable crítica del problema y que su reducción representa una oportunidad efectiva de intervención desde el diseño.

7.1.3 Objetivo específico 3

“Traducir las necesidades de seguridad y uso del sistema en requisitos técnicos de diseño, manteniendo coherencia entre el problema identificado, las causas priorizadas y la solución propuesta”.

Este objetivo se considera cumplido, dado que los resultados obtenidos en las etapas de diagnóstico y priorización fueron sistemáticamente traducidos en requisitos técnicos de diseño mediante la aplicación del despliegue de la función de calidad (QFD). Esta herramienta permitió vincular de forma explícita las causas y modos de falla críticos con atributos técnicos del sistema, asegurando coherencia entre la problemática identificada y las decisiones de diseño adoptadas.

A partir de este proceso se definieron requisitos orientados, principalmente, a la reducción de intervenciones manuales críticas, a la disminución de la dependencia del operador durante el proceso de acople, al aseguramiento consistente del cierre del mecanismo y a la mantención de compatibilidad dimensional y normativa con el segmento de remolques livianos. Esta traducción evitó decisiones de diseño arbitrarias y permitió establecer una base técnica clara para el desarrollo de la propuesta de rediseño.

7.1.4 Objetivo específico 4

“Desarrollar y evaluar de manera comparativa una propuesta de rediseño del sistema de acople, orientada a reducir la dependencia del operador, contrastando su desempeño conceptual y funcional con sistemas tradicionales mediante criterios asociados a acciones críticas, pasos operativos y condiciones que incrementen la probabilidad de desacople involuntario.”

Este objetivo se considera cumplido, ya que el desarrollo del Sistema Autolock responde directamente a los requisitos técnicos priorizados y a las decisiones de diseño definidas en las etapas previas. La propuesta incorpora un mecanismo de cierre asistido que reduce la cantidad de pasos manuales críticos requeridos para asegurar el sistema, disminuyendo la dependencia del operador durante el proceso de acople, sin alterar la compatibilidad con configuraciones dimensionales y normativas existentes.

La evaluación comparativa desarrollada en el Capítulo V, de carácter analítico y funcional, permitió contrastar el sistema propuesto con un acople tradicional a partir de métricas operativas como número de pasos, intervenciones manuales críticas y tiempo estimado de operación. Los resultados obtenidos indican una reducción relevante de estas variables, lo que es coherente con el enfoque del diseño y con la problemática abordada. Si bien esta evaluación no constituye una validación experimental en condiciones reales de uso, entrega evidencia suficiente para sostener que el rediseño propuesto contribuye a reducir las condiciones que incrementan la probabilidad de desacople involuntario, cumpliendo así el objetivo planteado.

7.2 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El presente estudio presenta un conjunto de limitaciones que se derivan directamente del alcance definido para el proyecto y del enfoque metodológico adoptado. En coherencia con los objetivos planteados, la investigación se orientó al rediseño conceptual y funcional de un sistema de acople para remolques livianos, priorizando la identificación de causas raíz, la reducción de la dependencia del operador y la mejora de la seguridad operacional desde una perspectiva de diseño y análisis de riesgos.

En este marco, la evaluación del sistema propuesto se desarrolló mediante herramientas de carácter analítico y comparativo, tales como el análisis funcional del mecanismo, la descomposición del proceso de acople y desacople, la reducción de pasos operativos y la identificación de intervenciones manuales críticas, así como la comparación conceptual con sistemas de acople tradicionales. Este enfoque resulta coherente con la etapa de desarrollo del proyecto, ya que permite

evaluar el cumplimiento de los objetivos de diseño sin requerir, en esta fase, ensayos experimentales extensivos ni procesos de validación normativa formal.

Si bien el sistema Autolock fue materializado mediante un prototipo físico funcional a escala 1:1, su evaluación se limitó a la verificación del principio de funcionamiento, la secuencia operativa de acople y desacople y la coherencia mecánica general del diseño bajo condiciones controladas. No se realizaron ensayos instrumentados de carga, fatiga, vibración ni pruebas en condiciones reales de circulación, los cuales serían necesarios para cuantificar de manera precisa el desempeño estructural, la durabilidad y el comportamiento del sistema en escenarios operativos prolongados.

Asimismo, no se abordaron en profundidad análisis asociados a vida útil, acumulación de tolerancias por desgaste, comportamiento frente a corrosión ni validaciones certificables conforme a protocolos normativos específicos. Estas instancias requieren equipamiento especializado, procedimientos de ensayo estandarizados y tiempos de observación prolongados, lo que excede el alcance y los recursos considerados para el desarrollo del presente trabajo.

En consecuencia, las conclusiones obtenidas deben interpretarse dentro del marco de una evaluación conceptual y funcional, orientada a demostrar la viabilidad técnica del rediseño y su coherencia con los objetivos de reducción de la dependencia del operador y mitigación del riesgo de desacople involuntario. El estudio no pretende sustituir procesos de validación industrial, homologación o certificación, sino constituir una base técnica sólida para su desarrollo y evaluación posterior.

Estas limitaciones no invalidan los resultados alcanzados, sino que delimitan de manera explícita el alcance del trabajo y refuerzan la necesidad de estudios futuros orientados a una validación experimental detallada del sistema propuesto.

7.3 RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos y considerando las limitaciones identificadas en el presente estudio, se recomienda avanzar hacia una etapa de validación experimental controlada del sistema Autolock, orientada a cuantificar su desempeño de manera objetiva y trazable antes de una eventual implementación a mayor escala.

En particular, se sugiere el desarrollo de ensayos instrumentados que permitan medir variables críticas asociadas a la seguridad operacional del sistema, tales como las cargas longitudinales y verticales transmitidas durante el acople, el comportamiento del mecanismo

de traba bajo vibración, la resistencia a aperturas no deseadas y la repetibilidad del proceso de cierre asistido. La obtención de este tipo de información permitiría contrastar cuantitativamente las estimaciones realizadas en la etapa de diseño y evaluación comparativa.

Asimismo, se recomienda establecer protocolos de ensayo replicables, alineados con los estándares normativos aplicables a sistemas de acople para remolques livianos, con el fin de facilitar futuras instancias de certificación, homologación y validación externa. La disponibilidad de datos medibles y verificables resulta clave para respaldar técnicamente el diseño frente a fabricantes, distribuidores y entidades reguladoras.

