

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE DE VIÑA DEL MAR- JOSÉ MIGUEL CARRERA

**REDISEÑO DE CARRO DE SOLDADOR MULTIFUNCIONAL CON ENFOQUE EN
ERGONOMÍA, SEGURIDAD E INNOVACIÓN**

Proyecto de título para optar al Título de
INGENIERIA EN FABRICACION Y DISEÑO
INDUSTRIAL con Licenciatura en Ingenieria en
Fabricacion y Diseño Industrial.

Alumno:

Ignacia Monserrat Saavedra Díaz

Profesor Guía:

Dr. Carlos Antillanca Espina.



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 CARRO DE SOLDADOR MULTIFUNCIONAL CON ENFOQUE EN ERGONOMÍA, SEGURIDAD E INNOVACIÓN**

Nombre del candidato(a): Ignacia Monserrat Saavedra Díaz

Carrera / Grado: Ingeniería en Fabricación y Diseño industrial

Campus: Sede Viña del Mar

Departamento: Diseño y Manufactura

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Carlos Antillanca Espina, 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: 16-10-2026

Firma:



Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 16-10-2026

Firma:

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

RESUMEN

KEYWORDS: DISEÑO ERGONÓMICO – MANIPULACIÓN MANUAL DE CARGAS – TRANSPORTE DE CILINDROS DE GAS – SEGURIDAD INDUSTRIAL – CARRO DE SOLDADOR – SISTEMA DE LEVANTE ASISTIDO.

El presente proyecto de título aborda el rediseño de un carro de soldador multifuncional, orientado a mejorar las condiciones ergonómicas, de seguridad y eficiencia en el transporte de cilindros de argón y equipos de soldadura en entornos industriales.

El objetivo principal es reducir el esfuerzo físico asociado a la manipulación manual de cargas pesadas, considerando que los cilindros pueden superar los 80 kg, lo que representa un riesgo significativo de lesiones musculoesqueléticas y accidentes laborales.

Para el desarrollo del proyecto, se realizó un diagnóstico de las condiciones actuales de uso mediante observación en terreno y análisis de requerimientos, identificando problemáticas relacionadas con posturas forzadas, inestabilidad del equipo y ausencia de sistemas de asistencia mecánica.

En base a estos antecedentes, se propone el diseño de un carro que incorpora criterios ergonómicos, normativos y de seguridad, incluyendo un sistema de levante asistido, mejoras en la distribución de carga y mecanismos que optimizan la maniobrabilidad del equipo.

Finalmente, el diseño es evaluado mediante herramientas de análisis estructural y criterios de usabilidad, permitiendo validar su desempeño y factibilidad, contribuyendo a mejorar las condiciones de trabajo y reducir los riesgos asociados a la actividad de soldadura.

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

A. SIGLAS

AMFE : Análisis de Modo y Efecto de Fallas

ANSI : American National Standards Institute

AISI : American Iron and Steel Institute

ASTM : American Society for Testing and Materials

AWS : American Welding Society

BCN : Biblioteca del Congreso Nacional de Chile

CGA : Compressed Gas Association

CLP : Peso Chileno

DS : Decreto Supremo

FEA : Finite Element Analysis (Análisis por Elementos Finitos)

IEC : International Electrotechnical Commission

ISO : International Organization for Standardization

NCh : Norma Chilena

NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health

OIT : Organización Internacional del Trabajo

OSHA : Occupational Safety and Health Administration

QFD : Quality Function Deployment (Despliegue de la Función Calidad)

RPN : Risk Priority Number (Número de Prioridad de Riesgo)

SUSESO: Superintendencia de Seguridad Social

TME : Trastornos Musculoesqueléticos

TMERT : Protocolo de Vigilancia de Trastornos Musculoesqueléticos
Relacionados con el Trabajo

USD : United States Dollar

ACHS : Asociación chile de seguridad

MMC : Manipulación manual de carga

B. SIMBOLOGÍAS

kg : Kilogramo

kgf : Kilogramo fuerza

N : Newton

cm : Centímetro

° : Grado

% : Porcentaje

$\geq$: Mayor o igual

$<$: Menor

$>$: Mayor

ν : Coeficiente de Poisson

ρ : Densidad

Von

Mises : Criterio de esfuerzo equivalente

ÍNDICE

RESUMEN

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

1

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

2

1. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

3

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3

1.1.2. Delimitación y Alcance de los Antecedentes

3

1.2. OBJETIVO GENERAL

4

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

4

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

5

2. MARCO TEÓRICO

6

2.1. ERGONOMÍA APLICADA AL DISEÑO INDUSTRIAL

6

2.2. MANIPULACIÓN DE CARGAS Y RIESGOS MUSCULOESQUELÉTICOS

6

2.3. SEGURIDAD INDUSTRIAL APLICADA A EQUIPOS DE SOLDADURA

6

2.3.1. Normativa nacional (Chile)

7

2.3.2. Normativa internacional

7

2.4. REALIDAD ACTUAL DE LA ERGONOMÍA DE LOS CARROS

8

2.4.1. Realidad en Chile

8

2.4.2. Realidad en Estados Unidos

9

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE DISEÑO

11

3. METODOLOGÍA DE DISEÑO

12

3.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DEL USUARIO

12

3.1.3. Entrevista semiestructurada

12

3.1.1. Observación en terreno

12

3.1.2. Identificación del usuario en terreno

14

3.1.3. Entrevista semiestructurada

14

3.1.4. Investigación conceptual y journey map: análisis del usuario en entorno real

14

3.2. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DISEÑO

15

3.2.1. Diagrama de Ishikawa

15

3.2.2. QFD – Despliegue de la Función Calidad

16

3.2.3. AMFE – Análisis de Modo y Efecto de Fallas

18

3.2.4. Enfoque de ergonomía de concepción

19

CAPÍTULO 4: DIAGNÓSTICO DE CARROS EXISTENTES

22

4. DIAGNÓSTICO DE CARROS EXISTENTES

23

4.1. INVESTIGACIÓN CONTEXTUAL Y HALLAZGOS EN TERRENO

23

4.1.1. Hallazgos principales de la investigación contextual

23

4.1.2. Journey Map sintetizado

25

4.2. ANÁLISIS DE CARROS DE SOLDADOR EXISTENTES EN EL MERCADO

26

4.2.1. Carros básicos para cilindros

26

4.2.2. Carros dobles para cilindros

27

4.2.3. Carro con transporte de elementos

28

4.3. COMPARACIÓN DE SOLUCIONES EXISTENTES

29

4.4. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMÁTICAS

30

4.4.1.	Problemática ergonómica	30
4.4.2.	Problemática de seguridad	30
4.4.3.	Problemática estructural	30
4.4.4.	Problemáticas funcionales	30
4.5.	SELECCIÓN Y PRIORIZACIÓN DE PROBLEMÁTICAS	31
4.6.	SÍNTESIS DEL DIAGNÓSTICO	32
CAPÍTULO 5: PROPUESTA DE REDISEÑO		33
5.	PROPUESTA DE REDISEÑO	34
5.1.	CONCEPTO GENERAL DE DISEÑO	34
5.2.	DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL REDISEÑO	34
5.3.	PROCESO MODELADO DEL DISEÑO	35
5.4.	DOCUMENTACIÓN GRÁFICA	39
5.4.1.	Plano de conjunto	39
5.4.2.	Planos de fabricación.	40
5.5.	CRITERIOS ERGONÓMICOS INCORPORADOS EN EL DISEÑO	40
5.6.	CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD DEL REDISEÑO	40
5.7.	APORTES INNOVADORES DE LA PROPUESTA	41
5.8.	VIABILIDAD TÉCNICA DEL DISEÑO.	41
CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO		42
6.	EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO	43
6.1.	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	43
6.2.	EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL DISEÑO	43
6.3.	ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS (FEA)	45
6.3.1.	Condiciones de carga	45
6.3.2.	Propiedades del material y condiciones de Borde	45
6.3.3.	Mallado	46
6.3.4.	Resultados	47
6.4.	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ERGONÓMICA	49
6.5.	EVALUACIÓN MEDIANTE PROTOTIPO FÍSICO	50
6.5.1.	Software de análisis postural	50
6.6.	EVALUACIÓN DE SEGURIDAD	54
6.6.1.	Conclusión del análisis	55
6.7.	SÍNTESIS DE EVALUACIÓN	56
CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE COSTOS		57
7.	ANÁLISIS DE COSTO	58
7.1.	CUBICACIÓN MATERIALES	58
7.2.	HERRAMIENTAS NECESARIAS	58
7.3.	ANÁLISIS COSTO MATERIALES	59
7.4.	ANÁLISIS COSTO MANO DE OBRA	61
7.5.	ANÁLISIS DE PRECIO FINAL DEL PROTOTIPO	61
7.6.	COMPARATIVA DE COMPETIVIDAD COMERCIAL	62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		63
Cumplimiento de los Objetivos Específicos		63
Recomendaciones para Trabajos Futuros		64