Finalmente, se sugiere complementar estas instancias con pruebas de uso repetido y evaluaciones de desgaste progresivo, orientadas a analizar la durabilidad del mecanismo y su comportamiento a lo largo del tiempo. Estas acciones permitirían consolidar el diseño propuesto y fortalecer su base técnica para una eventual transferencia hacia etapas de producción y distribución.

7.4 TRABAJO FUTURO (PROSPECTIVA)

A partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo, se identifican diversas líneas de desarrollo futuro orientadas a profundizar y consolidar el sistema de acople Autolock, avanzando desde una validación conceptual y funcional hacia escenarios de implementación industrial y comercial.

Como primera línea de trabajo, se propone la realización de una validación experimental integral, incorporando ensayos de carga estática y dinámica, pruebas de fatiga, vibración y evaluación del comportamiento del sistema bajo condiciones reales de operación. Estas instancias permitirán caracterizar con mayor precisión el desempeño estructural del mecanismo de traba, su confiabilidad en el tiempo y su respuesta frente a solicitudes no abordadas en el alcance del presente estudio.

En una segunda línea, se plantea la evaluación normativa y certificable del sistema, alineando el diseño con protocolos de ensayo estandarizados y requisitos regulatorios vigentes para sistemas de acople de remolques livianos. Este proceso constituye un paso necesario para habilitar su homologación y eventual inserción en mercados formales.

Finalmente, se sugiere explorar mejoras complementarias al diseño actual, tales como la incorporación de indicadores visuales pasivos u otros elementos de apoyo que faciliten la inspección del estado de acople por parte del usuario. Estas mejoras podrían reforzar la seguridad operacional del sistema sin contradecir el enfoque central del proyecto, basado en la reducción de la dependencia del operador y la eliminación de variables operativas críticas.

En conjunto, estas líneas de trabajo futuro permiten proyectar el desarrollo del sistema Autolock más allá del alcance del presente estudio, posicionándolo como una solución técnicamente viable y escalable dentro del contexto de la seguridad en sistemas de acople para remolques livianos.

REFERENCIAS

La presente sección reúne las fuentes bibliográficas y normativas utilizadas como sustento teórico y técnico para el desarrollo del proyecto. Estas referencias respaldan los conceptos asociados a seguridad operacional, error humano, diseño centrado en el usuario y normativas aplicables a sistemas de acople para remolques, permitiendo fundamentar las afirmaciones, decisiones metodológicas y criterios de diseño empleados a lo largo del documento.

LISTADO DE REFERENCIA

Akao, Y. (1990). *Quality function deployment: Integrating customer requirements into product design*. Productivity Press.

AL-KO Vehicle Technology. (s. f.). *AKS AutoLatch coupling system* [datos pendientes de URL o ficha técnica].

AXF Chile. (s. f.). *Sistemas de acople hidráulico para remolques* [datos pendientes de URL o ficha técnica].

Bluxeo. (2025). *Materiales, aleaciones y fallas mecánicas en componentes sometidos a carga dinámica* [datos pendientes].

Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. (2011). *Product design for manufacture and assembly* (3rd ed.). CRC Press.

Bosch Rexroth. (2023). *Hydraulic components and sealing systems for demanding applications* [datos pendientes de URL o ficha técnica].

Cadena SER. (2025). *Problemas normativos y de cumplimiento en transporte con remolques* [datos pendientes].

Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito. (2023). *Informe de seguridad vial y equipamiento de remolques* [datos pendientes de URL].

CURT Manufacturing. (2023). *Trailer hitch and ball mount product specifications* [datos pendientes de URL].

Dunkay. (s. f.). *Acople reforzado tipo pico de loro* [datos pendientes de URL o ficha técnica].

Epidor. (2024). *Ajustes, holguras e interferencias en componentes mecánicos* [datos pendientes].

Gorayeb & Associates. (2024). *Trailer accident causes and external operating conditions* [datos pendientes de URL].

Hydrauliska. (2023). *Hydraulic trailer coupling systems and adjustment tolerances* [datos pendientes de URL o ficha técnica].

Instituto Nacional de Normalización. (2022). *NCh 2826: Remolques para vehículos livianos*. Instituto Nacional de Normalización.

International Electrotechnical Commission. (2018). *IEC 60812: Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)*. International Electrotechnical Commission.

International Organization for Standardization. (2010). *ISO 12100: Safety of machinery—General principles for design—Risk assessment and risk reduction*. International Organization for Standardization.

International Organization for Standardization. (2017). *ISO 9227: Corrosion tests in artificial atmospheres—Salt spray tests*. International Organization for Standardization.

International Organization for Standardization. (2018a). *ISO 11521: Road vehicles—Trailer couplings—Fatigue test*. International Organization for Standardization.

International Organization for Standardization. (2018b). *ISO 45001: Occupational health and safety management systems—Requirements with guidance for use*. International Organization for Standardization.

International Organization for Standardization. (2018c). *ISO/IEC Guide 2: Standardization and related activities—General vocabulary*. International Organization for Standardization.

International Organization for Standardization. (2020). *ISO 1103: Road vehicles—Connections between towing vehicles and trailers*. International Organization for Standardization.

Inspenet. (s. f.). *Fallas por fatiga en sistemas mecánicos y componentes estructurales* [datos pendientes de URL].

Ishikawa, K. (1985). *What is total quality control? The Japanese way*. Prentice Hall.

JOST. (2023). *Pneumatic coupling systems for commercial vehicles and trailers* [datos pendientes de URL o ficha técnica].

Jones, R., & Miller, T. (2019). Mechanical hitch performance under dynamic loading. *Journal of Vehicle Safety Engineering* [datos pendientes de volumen, número y páginas].

MercadoLibre Chile. (s. f.). *Sistema de bloqueo externo mediante candado para acople tipo bola* [datos pendientes de URL].

Metalbert. (s. f.). *Acoples mecánicos tipo bola para remolques*. <https://www.metalbert.cl>

MetalCar. (s. f.). *Acoples reforzados para remolques de mayor capacidad* [datos pendientes de URL].

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2006). *Decreto Supremo N.º 22: Establece normas sobre frenos de remolques y semirremolques*. Gobierno de Chile.

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (s. f.). *Ley de Tránsito N.º 18.290*. Gobierno de Chile.

National Highway Traffic Safety Administration. (2018). *Traffic safety facts: Large trucks*. U.S. Department of Transportation.

Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Academic Press.

Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things* (Revised and expanded ed.). Basic Books.

Plantas de Revisión Técnica de Chile. (2022). *Manual de procedimientos e interpretación de resultados de revisión técnica vehicular: Clase A2*. https://www.prt.cl/Documentos/Manual_de_Procedimientos_e_Interpretacion_de_Resultados_A2_V16.29.pdf

Pruftechnik. (2022). *Fatigue failure and condition monitoring in mechanical components* [datos pendientes de URL].

Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2014). *The six sigma handbook* (4th ed.). McGraw-Hill Education.

Rapid Direct. (s. f.). *Trailer hitch failure causes and prevention*. <https://www.rapiddirect.com>

Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge University Press.

Ringfeder Power Transmission. (2021). *Automatic jaw coupling systems for heavy-duty trailer applications* [datos pendientes de URL o ficha técnica].

Rodríguez, [Inicial pendiente]., & Martínez, [Inicial pendiente]. (2021). *Análisis de fallas por desalineación, holguras y desgaste en mecanismos de acople* [datos pendientes].

SAE International. (2011). *Trailer couplings, hitches, and safety chains—Automotive type* (SAE Standard No. J684). SAE International.

SAE International. (2021). *Trailer couplings, hitches, and safety chains* (SAE Standard No. J684). SAE International.

SAF-Holland. (2023). *Heavy-duty coupling systems and fifth wheel technology* [datos pendientes de URL o ficha técnica].

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>

Shingo, S. (1986). *Zero quality control: Source inspection and the poka-yoke system*. Productivity Press.

Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution* (2nd ed.). ASQ Quality Press.

T21 México. (2021). *Cultura de carga segura y riesgos operacionales en transporte con remolques* [datos pendientes de URL].

TTP Chile. (s. f.). *Sistemas de acople neumático para remolques de alta capacidad* [datos pendientes de URL o ficha técnica].

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2012). *Product design and development* (5th ed.). McGraw-Hill.

Yamazen. (s. f.). *Trailer coupling systems and safety considerations*. <https://www.yamazen.co.jp>

ANEXOS

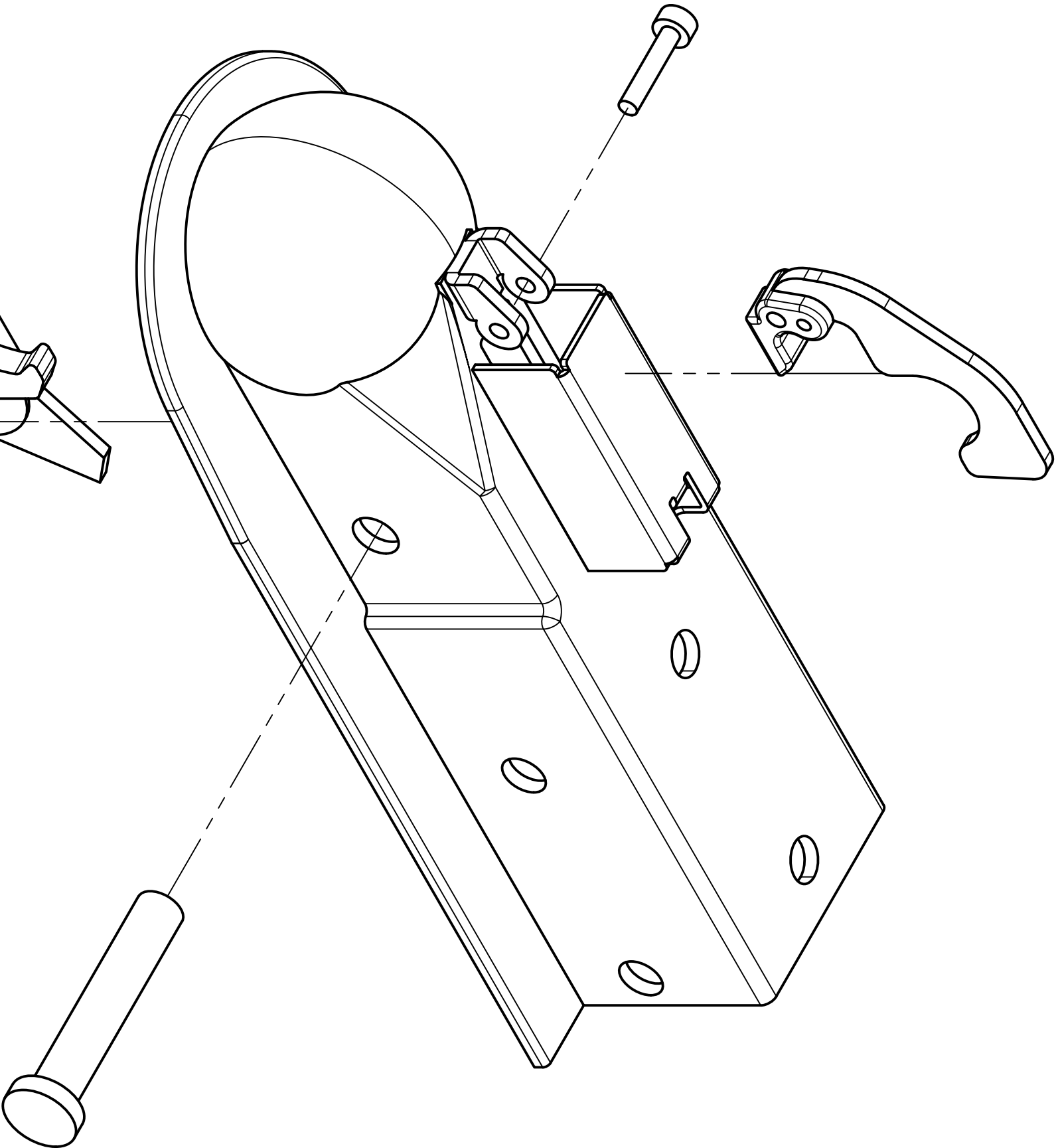
En particular, se incluyen como anexos los planos de fabricación del sistema de acople propuesto, los cuales definen en detalle la geometría, dimensiones, tolerancias y especificaciones constructivas necesarias para su correcta materialización. Dado que estos planos requieren ser visualizados en formatos de mayor tamaño para preservar su legibilidad y escala original, se presentan en formato digital (PDF) al final del documento.