REFERENCIAS	66
ANEXOS	68
ANEXO A. PLANOS DE FABRICACIÓN	68
ANEXO B. CARTA GANTT	72
ANEXO C. ENTREVISTA A USUARIOS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1. Proceso de carga del cilindro	13
Figura 3-2. Carro soldador en empresa HERMI	13
Figura 3-3. Diagrama de Ishikawa	16
Figura 4-4. Carros actuales en terreno	25
Figura 4-5. Proceso de carga en formato Journey map	25
Figura 4-6. Carro de transporte de cilindro individual	26
Figura 4-7. Carro de transporte de doble cilindro	27
Figura 4-8. Carro de transporte de cilindro y elementos	28
Figura 5-9. Presentación rediseño	35
Figura 5-10. Proceso modelación en fusion 360 marco	36
Figura 5-11. Proceso modelación en fusion 360 laterales	36
Figura 5-12. Proceso modelación en fusion 360 delantero	36
Figura 5-13. Proceso modelación en fusion 360 trasero	37
Figura 5-14. Proceso modelación en fusion 360 base	37
Figura 5-15. Proceso modelación en fusion 360 parte superior	37
Figura 5-16. Proceso modelación en fusion 360 perfil	38
Figura 5-17. Proceso modelación en fusion 360 brazo basculante	38
Figura 5-18. Proceso modelación en fusion 360 elementos	38
Figura 5-19. Proceso modelación en fusion 360 ensambles	39
Figura 5-20. Sujeción cilindro	40
Figura 5-21. Ruedas con freno	41
Figura 5-22. Sistema basculante	41
Figura 6-23. Simulación en fusión	45
Figura 6-24. Mallado de simulación	46
Figura 6-25. Simulación Von Mises	48
Figura 6-26. Simulación factor de seguridad	48
Figura 6-27. Simulación primera tensión principal.	48
Figura 6-28. Simulación tercera tensión principal	48
Figura 6-29. Simulacion desplazamiento maximo	48
Figura 6-30. Prototipo	50
Figura 6-31. Inclinacion del usuario	51
Figura 6-32. Posición brazos modelo antiguo	51
Figura 6-33. Inclinación del usuario nuevo modelo	52
Figura 6-34. Ergonomía codos nuevo modelo	52

Figura 6-35. Esfuerzo antes vs ahora en cargar el cilindro	54
Figura 6-36. Ruedas utilizadas	54
Figura 6-37. Resumen entregado por Fusion 360	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Comparación con la realidad chilena.	10
Tabla 3-2. Implementación metodología QFD.	17
Tabla 3-3. Análisis de Modos de Falla - Sistema de Elevación.	18
Tabla 3-4. Especificaciones ergonómicas del rediseño.	19
Tabla 3-5. Especificaciones antropométricas - población chilena.	21
Tabla 4-6. Comparación de carros de soldador existentes en el mercado.	29
Tabla 4-7. Clasificación de los problemas encontrados.	31
Tabla 6-8. Comparación entre carros existentes y el rediseño viendo sus mejoras.	44
Tabla 6-9. Propiedades mecanicas de los materiales del ensamblaje	46
Tabla 6-10. Matriz consolidada de evaluacion ergonomica y conformidad normativa	53
Tabla 6-11. Comparacion en función de la seguridad	55
Tabla 6-12. Comparación final entre carros existentes y el carro rediseñado.	56
Tabla 7-13. Cubicación de materiales del carro.	58
Tabla 7-14. Herramientas necesarias para fabricación.	59
Tabla 7-15. Análisis de costo de materiales.	60
Tabla 7-16. Análisis de costo de mano de obra.	61
Tabla 7-17. Comparativo técnico-económico con alternativas del mercado.	62

INTRODUCCIÓN

En los sectores metalmecánico y de la construcción, el soldador desempeña labores que requieren el traslado constante de equipos pesados, tales como cilindros de gas, máquinas de soldar y herramientas auxiliares. Estas actividades suelen realizarse en condiciones exigentes, donde la seguridad, la eficiencia y la ergonomía del equipamiento resultan fundamentales para el bienestar del trabajador y la productividad del proceso.

En lo que resta del año 2026, los carros para soldadores disponibles en el mercado presentan soluciones parciales, enfocadas principalmente en el transporte del cilindro, sin considerar de manera integral la organización del equipo, la reducción del esfuerzo físico ni la adaptación a distintos entornos de trabajo. Esta situación obliga al usuario a realizar sobreesfuerzos, adoptar posturas forzadas y, en muchos casos, recurrir a modificaciones improvisadas que incrementan los riesgos de accidentes laborales.

Frente a este escenario, el presente proyecto propone el rediseño de un carro de soldador multifuncional con enfoque en ergonomía, seguridad e innovación, buscando entregar una solución técnica que responda a las necesidades reales del usuario, cumpla con normativas vigentes y aporte valor al sector industrial.

Se abordará la problemática mediante el rediseño integral de un carro para soldador dónde se pueda dar solución a los problemas existentes con los diseños actuales, para finalizar viendo la aprobación del usuario. ¹

Cabe mencionar considerar rediseñar como el hecho de modificar partes o elementos de un diseño ya existente para su mejora ya sea en aspecto o en funcionalidad.

¹ Para la redacción de este informe se utilizó el apoyo de inteligencias artificiales tales como; DeepSeek y Chat GPT con la finalidad de dar orden y formalidad técnica a lo expuesto en el documento.

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

1. **PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO**

El presente capítulo establece el planteamiento general del proyecto, definiendo el contexto, la problemática y los fundamentos que justifican su desarrollo. En este sentido, se analizan las condiciones actuales de uso de los carros de soldador en entornos industriales, identificando deficiencias en términos ergonómicos, de seguridad y funcionalidad.

A partir de este análisis, se evidencia la necesidad de desarrollar una solución que reduzca el esfuerzo físico del trabajador, minimice los riesgos asociados a la manipulación de cargas pesadas y optimice la organización del equipo de trabajo. En función de lo anterior, se definen el objetivo general y los objetivos específicos que guían el desarrollo del proyecto.

1.1. **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El desarrollo del presente proyecto surge a partir de una necesidad técnica y preventiva identificada en la empresa HERMI Ltda., relacionada con el elevado esfuerzo físico requerido por los trabajadores durante la manipulación, carga y traslado de cilindros de gas utilizados en las labores de soldadura.

Como antecedente de origen, durante el mes de diciembre del año 2024, la Asociación Chilena de Seguridad (ACHS) llevó a cabo una evaluación de las condiciones de trabajo en las instalaciones operativas bajo los marcos normativos vigentes de salud ocupacional (Manejo Manual de Cargas - MMC y Protocolo TMERT). En dicho proceso, el organismo administrador identificó un factor de riesgo crítico asociado al sobreesfuerzo físico y la adopción de posturas forzadas. Los hallazgos de dicha evaluación fueron comunicados formalmente al supervisor y al representante legal de la empresa HERMI Ltda., solicitando la búsqueda de soluciones técnicas para mitigar el riesgo ergonómico.

Posteriormente, a finales del mes de enero del año 2025, la autora se incorpora a la empresa HERMI Ltda., oportunidad en la que la supervisión le transmite la problemática planteada por la ACHS con el encargo de abordar la búsqueda de una alternativa de diseño que permitiera disminuir de forma sustancial el esfuerzo físico exigido a los operarios.

1.1.2. **Delimitación y Alcance de los Antecedentes**

Es importante precisar que, debido a que la evaluación inicial de la ACHS fue realizada con anterioridad al ingreso de la autora a HERMI Ltda. y sus antecedentes fueron transmitidos de manera interna por la contraparte de la empresa, no se dispone de los registros instrumentales de campo correspondientes a dicha medición previa. Por esta razón, la intervención de la ACHS se considera formalmente como parte del contexto y origen del proyecto, mientras que la caracterización, especificación y evaluación ergonómica desarrolladas en la presente memoria se sustentan de forma autónoma en la información recopilada en terreno, los requerimientos levantados con los usuarios y el análisis técnico-ingenieril del diseño propuesto.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Rediseñar un carro multifuncional para soldador que reduzca el esfuerzo físico en la manipulación de cilindros de argón, incorporando criterios ergonómicos, de seguridad y normativas vigentes.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las condiciones de uso de los carros de soldador en entornos industriales.
- Identificar las problemáticas ergonómicas y de seguridad asociadas al transporte de cilindros.
- Analizar soluciones existentes en el mercado.
- Diseñar un sistema de levante que reduzca el esfuerzo físico del usuario.
- Validar estructuralmente el diseño mediante análisis por elementos finitos (FEA).
- Evaluar la usabilidad del diseño con usuarios.
- Determinar los costos de fabricación del prototipo.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se desarrollan los fundamentos teóricos que sustentan el diseño del carro de soldador propuesto. Se abordan conceptos clave relacionados con ergonomía, manipulación manual de cargas, seguridad industrial y normativas vigentes aplicables al transporte de cilindros de gas.