Asimismo, se incorpora un enlace a la presentación asociada a la tesis, utilizada como material de apoyo para la exposición del proyecto, la cual sintetiza los principales aspectos del trabajo desarrollado, incluyendo la problemática abordada, la metodología aplicada, el diseño propuesto y los resultados obtenidos.

ENLACE DE PRESENTACIÓN:

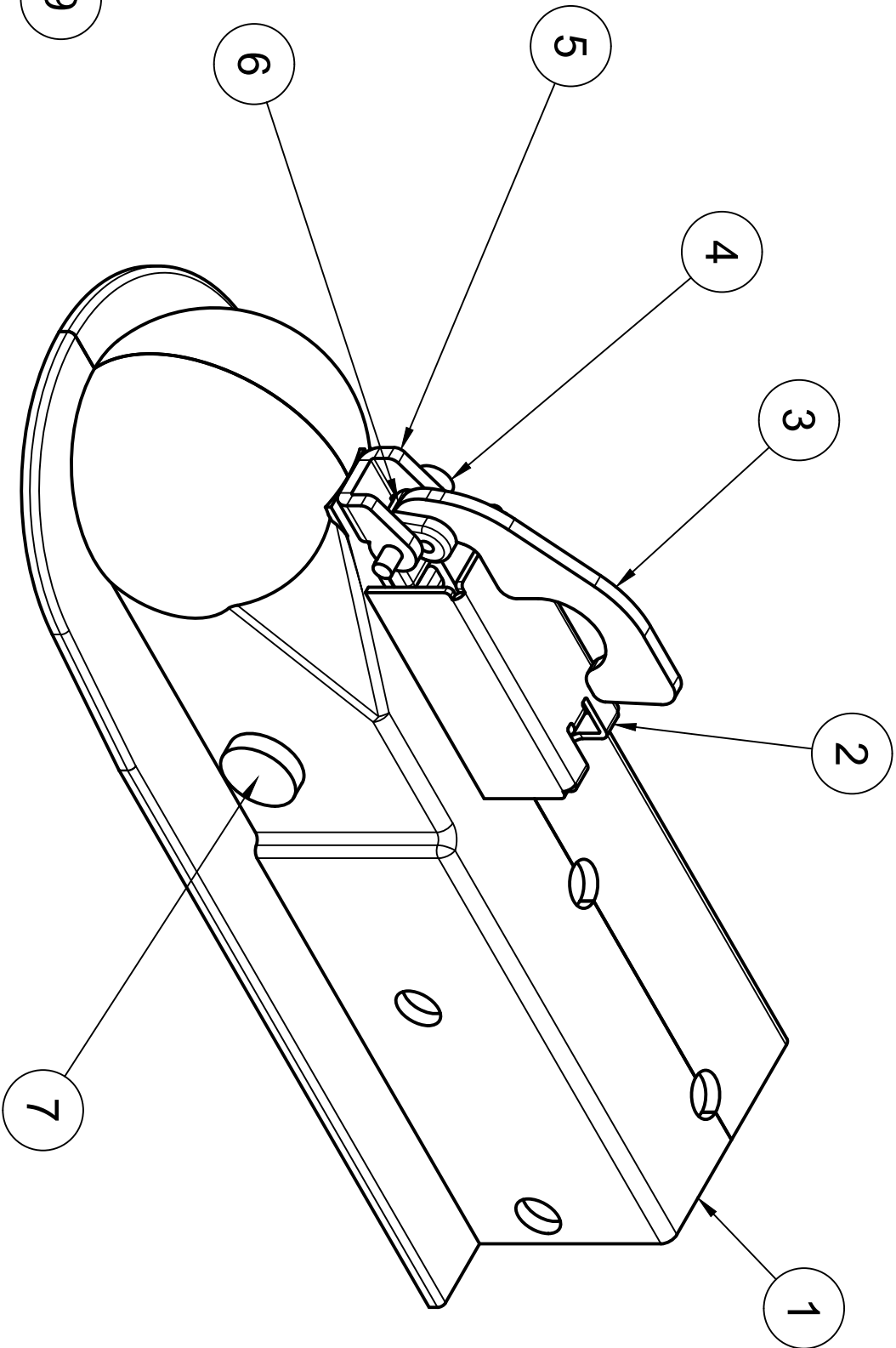
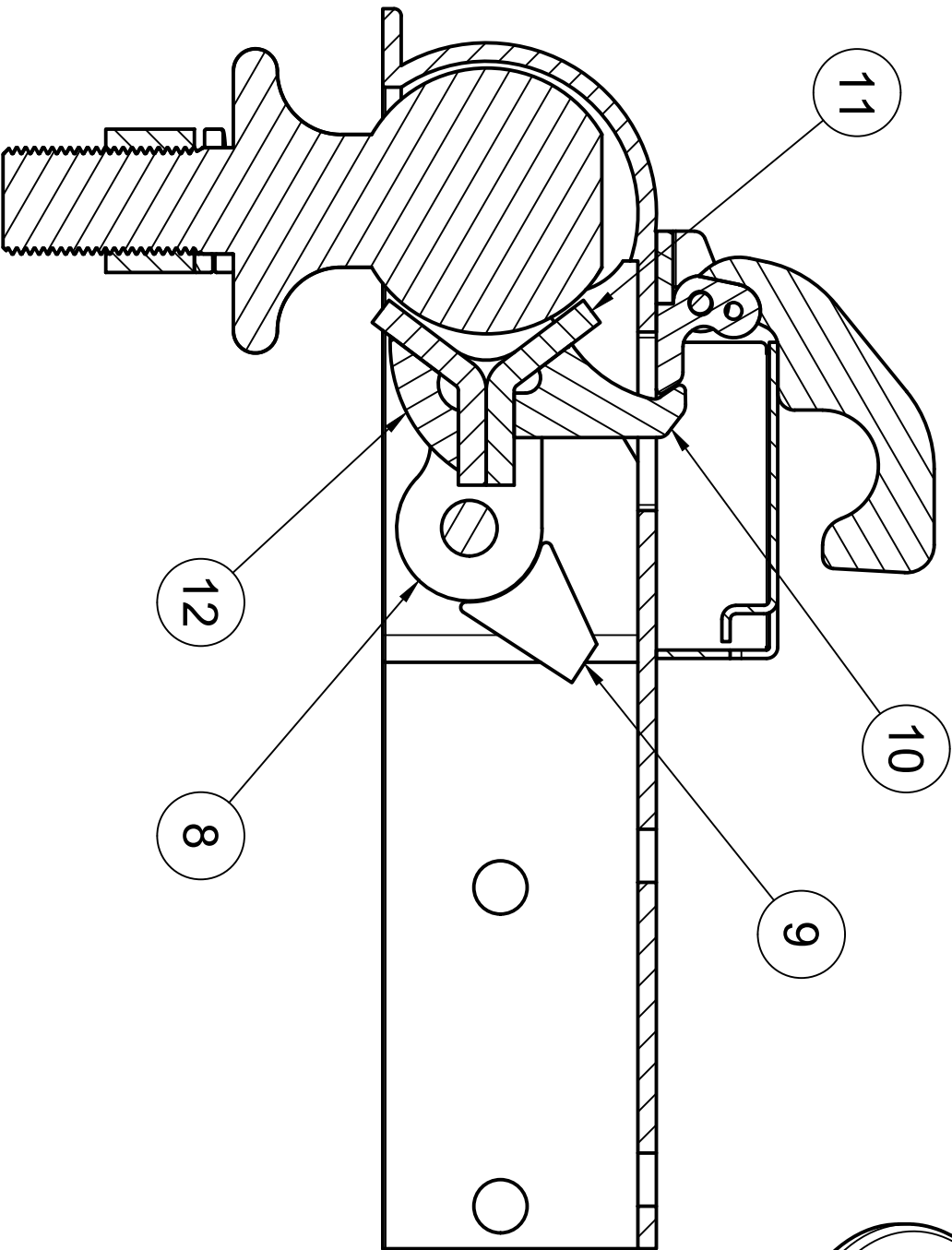
https://www.canva.com/design/DAG1BP1eMok/ANvsnQ-wY_6JTigrS_PoQ/edit?utm_content=DAG1BP1eMok&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton

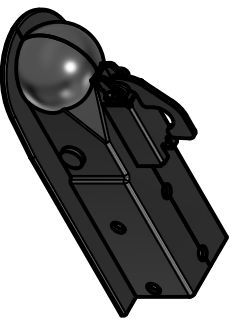
PLANOS

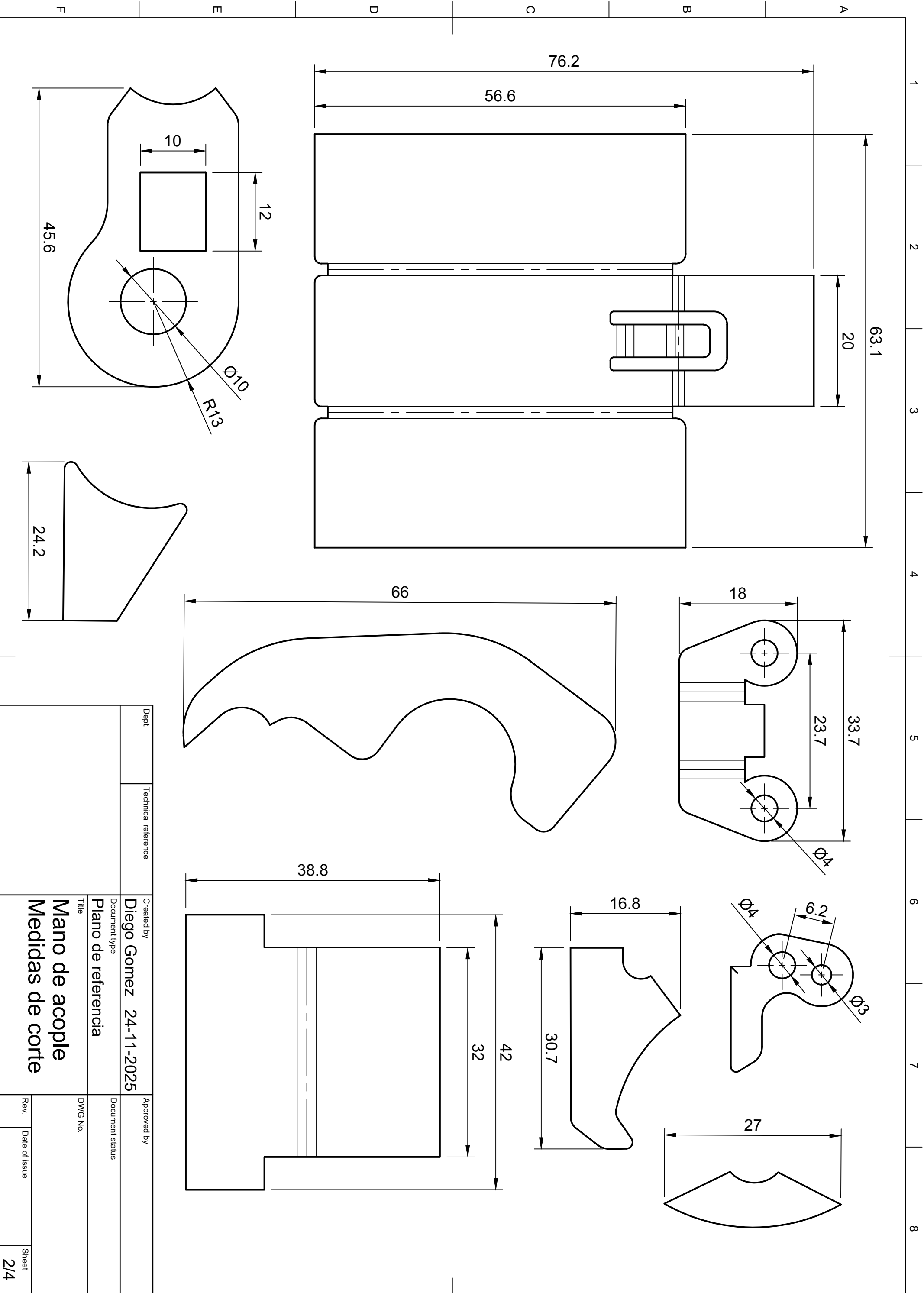


Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Diego Gomez 24-11-2025	
		Document type	Document status
		Plano de ensamble	
		Title	DWG No.
	Referencia		
		Rev.	Date of issue
			Sheet
			1/1