El análisis de estos elementos permite establecer criterios de diseño orientados a reducir el esfuerzo físico del usuario, mejorar las condiciones de seguridad y optimizar la funcionalidad del equipo. Asimismo, se revisan soluciones existentes, con el fin de identificar oportunidades de mejora que serán consideradas en la propuesta de rediseño.

2.1. ERGONOMÍA APLICADA AL DISEÑO INDUSTRIAL

La ergonomía aplicada al diseño industrial busca adaptar los productos a las capacidades físicas y cognitivas del usuario, con el objetivo de mejorar la seguridad, el confort y la eficiencia en su uso.

En el contexto del presente proyecto, la aplicación de principios ergonómicos resulta fundamental, debido a que el uso de carros de soldador implica la manipulación de cargas pesadas, posturas forzadas y esfuerzos repetitivos.

Estas condiciones pueden generar fatiga y aumentar el riesgo de desarrollar trastornos musculoesqueléticos, especialmente en la zona lumbar.

Desde el punto de vista del diseño, la ergonomía permite definir parámetros clave como la altura de agarre, la disposición de los elementos, la distribución del peso y la reducción de esfuerzos innecesarios.

En este sentido, el rediseño del carro debe orientarse a minimizar la intervención física directa del trabajador, incorporando soluciones que faciliten el desplazamiento y posicionamiento del cilindro de gas.

2.2. MANIPULACIÓN DE CARGAS Y RIESGOS MUSCULOESQUELÉTICOS

La manipulación manual de cargas corresponde a cualquier operación en la que un trabajador levanta, transporta, empuja o sostiene un objeto.

Esta actividad representa un riesgo significativo cuando se realiza con cargas elevadas o de manera repetitiva, ya que puede generar lesiones musculoesqueléticas. En el caso de los cilindros de gas utilizados en soldadura, cuyo peso puede superar los 80 kg, la manipulación manual resulta crítica, debido a que excede ampliamente los valores recomendados para levantamiento seguro.

Por lo tanto, desde el punto de vista del diseño industrial, es necesario desarrollar soluciones que reduzcan o eliminen la manipulación directa de este tipo de cargas, mediante la incorporación de sistemas mecánicos que faciliten su desplazamiento y posicionamiento.

2.3. SEGURIDAD INDUSTRIAL APLICADA A EQUIPOS DE SOLDADURA

La seguridad industrial busca prevenir accidentes durante el uso de equipos. En soldadura, los riesgos se extienden al transporte de los cilindros de gas, los cuales, por su alta

presión interna, pueden generar fugas o volcarse si se manipulan incorrectamente. Un carro de soldador mal diseñado puede causar caídas del cilindro, fugas o daños al equipo, poniendo en peligro al operador. Por ello, un diseño seguro debe garantizar estabilidad estructural, sujeción confiable, frenos eficientes y resistencia mecánica adecuada, además de ser intuitivo para evitar su mal uso.

2.3.1. Normativa nacional (Chile)

El desarrollo del presente proyecto se encuentra relacionado con el marco normativo chileno en materia de seguridad y salud en el trabajo, manipulación de cargas y condiciones de seguridad en los lugares de trabajo. Dentro de este marco, se consideran las siguientes disposiciones:

La Ley N.º 16.744 del Ministerio del Trabajo y Previsión Social (1968) establece normas sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales, constituyendo uno de los principales cuerpos legales en materia de prevención de riesgos laborales en Chile. Esta normativa establece obligaciones orientadas a la protección de la salud y seguridad de las personas trabajadoras.

El Decreto Supremo N.º 44 del Ministerio del Trabajo y Previsión Social (2024) aprueba el Reglamento sobre Gestión Preventiva de los Riesgos Laborales para un Entorno de Trabajo Seguro y Saludable. Este reglamento establece obligaciones para la gestión preventiva de los riesgos laborales y para la protección de la vida y salud de los trabajadores, contemplando la identificación de peligros, evaluación de riesgos y adopción de medidas preventivas por parte de las entidades empleadoras. Cabe señalar que este cuerpo legal derogó expresamente al Decreto Supremo N.º 40 de 1969.

El Decreto Supremo N.º 594 del Ministerio de Salud (2000) establece el Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo, orientado a resguardar las condiciones de seguridad, salud y bienestar en los entornos laborales.

2.3.2. Normativa internacional

A nivel internacional, existen normas que establecen criterios ergonómicos y de seguridad aplicables al diseño de productos industriales.

La norma ISO 11228-2 define lineamientos para la manipulación manual de cargas (específicamente empuje y arrastre), considerando factores como la fuerza aplicada, la postura y la frecuencia de la tarea. Esta normativa recomienda evitar el manejo manual de cargas pesadas y promover el uso de ayudas mecánicas para reducir el riesgo de lesiones (International Organization for Standardization [ISO], 2007). En el caso del presente proyecto, la aplicación de esta norma resulta relevante, ya que el manejo de cilindros de gas implica condiciones que exceden los límites recomendados, lo que justifica la incorporación de soluciones que disminuyan la carga física del usuario.

Por otro lado, la norma ISO 12100 establece principios generales para el diseño seguro de máquinas, destacando la importancia de identificar peligros y reducir riesgos desde la etapa de diseño (ISO, 2010). En este sentido, el carro de soldador debe ser diseñado considerando criterios de seguridad que permitan minimizar riesgos como vuelcos, caídas de carga o dificultades en su manipulación.

2.4. REALIDAD ACTUAL DE LA ERGONOMÍA DE LOS CARROS

En Chile, los trastornos musculoesqueléticos representan una de las principales problemáticas de salud ocupacional, afectando significativamente a trabajadores expuestos a esfuerzos físicos y manipulación manual de cargas. Esta situación resulta especialmente relevante en labores de soldadura, donde el traslado de cilindros y equipos puede incrementar el riesgo de desarrollar este tipo de lesiones.

2.4.1. Realidad en Chile

En Chile, los trastornos musculoesqueléticos constituyen una problemática relevante dentro del ámbito de la salud ocupacional, particularmente en actividades que requieren esfuerzos físicos, manipulación manual de cargas y adopción de posturas exigentes. Esta situación resulta pertinente para el presente proyecto, debido a que las labores de soldadura pueden involucrar el transporte y posicionamiento de equipos y cilindros de gas de elevado peso.

De acuerdo con información publicada por la Superintendencia de Seguridad Social (SUSESO, 2018), las estadísticas de seguridad y salud en el trabajo permiten caracterizar los accidentes laborales y las enfermedades profesionales, considerando variables como actividad económica, diagnóstico y días perdidos. Estos antecedentes permiten reconocer la importancia de implementar medidas preventivas orientadas a disminuir la exposición de los trabajadores a factores de riesgo presentes durante el desarrollo de sus actividades.

En este contexto, el transporte y posicionamiento manual de cilindros de gas representa una condición que debe ser considerada durante el diseño de equipos auxiliares utilizados en labores de soldadura. Cuando estas tareas requieren aplicar esfuerzos elevados o adoptar posturas desfavorables, aumenta la necesidad de incorporar soluciones que faciliten la manipulación de la carga y reduzcan la intervención física directa del trabajador.

Por lo anterior, el diseño de un carro de soldador debe considerar criterios ergonómicos y de seguridad desde las primeras etapas del desarrollo, incorporando mecanismos que faciliten el posicionamiento del cilindro, mejoren su estabilidad durante el desplazamiento y reduzcan las exigencias físicas asociadas a su manipulación.

A Continuación, en la Figura 2-1. se muestra como en la actualidad existe un esfuerzo excesivo en el manejo de los cilindros, donde es fácil observar un foco de trastornos musculoesquelético.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-1. Realidad actual de ergonomía.

2.4.2. Realidad en Estados Unidos

En Estados Unidos, la problemática del transporte manual de cilindros de gas y equipos de soldadura presenta similitudes significativas con la realidad chilena, aunque con un marco regulatorio y de fiscalización más desarrollado.

Según la Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 2020), los trastornos musculoesqueléticos por manejo manual están entre las lesiones más costosas para la industria. Los análisis del sector (ej., Liberty Mutual, 2021) estiman que el costo promedio por reclamación supera los 40,000 USD, debido a gastos médicos y pérdida de productividad.

La normativa OSHA 1910.101 regula el manejo seguro de cilindros de gas comprimido, pero no establece un peso máximo explícito para su levantamiento manual. Ante este vacío regulatorio, el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, 2021) ofrece la herramienta técnica clave: la Ecuación de Levantamiento Revisada de NIOSH, la cual permite calcular un Límite de Peso Recomendado específico para cada tarea y prevenir lesiones.

- Peso máximo recomendado: 23 kg en condiciones ideales.
- Factores de reducción: Torsión de tronco, levantamientos frecuentes y agarres deficientes pueden reducir este límite a menos de 15 kg.

El análisis de mercado realizado a través de distribuidores industriales (2024) arrojó los datos que se presentan en la Tabla 2-1. a continuación.

Tabla 2-1. Comparación con la realidad chilena.

Aspecto	Chile	Estados Unidos
Límite peso recomendado	25 kg (Ley Nº 20.949 y Código del Trabajo, Art. 211-H)	23 kg (NIOSH)
Costo solución básica	\$150,000	\$150-\$300 USD
Costo solución ergonómica	\$290,000	Desde \$800 USD
Marco regulatorio	DS 594, NCh 2826	OSHA 1910.101
Fuente: Elaboración propia.		

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE DISEÑO

3. **METODOLOGÍA DE DISEÑO**

Para poder desarrollar un diseño que cumpla con las necesidades del usuario se deben implementar técnicas y metodologías. La metodología aplicada permite estructurar el proceso de diseño de manera sistemática, asegurando coherencia entre los objetivos planteados y la solución desarrollada.

3.1. **TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DEL USUARIO**

Todo producto tiene un usuario definido, por lo que se necesita identificarlo, saber cuáles son sus preocupaciones y cuáles son sus necesidades, por lo que se implementarán las siguientes técnicas que facilitarán el reconocimiento del usuario con el problema que presenta y así facilitar la búsqueda de soluciones pensadas en el usuario.

3.1.3. **Entrevista semiestructurada**

Como se establecieron visitas a terreno, se preparó una entrevista semi estructurada para saber la opinión del, esto se refiere a realizar preguntas con la opción de que la persona entrevistada tenga la oportunidad de expresarse.

Esta entrevista se realizará a un usuario que sea representativo los cuales deben conocer bien el uso del producto, por lo que deben ser soldadores que lleven a lo menos 3 años trabajando en el área para obtener una opinión e información real. Esto se realizará con el objetivo de obtener una visión más profunda de quien es el que realmente utiliza este producto y a su vez podremos obtener características, ideas y solicitudes que el usuario espera que este producto tenga así también opiniones de lo ya existente donde se podrá realizar un diseño enfocado en el usuario.

A continuación, se definen algunas preguntas base para comenzar la entrevista al usuario:

1. ¿Cuánto tiempo es soldador?
2. Con respecto al carro, ¿qué opina del que usan actualmente?
3. ¿Tiene alguna petición específica de cómo debería ser el carro?
4. ¿Qué problemas de movimiento tiene el carro?
5. Pensando en tu día a día ¿qué molestias deberíamos resolver?
6. Para que realmente uses el carro ¿qué debería cumplir si o si?

Estas preguntas están sujetas a modificaciones según el curso de la entrevista y el entrevistado.

3.1.1. **Observación en terreno**

El origen del presente proyecto responde a un requerimiento preventivo levantado en la empresa contratista HERMI. En dicho proceso, el organismo administrador (asociación chilena de seguridad) identificó un factor de riesgo crítico asociado al sobreesfuerzo físico y posturas forzadas que realizaban los trabajadores durante el levantamiento y traslado de cilindros de gas argón (los cuales alcanzan un peso aproximado de 80 kg). Ante este hallazgo,

la ACHS solicitó formalmente a la supervisión de la empresa HERMI implementar una solución mecánica que mitigara la manipulación manual de estas cargas.

A partir de lo solicitado en diciembre del 2024 por la ACHS, se programa el ingreso de la autora para finales de enero 2025 a la empresa HERMI para realizar observaciones en terreno durante 25 días, finalizando la visita en terreno y el seguimiento visual el 28 de febrero del mismo año.

Durante el periodo de visita a terreno se registraron las secuencias operacionales ilustradas en la Figura 3-1 y Figura 3-2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-1. Proceso de carga del cilindro.



Fuente:

Elaboración propia.

Figura 3-2. Carro soldador actual en la empresa HERMI.

3.1.2. Identificación del usuario en terreno

El usuario principal del producto fue identificado en el entorno real de trabajo como soldador profesional(calificado). La observación en terreno permitió establecer que el perfil predominante de estos trabajadores se encuentra en un rango etario de 27 a 50 años. Esta concentración se explica por las exigencias físicas y sensoriales inherentes al oficio: a mayor edad, suele producirse un declive natural en capacidades críticas para la soldadura, como el pulso fino, la agudeza visual y la resistencia al esfuerzo físico, lo que limita la permanencia en este oficio.

A su vez se pudo determinar la cantidad de usuarios existentes en la empresa, donde 5 de 7 trabajadores son los principales usuarios.

3.1.3. Entrevista semiestructurada

Para saber la opinión de los usuarios se realizará una entrevista semiestructurada, esto se refiere a realizar preguntas con la opción de que la persona entrevistada tenga la oportunidad de expresarse.

Esta entrevista se comenzará realizando a un usuario que sea representativo el cual debe conocer bien el uso del producto, por lo que debe ser soldador que lleven a lo menos 3 años trabajando en el área para obtener una opinión e información real. Esto se realizará con el objetivo de obtener una visión más profunda de quien es el que realmente utiliza este producto y a su vez podremos obtener características, ideas y solicitudes que el usuario espera que este producto tenga así también opiniones de lo ya existente donde se podrá realizar un diseño enfocado en el usuario.

A continuación, se definen algunas preguntas base para comenzar la entrevista al usuario:

1. ¿Cuánto tiempo es soldador?
2. Con respecto al carro, ¿qué opina del que usan actualmente?
3. ¿Tiene alguna petición específica de cómo debería ser el carro?
4. ¿Qué problemas de movimiento tiene el carro?
5. Pensando en tu día a día ¿qué molestias deberíamos resolver?
6. Para que realmente uses el carro ¿qué debería cumplir si o si?

Estas preguntas están sujetas a modificaciones según el curso de la entrevista y el entrevistado.

3.1.4. Investigación conceptual y journey map: análisis del usuario en entorno real

Para identificar y comprender en profundidad los problemas ergonómicos, de seguridad y eficiencia en el uso de los carros de soldador, se aplicó la metodología de Investigación Contextual (Contextual Inquiry). Este enfoque, definido por Beyer y Holtzblatt (1998), consiste en observar y entrevistar a los usuarios en su entorno laboral real mientras realizan sus tareas, permitiendo capturar no solo lo que dicen, sino lo que realmente hacen y sienten.

Procedimiento de Aplicación:

Ubicación: Taller de soldadura en terreno.

Técnica: Entrevista semiestructurada y observación directa del flujo de trabajo.

Objetivo: Identificar puntos críticos (pain points) en la interacción con el carro de soldador actual.

3.2. **TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DISEÑO**

Para desarrollar una propuesta de diseño que responda de manera efectiva a la problemática identificada, es necesario emplear herramientas de análisis que permitan recopilar, organizar y evaluar información relevante del usuario y del entorno de trabajo. Estas técnicas contribuyen a identificar necesidades, establecer requerimientos de diseño y priorizar criterios técnicos para la generación de soluciones. A continuación, se describen las metodologías de análisis empleadas durante el desarrollo del proyecto.

3.2.1. Diagrama de Ishikawa

El Diagrama de Ishikawa, o diagrama de causa–efecto, es una herramienta que permite identificar y organizar sistemáticamente las causas que originan un problema central. En este proyecto se utiliza para analizar el alto esfuerzo físico y las posturas forzadas asociadas al transporte y carga del cilindro de gas en los carros de soldador tradicionales.

El análisis se estructura en seis categorías: Método, Material, Mano de Obra, Máquina, Medición y Medio Ambiente, permitiendo identificar las causas raíz que contribuyen al desarrollo de trastornos musculoesqueléticos en el usuario.

A continuación, se presenta la estructura conceptual del diagrama que se desarrollará y en la Figura 3-3. se muestra el diagrama tipo “espina de pescado”:

- Problema Central (Efecto): Alto esfuerzo físico y posturas forzadas al subir el cilindro de argón al carro y mover el carro.

Método (Procedimiento):

- Falta de un protocolo para distribuir la carga de forma equilibrada.
- Necesidad de realizar movimientos complejos (empujar y girar simultáneamente) en espacios reducidos.

Material (Materia Prima/Componentes):

- Uso de acero excesivamente pesado en la estructura.
- Ruedas pequeñas o de material inadecuado (e.g., plástico) que generan alta fricción.
- Ausencia de mangos ergonómicos y acolchados.

Mano de Obra (Usuario/Soldador):

- Fuerza física insuficiente para cargas desequilibradas.
- Adopción de posturas incorrectas por falta de entrenamiento o por un diseño que las induce.