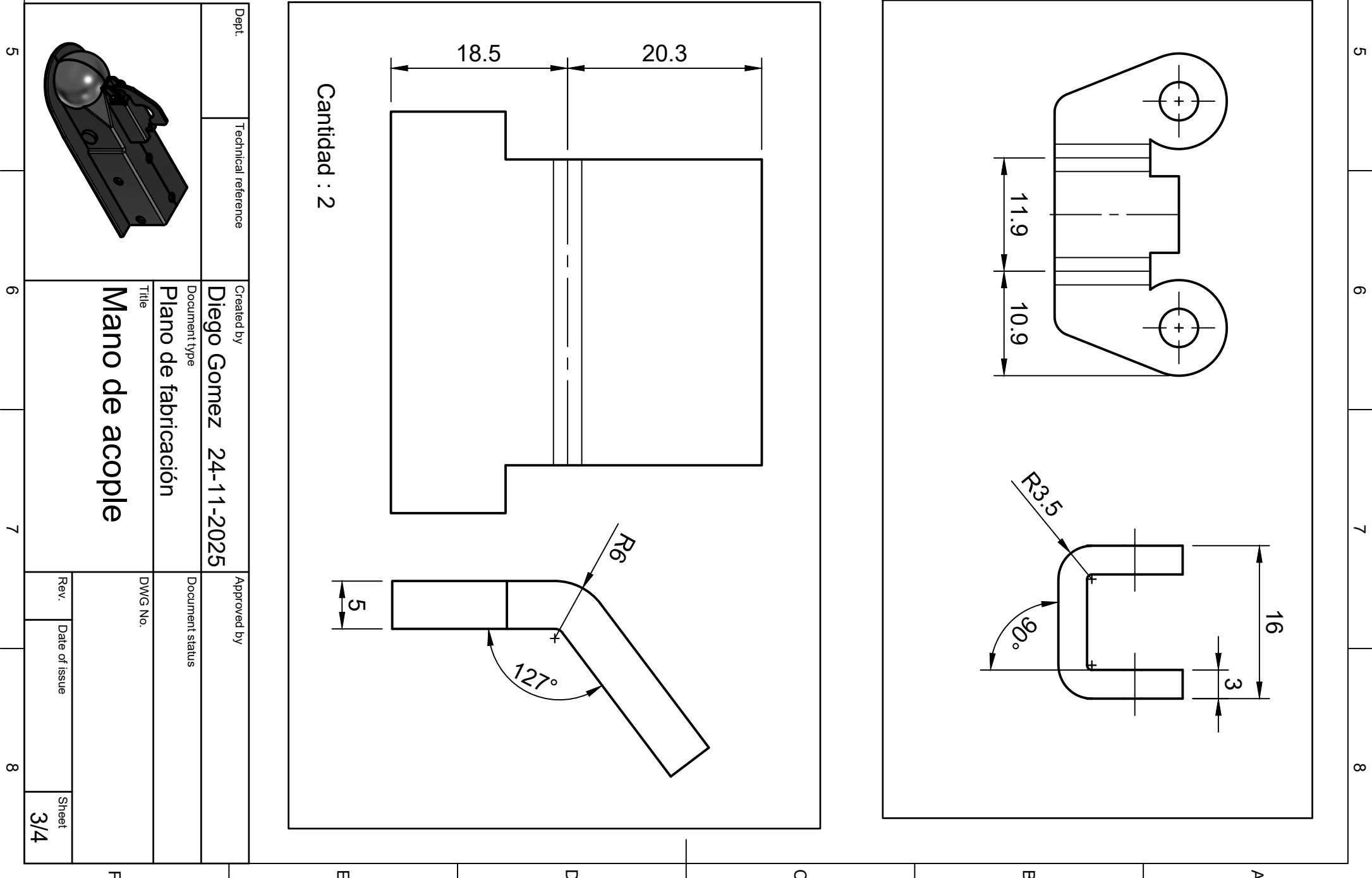
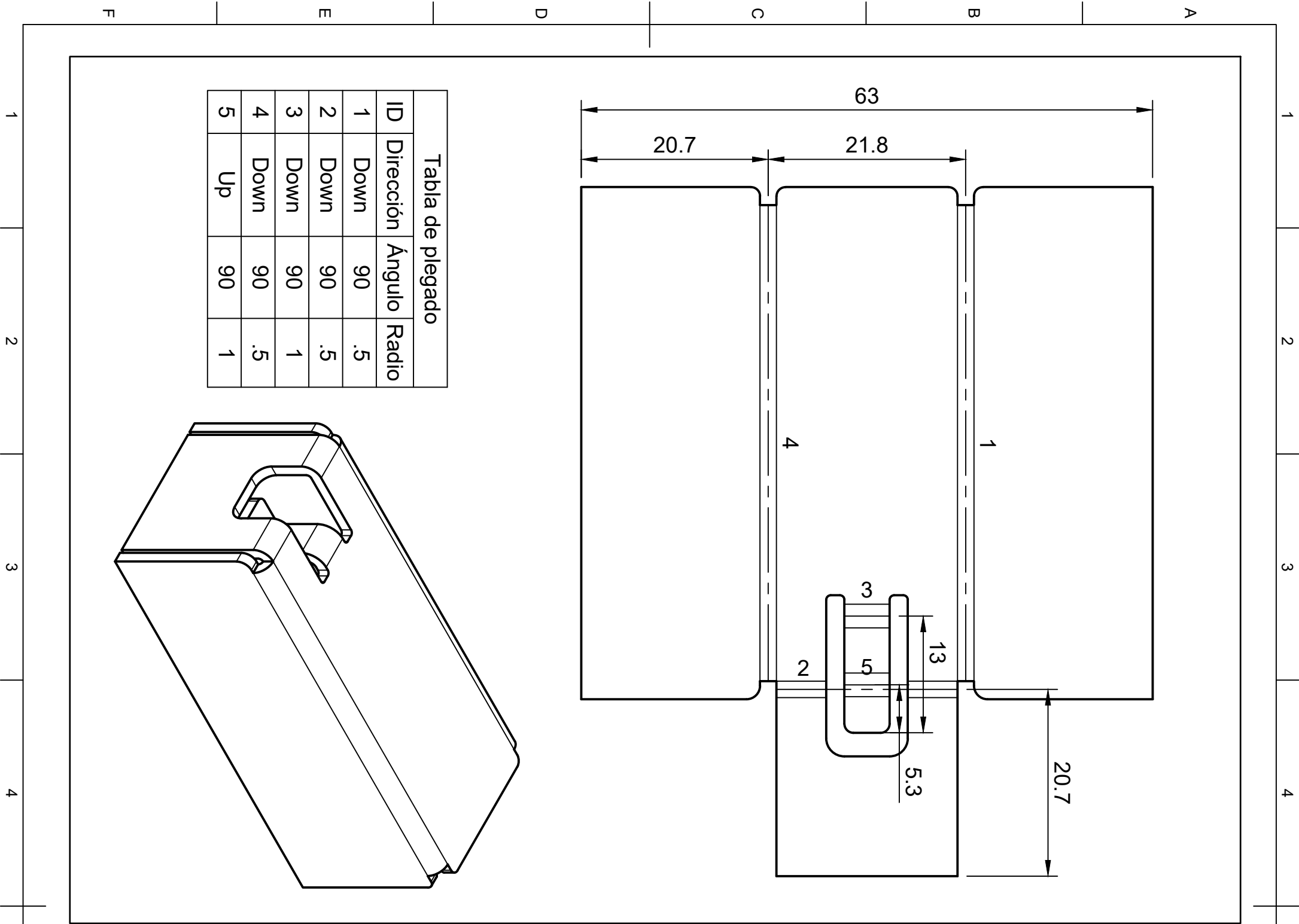
Lista de piezas			
ID	Cant.	Nombre de la pieza	Material
1	1	Acople estandar	-
2	1	Protector resorte	Plancha de 1.5 [mm]
3	1	Manilla de liberacion	Plancha de 3 [mm]
4	1	Pivote palanca	-
5	1	Sostén pasador	Plancha de 3 [mm]
6	1	Martillo receptor	Plancha de 10 [mm]
7	1	Pasador principal	-
8	2	Horquilla estructural	Plancha de 5 [mm]
9	1	Tope mecanico	Plancha de 3 [mm]
10	1	Gancho de traba	Plancha de 6 [mm]
11	2	Lengua receptora	Plancha de 5 [mm]
12	1	Refuerzo inferior	Plancha de 5 [mm]