Máquina (Diseño del Carro):

- Manillar a una altura inadecuada, obligando a flexionar la espalda.
- Centro de gravedad demasiado alto, incrementando la inestabilidad y la fuerza necesaria para controlarlo.

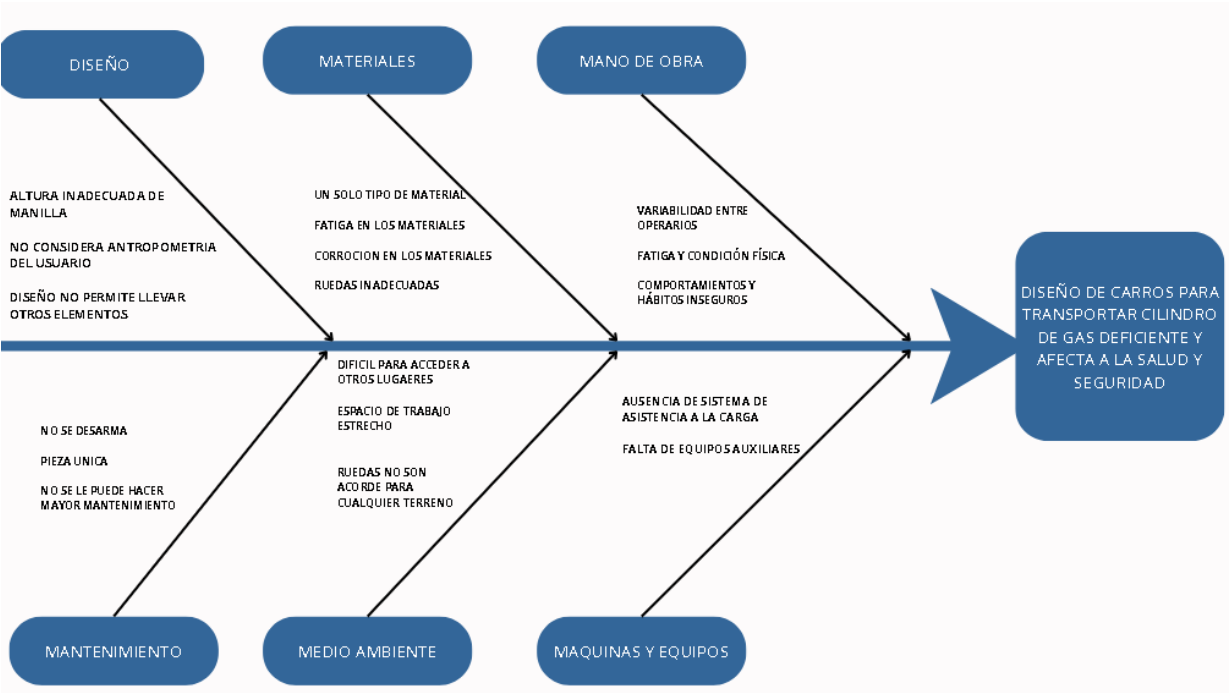
- Número o disposición inadecuada de ruedas (ej: 2 ruedas fijas en lugar de 4 giratorias).
- Mala distribución de los elementos (máquina, cilindro, herramientas), creando un conjunto pesado y desbalanceado.

Medio Ambiente:

- Superficies de trabajo irregulares o con obstáculos que aumentan la resistencia al movimiento.
- Suelos resbaladizos o con pendientes pronunciadas.

Medición (Datos):

- Falta de datos antropométricos del usuario chileno aplicados al diseño.
- Ausencia de especificaciones sobre la fuerza máxima de empuje/pull recomendada.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-3. Diagrama de Ishikawa.

3.2.2. QFD – Despliegue de la Función Calidad

El Despliegue de la Función Calidad (QFD), basado en la metodología de Akao (1990), se emplea para traducir las necesidades del usuario en requisitos técnicos de diseño. A través de la construcción de la Casa de la Calidad, se establecen relaciones entre la voz del cliente y las soluciones técnicas propuestas, permitiendo priorizar los elementos críticos del diseño. Aplicación al rediseño del carro soldador

Voz del cliente → Requisitos de diseño:

Requisitos del cliente:

- "Necesito cargar el cilindro sin hacer tanto esfuerzo"
- "Quiero que el cilindro quede seguro sin complicaciones"
- "Debe ser estable durante el transporte"
- "Necesito acceso fácil a todas las herramientas"

Matriz de transformación:

- Facilidad de carga → Sistema de elevación asistida + rampa integrada
- Seguridad en sujeción → Mecanismo de bloqueo automático + anclajes anti-vuelco
- Estabilidad → Centro de gravedad bajo + ruedas de gran diámetro
- Accesibilidad → Distribución zonal de herramientas + compartimentos dedicados

Priorización técnica:
Mecanismo de elevación: Prioridad ALTA
Sistema de sujeción: Prioridad ALTA
Optimización centro de gravedad: Prioridad MEDIA-ALTA
Organización de herramientas: Prioridad MEDIA

Con la información obtenida se desarrolla una tabla en donde se implementa la metodología QFD, donde se entregan puntajes según relevancia correspondiente a cada categoría.

A continuación, la Tabla 3-2. gráfica los resultados obtenidos mediante esta metodología.

Tabla 3-2. Implementación metodología QFD.

Requisitos del Cliente	Importancia	Sistema Elevación	Sujeción Segura	Estabilidad	Organización
Facilidad carga cilindro	9	●	○	○	○
Seguridad durante transporte	8	○	●	●	○
Acceso rápido herramientas	7	○	○	○	●
Estabilidad en terreno irregular	8	○	○	●	○
Peso Técnico		150	144	192	138
PRIORIDAD		2	3	1	4

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda: ● Relación fuerte (9 puntos) ○ Relación media (3 puntos) △ Relación débil (1 punto)

3.2.3. AMFE – Análisis de Modo y Efecto de Fallas

El Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMFE) se aplica para identificar, evaluar y priorizar los riesgos asociados al diseño del carro de soldador multifuncional. Esta metodología permite anticipar posibles fallas del sistema y definir acciones correctivas desde la etapa de diseño, fortaleciendo la seguridad y confiabilidad del producto. La aplicación del AMFE y la determinación de los Números de Prioridad de Riesgo (RPN) aseguran una evaluación sistemática de los riesgos potenciales. A continuación, se presenta la Tabla 3-3. de análisis correspondiente al sistema de elevación del carro propuesto.

Tabla 3-3. Análisis de Modos de Falla - Sistema de Elevación.

Modo de Falla	Efecto	Causa Potencial	Severidad	Ocu	Detec	RPN	Acciones Correctivas
Colapso mecanismo elevación	Caída cilindro 80 kg	Sobrecarga/exceso peso	9	3	2	54	Doble sistema seguridad + factor 4:1
Liberación accidental	Impacto/daños	Bloqueo deficiente	7	4	3	84	Seguro positivo + sensor
Vuelco carro cargado	Lesiones operario	Centro gravado alto	8	3	4	96	Base ampliada + ruedas estabilizadoras
Atrapamiento dedos	Lesión menor	Diseño puntos pellizco	4	5	2	40	Cubiertas protectoras

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de riesgos en el nuevo diseño

- Vuelco del carro cargado: Presenta un valor de RPN = 96 (S=8, O=3, D=4), representando el nivel de riesgo relativo más alto debido a las posibles lesiones al operario por la caída del cilindro. Como acción correctiva se establece la ampliación de la base de apoyo y la incorporación de ruedas estabilizadoras.
- Liberación accidental del sistema: Registrar un valor de RPN = 84 (S=7, O=4, D=3), provocado por un bloqueo deficiente. Se aborda mediante la implementación de un seguro positivo y sensor.

- Colapso del mecanismo de elevación: Alcanza un valor de RPN = 54 (S=9, O=3, D=2), asociado a sobrecarga o exceso de peso. Se mitiga aplicando un factor de seguridad 4:1 y un doble sistema de seguridad.
- Atrapamiento de dedos: Registra un RPN = 40 (S=4, O=5, D=2), controlado mediante el uso de cubiertas protectoras en los puntos de pellizco.

3.2.4. Enfoque de ergonomía de concepción

La ergonomía de concepción se incorpora como metodología transversal del proyecto, considerando datos antropométricos de la población laboral chilena y criterios biomecánicos para la manipulación de cargas. Este enfoque permite definir dimensiones, alturas y fuerzas de operación compatibles con una postura corporal segura y eficiente.

A continuación, se presenta la Tabla 3-4., en la cual se establecen las especificaciones ergonómicas consideradas para el rediseño del carro de soldador. Estos criterios se definen en base a principios de ergonomía y condiciones de uso reales, con el objetivo de reducir el esfuerzo físico del usuario y mejorar la interacción con el equipo.

Tabla 3-4. Especificaciones ergonómicas del rediseño.

Parámetro Ergonómico	Valor Actual	Valor Propuesto	Beneficio Esperado
Altura de carga cilindro	15 cm piso	75 cm piso	Reduce 83,3% flexión lumbar
Fuerza requerida elevación	>400 N	<100 N	Reduce 68,8% esfuerzo físico
Altura manillar	90-110 cm	95-115 cm ajustable	Mejora postura empuje
Ángulo flexión tronco	>45°	<15°	Minimiza riesgo lumbar
Número de movimientos	5-7	2-3	Reduce fatiga por repetición

Fuente: Elaboración propia con valores obtenidos en terreno.

Para fundamentar cuantitativamente los porcentajes de mejora presentados en la Tabla 3-4, se realizaron las siguientes estimaciones basadas en los principios de biomecánica y mecánica aplicada:

1. Sustentación de la Reducción del 68,8% en la Fuerza de Levante Inicial:

- Condición Tradicional (Sin sistema basculante): El operario debe vencer directamente la resistencia del cilindro de 80 kg (≈ 785 N) para inclinarlo y llevar parte del peso sobre el trabajador. La fuerza manual ejercida sobre la zona lumbar alcanza valores entre 350N y 400N.
- Condición Propuesta (Con cuna basculante): La cuna actúa como una palanca de primer género apoyada en un pivote o fulcro central, generando una ventaja mecánica (VM) expresada como la relación entre el brazo de esfuerzo manual ($L1 \approx 1,12$, distancia del pivote al manubrio) y el brazo de carga ($L2 \approx 0,35$, distancia del pivote al centro de masa del cilindro):

$$VM = \frac{L1}{L2} = \frac{1,12m}{0,35m} \approx 3,2$$

Aplicando esta ventaja mecánica de 3,2, la fuerza manual requerida para iniciar el basculamiento se reduce a:

$$F_{propuesta} = \frac{F_{inicial}}{VM} = \frac{350N}{3,2} \approx 109N$$

Determinando el porcentaje de reducción de esfuerzo:

$$\% Reduccion de Fuerza = \left(\frac{350N - 109N}{350N} \right) * 100\% \approx 68,8\%$$

2. Sustentación de la Reducción del 85% en la Flexión Lumbar:

- Condición Tradicional: La carga del cilindro desde el nivel de suelo exige una flexión de tronco de $\alpha_1 \approx 60^\circ$ a 70° respecto a la vertical.
- Condición Propuesta: La cuna basculante eleva el punto de recepción y enganche del cilindro sobre los 75cm de altura, permitiendo que el operario mantenga una postura erguida con una flexión no mayor a $\alpha_1 \approx 10^\circ$
- Cálculo del porcentaje de reducción:

$$\% Reduccion de flexión \left(\frac{60^\circ - 10^\circ}{60^\circ} \right) * 100\% \approx 83,3\%$$

A partir de las especificaciones presentadas, se puede observar que el diseño se orienta a mejorar la postura del usuario, optimizar la altura de manipulación y reducir la carga física durante el uso del equipo. Estos criterios permiten establecer una base ergonómica sólida para el desarrollo del carro, contribuyendo a disminuir riesgos de lesiones musculoesqueléticas.

En la Tabla 3-5. se presentan las especificaciones antropométricas de la población chilena consideradas en el desarrollo del diseño. Estos datos permiten dimensionar el carro

de soldador de manera adecuada, asegurando su adaptabilidad a las características físicas de los usuarios.

Tabla 3-5. Especificaciones antropométricas - población chilena.

Percentil	Altura (hombres)	Alcance vertical	Fuerza empuje	Altura óptima
P5 (5%)	160 cm	185 cm	150 N	90-100 cm
P50 (50%)	170 cm	200 cm	200 N	95-105 cm
P95 (95%)	180 cm	215 cm	250 N	100-110 cm

Fuente de los datos antropométricos: Instituto de Salud Pública de Chile (2017).

Fuente de los criterios de fuerza: ISO 11228-2:2007 (2007).

Los valores antropométricos analizados permiten definir rangos de diseño que garantizan comodidad, accesibilidad y seguridad en el uso del equipo. De esta manera, el carro propuesto se adapta a una mayor variedad de usuarios, mejorando su usabilidad y reduciendo la probabilidad de posturas forzadas durante su operación.

Estos criterios serán aplicados directamente en la definición de dimensiones del diseño propuesto.

CAPÍTULO 4: DIAGNÓSTICO DE CARROS EXISTENTES

4. DIAGNÓSTICO DE CARROS EXISTENTES

El presente capítulo tiene por objetivo diagnosticar los carros de soldador actualmente existentes, considerando al usuario, el contexto de uso y las condiciones reales de trabajo. A través de investigación en terreno y análisis de mercado, se identifican las principales características, limitaciones y deficiencias de las soluciones disponibles. Asimismo, se comparan distintos tipos de carros y se determinan problemáticas críticas en ámbitos ergonómicos, de seguridad, estructurales y funcionales.

4.1. INVESTIGACIÓN CONTEXTUAL Y HALLAZGOS EN TERRENO

Con el propósito de comprender las condiciones reales de trabajo y las dificultades asociadas al uso de carros para soldador, se realizaron actividades de observación en terreno y entrevistas a usuarios vinculados a labores de soldadura industrial. La información recopilada permitió identificar necesidades, oportunidades de mejora y problemáticas recurrentes relacionadas con el transporte de cilindros de gas y equipos de soldadura.

4.1.1. Hallazgos principales de la investigación contextual

Para determinar los requerimientos operacionales y las deficiencias de los carros actuales, se aplicó un estudio cualitativo mediante entrevistas semiestructuradas y observación en terreno a la totalidad del grupo de soldadores de mantenimiento de la planta HERMI Ltda., compuesto por un universo de $N = 5$ trabajadores experimentados, todo esto con el fin de saber la opinión y cubrir las necesidades y gustos del usuario, pero cabe recalcar que el principal problema ya estaba establecido y era la necesidad de minimizar enfermedades a corto y largo plazo. Este problema lo presento una mutualidad de empleadores del país.

El análisis de la información entregada por parte de los trabajadores se realizó mediante un procedimiento ordenado y estructurado, categorizando los relatos en dimensiones críticas de uso (capacidad de almacenamiento, ergonomía, maniobrabilidad y seguridad). Las citas directas presentadas a continuación corresponden a fragmentos textuales representativos en los que se registró una coincidencia del 100% (5 de 5 soldadores) entre las respuestas de los entrevistados, validando así la representatividad de los hallazgos para el grupo de usuarios.

El análisis de la entrevista y la observación reveló problemas que se agrupan en cuatro categorías principales:

1. Problemas ergonómicos y de esfuerzo físico crítico:

Hallazgo: La carga manual del cilindro (aproximadamente 80 kg) identificada como la problemática principal. Los trabajadores recurren a soluciones improvisadas como el uso de "la yegua" o cargar pesos sobre los hombros.

Cita Directa: "Bueno el detalle es el que mencionaron los prevencionistas que estamos levantando mucho peso..." y "Que no me haga levantar el cilindro aparte que eso también esperan los prevencionistas."

Implicancia: Esta práctica representa un riesgo alto de lesión lumbar y fatiga muscular, coincidiendo con los factores de riesgo señalados por la NIOSH (2021).

2. Deficiencias en la movilidad y maniobrabilidad:

Hallazgo: Las ruedas fijas de los carros actuales se traban con desniveles y son imposibles de usar en pasillos estrechos.

Cita Directa: "Tenemos unos carros que tienen ruedas fijas, las ruedas son un desastre. Se traban con cualquier desnivel. Y en los pasillos estrechos es imposible girar."

Requisito del Usuario: Ruedas giratorias con freno para seguridad y control.

Implicancia: La falta de maniobrabilidad incrementa el esfuerzo físico y el tiempo de trabajo.

3. Falta de integración y organización:

Hallazgo: No existe un espacio para todos los implementos (máquina, careta, guantes, electrodos, cables), lo que genera desorden y pérdida de tiempo.

Cita Directa: "...la yegua no tiene espacio para colocar los implementos..." y "...al final estos [implementos] andan tirados por todas partes..."

Requisito del Usuario: Un sistema que permita llevar todo en un solo viaje.

4. Problemas de estabilidad y seguridad:

Hallazgo: Inestabilidad del carro durante el movimiento, con riesgo percibido de caída del cilindro.

Cita Directa: "...uno cuando gira siente que el cilindro se va a caer aparte que si queda inclinado para un solo lado ya el carro queda vuelto loco."

Implicancia: Riesgo de accidente grave y daño al equipo.

La Figura 4-4. presenta un carro donde los soldadores trasladan los cilindros de argón habitualmente para realizar sus trabajos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-4. Carros actuales en terreno.