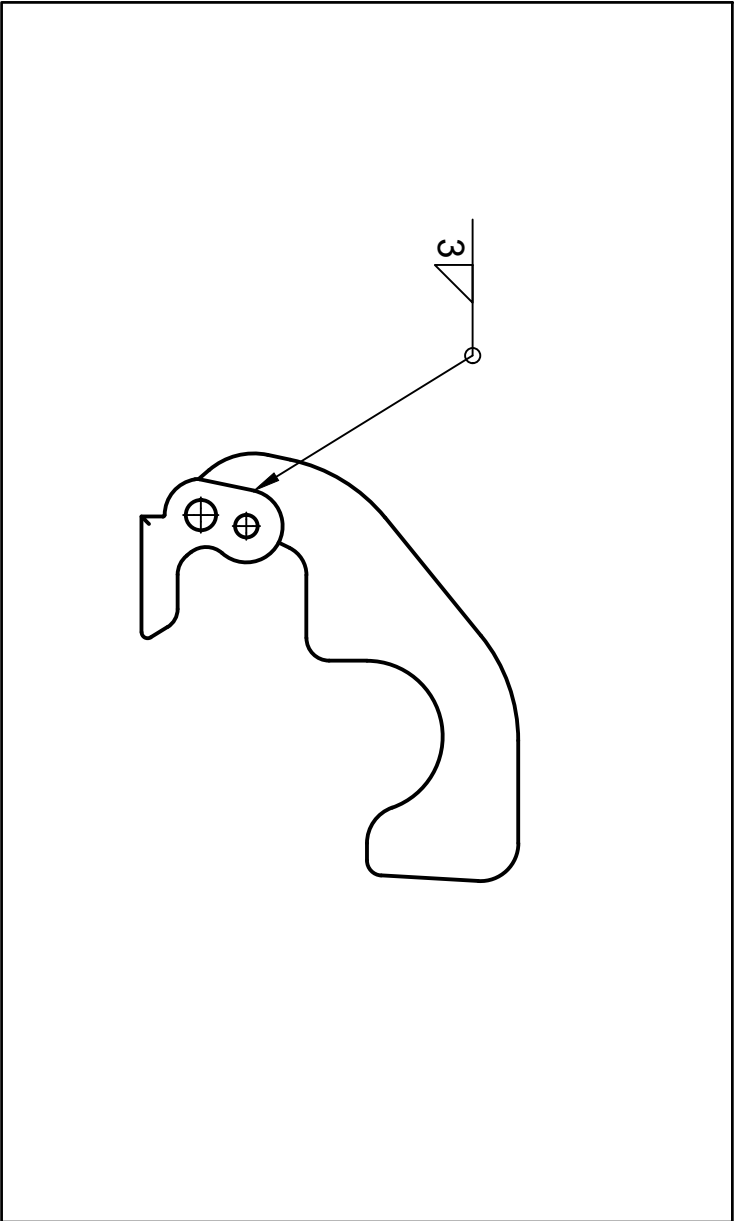
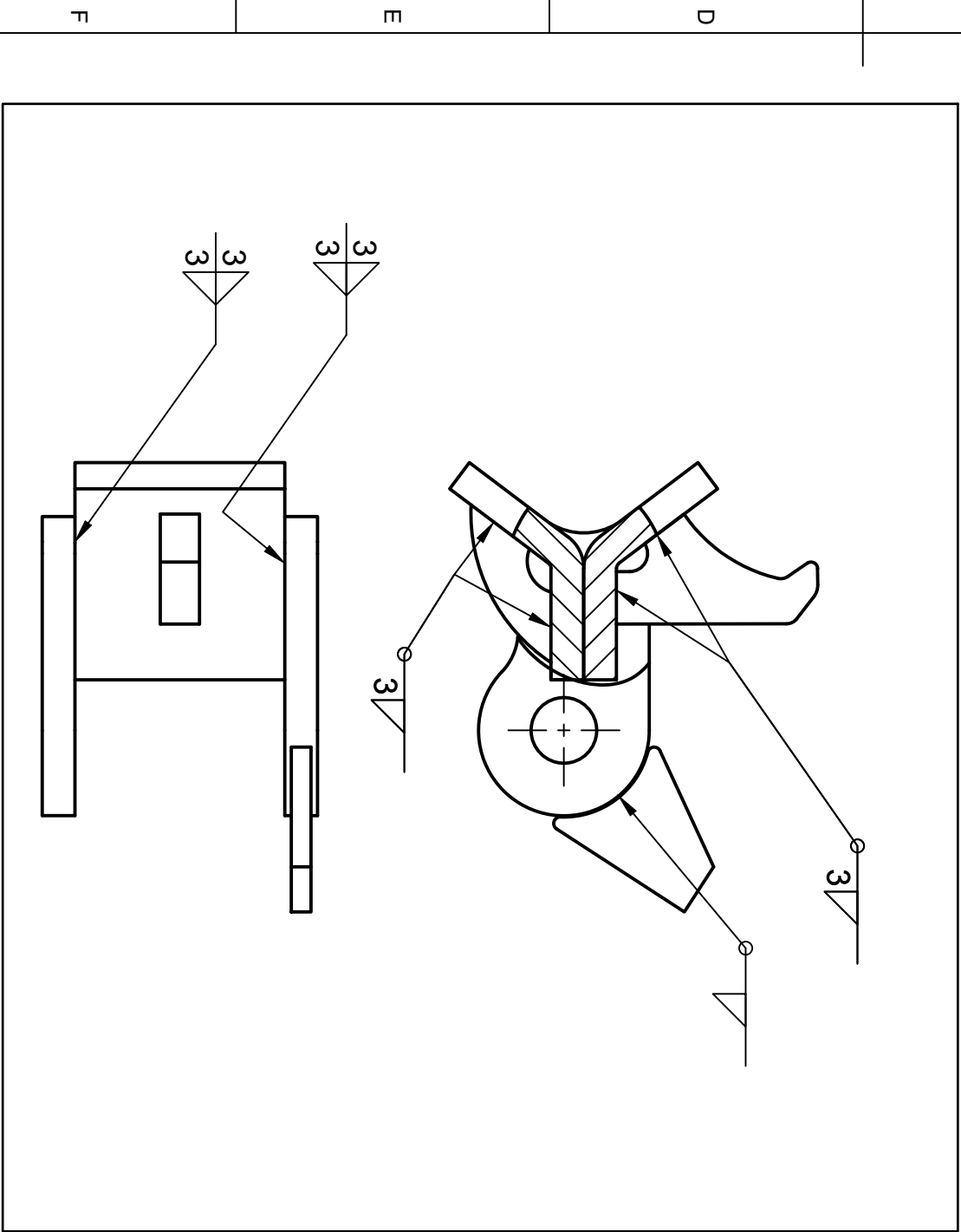
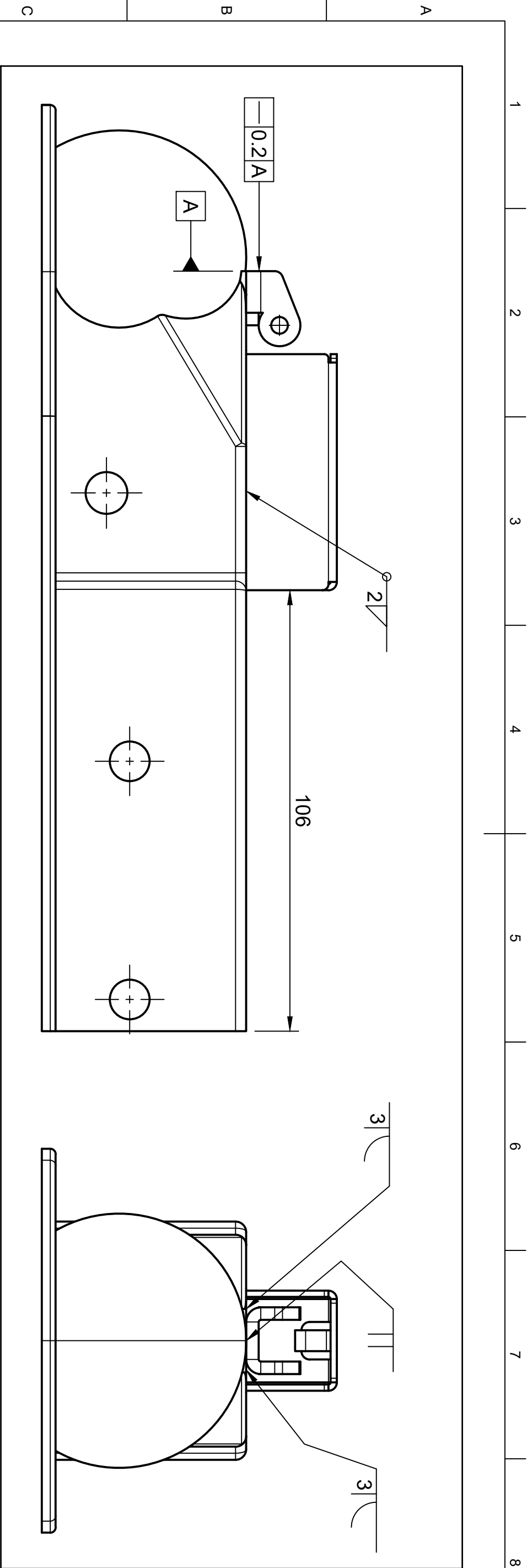


Dept.	Technical reference	Created by	Approved by		
		Diego Gomez 24-11-2025			
		Document type	Document status		
		Plano de conjunto			
		Title	DWG No.		
		Mano de acople			
Rev.	Date of issue				Sheet
					1/4



Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Diego Gomez 24-11-2025	
		Document type	Document status
		Plano de referencia	
	Title	DWG No.	
		Mano de acople Medidas de corte	
			Rev. Date of issue Sheet
			2/4





Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Diego Gomez 24-11-2025	
		Document type	Document status
		Plano de referencial	
		Title	DWG No.
		Mano de acople	
		Rev.	Date of issue
			Sheet
			4/4