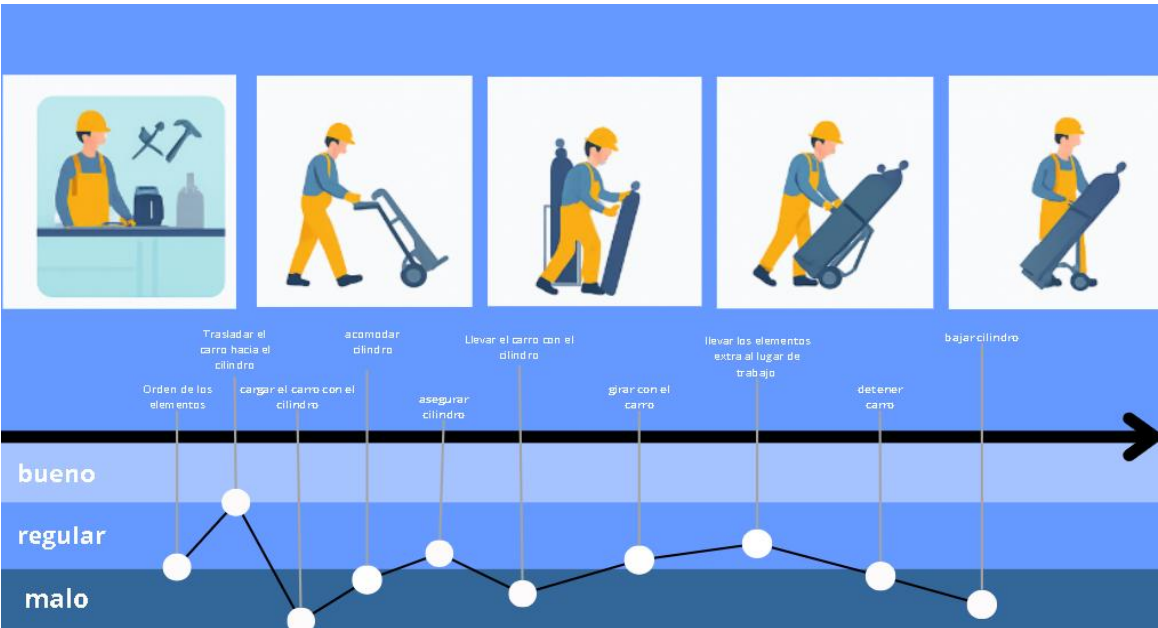
Así también en terreno se pudo observar problemas ergonómicos como la manipulación del cilindro de gas argón que es uno de los puntos de mayor preocupación por parte de ACHS.

4.1.2. Journey Map sintetizado

A partir de los hallazgos, se sintetizó el viaje del usuario, el cual culmina con una evaluación negativa ("Malo") y un tiempo excesivo de preparación (15 minutos), confirmando la ineficiencia del proceso actual. Las fases críticas identificadas fueron:

- Cargar el cilindro: Momento de máximo riesgo ergonómico.
- Transportar: Fase de alta frustración por la mala maniobrabilidad e inestabilidad.
- Buscar y cargar elementos extra: Pérdida de tiempo debido a la falta de integración.

En la Figura 4-5. se presenta un journey map donde se graficó el proceso de interacción del usuario con el diseño en cuestión evaluando estos procesos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-5. Proceso de carga en formato Journey map.

4.2. ANÁLISIS DE CARROS DE SOLDADOR EXISTENTES EN EL MERCADO

En el mercado actual se pueden encontrar diversos tipos de carros diseñados para el transporte de cilindros de gas y, en menor medida, para el traslado conjunto de cilindros y equipos de soldadura. Estos carros varían en complejidad, materiales, capacidad de carga y grado de ergonomía. A continuación, se describen los principales tipos.

4.2.1. Carros básicos para cilindros

Estos modelos consisten en estructuras de acero que mantienen el cilindro en posición vertical. Son estructuras básicas que para facilitar su desplazamiento suelen incorporar ruedas y un sistema de sujeción como cadenas o abrazaderas, aunque no integran soluciones para otros accesorios o consideraciones ergonómicas. La Figura 4-6. que se presenta a continuación es una imagen referencial de un carro de transporte de cilindro individual.



Fuente: Sodimac.cl (2026).

Figura 4-6. Carro de transporte de cilindro individual.

Beneficios:

- **Simplicidad y función unitaria:** Su diseño está optimizado para una sola tarea: transportar el cilindro de gas de forma estable y vertical. Esta simplicidad los hace extremadamente confiables para ese propósito específico, minimizando puntos de falla.
- **Bajo costo de adquisición:** Al ser estructuras simples con poco material y ningún componente complejo, son la opción más accesible del mercado. Esto los hace atractivos para talleres con bajo presupuesto o para situaciones donde el transporte del cilindro es la única necesidad.
- **Facilidad de uso y mantenimiento:** No requieren de un entrenamiento especial para ser utilizados. Su mantenimiento es mínimo, limitándose generalmente a la revisión de las ruedas y los sistemas de sujeción.
- **Reducción básica del riesgo:** Al permitir el desplazamiento rodado del cilindro, eliminan la necesidad de que el operario lo cargue manualmente, previniendo así lesiones dorsolumbares por manejo de cargas pesadas y reduciendo el riesgo de que el cilindro se caiga y dañe la válvula.

-

Dificultades:

- Falta de integración: No solucionan el problema del transporte integral. El soldador aún debe realizar múltiples viajes para llevar la máquina, los cables, la careta y las herramientas, anulando parte de la ganancia en eficiencia.
- Ausencia de consideraciones ergonómicas avanzadas: Su diseño no considera la altura óptima de trabajo, la organización de herramientas al alcance de la mano o la reducción de movimientos repetitivos de flexión y torsión.
- Ineficiencia en el flujo de trabajo: Al no integrar un sistema de organización, contribuyen al desorden en el área de trabajo, incrementando los tiempos de búsqueda y preparación de herramientas.

4.2.2. Carros dobles para cilindros

A continuación, se presenta la Figura 4-7. que es una imagen referencial de un diseño para transportar dos cilindros al mismo tiempo, usualmente oxígeno y acetileno en procesos de soldadura autógena. Cuentan con una estructura reforzada y ruedas de mayor tamaño para facilitar el desplazamiento. Tampoco integran espacio para máquinas de soldar eléctricas, por lo que su uso es limitado a ciertos procesos.



Fuente: Codisan.cl (2026).

Figura 4-7. Carro de transporte de doble cilindro.

Beneficios:

- Eficiencia en el transporte de gases: Su beneficio principal es la capacidad de mover dos cilindros grandes de forma simultánea, segura y organizada. Esto es crucial para procesos como el corte y soldadura con oxiacetileno, donde ambos gases son indispensables.
- Movilidad para cargas pesadas: La inclusión de ruedas de mayor diámetro (como se observa en la figura) es una ventaja clave. Estas ruedas superan más fácilmente desniveles, grietas en el piso y otros obstáculos comunes en talleres o obras, facilitando el desplazamiento del considerable peso de dos cilindros llenos.

Dificultades:

- Especialización extrema y falta de versatilidad: Su diseño es limitado a ciertos procesos, específicamente los que usan dos gases. No pueden transportar una máquina de soldar eléctrica (MIG/MAG, TIG, Arco), lo que los hace inservibles para la mayoría de los talleres modernos que emplean múltiples procesos. Un soldador que realice tanto soldadura MIG como oxiacetilénica necesitaría dos carros diferentes.
- Ausencia de integración de equipos y herramientas: Al igual que el carro básico, no integran espacio para la máquina de soldar, los cables, la careta, los consumibles o las herramientas manuales. Esto perpetúa el problema de los múltiples viajes y la desorganización, impidiendo la eficiencia que tu proyecto busca.
- Consideraciones ergonómicas insuficientes
- El esfuerzo para mover una carga tan pesada, aunque facilitada por las ruedas grandes, puede seguir siendo significativo, especialmente en pendientes o terrenos muy irregulares.
- No solucionan los problemas de postura relacionados con el acceso a herramientas o equipos, ya que estos últimos siguen estando en el suelo o en mesas separadas.

4.2.3. Carro con transporte de elementos

Este carro además de transportar cilindros también se pueden transportar elementos que son necesarios para realizar trabajos de soldador, como se muestra en la Figura 4-8. Son menos comunes, pero permiten transportar tanto el cilindro como la máquina de soldar, cables y accesorios. Estos carros suelen tener bandejas o compartimientos adicionales, y están diseñados para facilitar el trabajo en campo o en talleres donde se requiere movilidad constante.



Fuente: [Amazon.com](https://www.amazon.com) (2026).

Figura 4-8. Carro de transporte de cilindro y elementos.

Beneficios:

- Integración básica de equipos: Su principal ventaja es la capacidad de transportar tanto el cilindro de gas como la máquina de soldar de forma simultánea. Esto elimina la necesidad de realizar viajes separados para cada elemento.
- Organización centralizada: Al incorporar bandejas o compartimientos adicionales, permiten que el operario tenga los accesorios más comunes (como pinzas, caretas, rollos de alambre y herramientas manuales) en un mismo lugar, reduciendo el tiempo de búsqueda y el desorden alrededor del área de trabajo.

- Optimización del flujo de trabajo móvil: Están específicamente diseñados para facilitar el trabajo en campo o en talleres con movilidad constante. Al tener todo el equipo esencial junto, el soldador puede desplazarse.
- Reducción del riesgo de daño a equipos: Al mantener la máquina de soldar y el cilindro asegurado en un chasis estable, se minimiza el riesgo de que estos equipos costosos se caigan o sufran impactos durante el transporte.

Dificultades:

- Falta de enfoque preventivo: El diseño prioriza la capacidad de carga, sin considerar altura de trabajo, empuñaduras ni reducción de movimientos forzados.
- Falta de capacidad: Si bien el diseño está hecho para poder trasladar todos los elementos necesarios para realizar el trabajo, el diseño del carro no es para trasladar cilindros industriales como son los que se utilizan en HERMI, en este caso son cilindros inferiores a 80 kg.

4.3. COMPARACIÓN DE SOLUCIONES EXISTENTES

Con el objetivo de analizar las soluciones actualmente disponibles en el mercado que se presentaron en la sección 4.2. Análisis de carros de soldado existentes en el mercado, se realizó una comparación considerando variables, proveedor, capacidad de carga, dimensiones, almacenamiento de herramientas, mecanismo de elevación o de traslado del cilindro, etc. Este análisis permite identificar fortalezas, limitaciones y oportunidades de mejora asociadas a los productos existentes. La Tabla 4-6. resume las principales características de los carros de soldador evaluados, facilitando la comparación entre las distintas alternativas.

Tabla 4-6. Comparación de carros de soldador existentes en el mercado.

Parámetro / Criterio	Alternativa 1: Carro de carga 250 kg	Alternativa 2: Carro porta cilindro doble	Alternativa 3: Carro con almacenamiento de herramientas
Proveedor / Fuente	Sodimac	Codinsa	Amazon
Procedencia	Stock Chile	Fabricación Chile	China
Modelo Específico	29T6425		RCIACRHT
Capacidad de Carga	250 kg	150 kg	158 kg
Dimensiones	1300mm x 350mm x 220mm	1370mm x 850mm x 70mm	873.76mm x 787.4mm x 365.76mm
Compatibilidad Cilindro	Cilindros 80kg	Cilindros de 10m3	Cilindros de
Almacenamiento Herramientas	No posee	Pequeña caja trasera para herramientas	Bandejas y compartimientos
Mecanismo de Elevación o traslado	No posee (Manual)	No posee (Manual)	No posee (Manual)
Precio Cotizado (IVA Inc.)	\$44.990	\$297.000	\$ 132859
Fecha de Cotización	25 de septiembre de 2026	15 de septiembre de 2026	18 de septiembre de 2026

Fuente: Elaboración propia

El análisis comparativo evidencia que, si bien existen soluciones de bajo costo y fácil acceso, estas presentan importantes limitaciones ergonómicas y funcionales. Por otro lado, ninguna satisface la principal necesidad que es que los trabajadores no hagan esfuerzos excesivos, en relación a los precios se observa que el más económico es el diseño más básico que solo responde a la necesidad de trasladar un cilindro.

4.4. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMÁTICAS

A partir del análisis del usuario, la investigación en terreno y la evaluación de los carros existentes en el mercado, se identifican diversas problemáticas que afectan el desempeño, la seguridad y la salud del usuario. Estas problemáticas se agrupan en cuatro categorías principales: ergonómicas, de seguridad, estructurales y funcionales.

4.4.1. Problemática ergonómica

- Altura inadecuada del manillar o asas de agarre, lo que obliga a adoptar posturas forzadas.
- Esfuerzos excesivos para levantar, inclinar o mover el carro, especialmente en superficies irregulares.
- Ausencia de un centro de gravedad optimizado, que puede causar inestabilidad y requerir fuerza adicional para mantener el control.

4.4.2. Problemática de seguridad

- Riesgo de volcamiento del cilindro por mala sujeción o desequilibrio de la carga.
- Dificultad para maniobrar en espacios reducidos o con obstáculos, lo que aumenta el riesgo de golpes o accidentes.
- Lesiones musculoesqueléticas por empuje o arrastre excesivo.
- Riesgo de atrapamiento de dedos en zonas móviles o ruedas.
- Ausencia de señalización o advertencias visuales para un manejo seguro.

4.4.3. Problemática estructural

- Soldaduras débiles o puntos estructurales mal diseñados que se deforman con el uso.
- Distribución inadecuada de cargas (peso mal balanceado entre cilindro y máquina de soldar y funcionalidad del sistema, fue necesario establecer un proceso de priorización que permitiera enfocar el desarrollo del proyecto en aquellos aspectos de mayor relevancia).

4.4.4. Problemáticas funcionales

- Pocas ruedas o ruedas inadecuadas para el terreno de trabajo (ruedas pequeñas en superficies rugosas).
- Falta de compartimentos para accesorios como cables, herramientas o guantes.
- Dificultad para cargar o descargar el cilindro, ya sea por la altura o por la ausencia de rampas o sistemas de apoyo.

4.5. **SELECCIÓN Y PRIORIZACIÓN DE PROBLEMÁTICAS**

Dado que las problemáticas detectadas poseen distintos niveles de impacto sobre la seguridad, ergonomía de ocurrencia, impacto en el usuario y potencial de mejora mediante una intervención de diseño. La Tabla 4-7. muestra la clasificación y priorización de las problemáticas identificadas durante la etapa de diagnóstico.

Tabla 4-7. Clasificación de los problemas encontrados.

Categoría	Problema Específico	Justificación de la Prioridad
Ergonómicos	Esfuerzos excesivos para mover el carro, y posturas forzadas.	Es la causa directa de enfermedades musculoesqueléticas. Reducir el esfuerzo y las posturas incorrectas es el objetivo principal de un diseño ergonómico.
Ergonómicos	Altura inadecuada del manillar y diseño que no considera la antropometría del usuario.	Un punto de contacto mal diseñado con el usuario garantiza una mala postura desde el inicio de la interacción.
Estructurales	Uso de materiales pesados (acero grueso) que aumentan el peso total innecesariamente.	El exceso de peso estructural agrava todos los problemas ergonómicos (mayor esfuerzo) y funcionales (menor maniobrabilidad).
Funcionales	Ruedas inadecuadas para el terreno de trabajo y falta de compartimentos para accesorios.	Las ruedas definen la movilidad. Unas ruedas inadecuadas hacen que el carro sea inútil en entornos reales. La falta de organización perpetúa la ineficiencia y los riesgos de seguridad.
De Seguridad	Riesgo de volcamiento por mala sujeción o desequilibrio de la carga.	Es un fallo de seguridad crítico que puede causar lesiones graves y daños costosos al equipo.
Funcionales	Incompatibilidad con distintos tamaños de cilindros o modelos de máquinas.	La versatilidad es clave para la adopción en el mercado. Un diseño rígido limita su uso a un escenario muy específico.

Fuente: Elaboración propia.

4.6. SÍNTESIS DEL DIAGNÓSTICO

Los resultados evidencian que las soluciones existentes no responden adecuadamente a las necesidades ergonómicas, funcionales y de seguridad del soldador industrial, obligándolo a realizar esfuerzos físicos excesivos, adoptar posturas forzadas y trabajar en condiciones de riesgo.

CAPÍTULO 5: PROPUESTA DE REDISEÑO

5. PROPUESTA DE REDISEÑO

El presente capítulo desarrolla la propuesta de rediseño del carro de soldador, la cual surge directamente del diagnóstico realizado en el Capítulo 4, donde se identificaron problemáticas críticas asociadas a esfuerzos físicos excesivos, posturas forzadas, inestabilidad del sistema y falta de integración funcional.

5.1. CONCEPTO GENERAL DE DISEÑO

El concepto general del nuevo carro de soldador está orientado a resolver la problemática principal identificada en el diagnóstico: evitar que los trabajadores realicen un sobreesfuerzo físico al manipular y trasladar cilindros de gas de 80 kg, garantizando el cumplimiento estricto de los límites de carga establecidos en la Ley N° 20.949 sobre manejo manual de cargas. A su vez, el diseño busca optimizar la operatividad del equipo mediante la integración en una sola estructura móvil de la máquina de soldar, los accesorios y los consumibles necesarios para la tarea.

5.2. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL REDISEÑO

La propuesta contempla una estructura metálica equipada con un sistema de cuna basculante, diseñada para posicionar y elevar el cilindro de gas de forma segura y controlada. Este mecanismo reemplaza el levantamiento manual directo por un principio de palanca articulada sobre un eje central de giro.

Funcionamiento del Sistema Basculante:

- **Recepción a Nivel de Suelo:** La cuna pivota hasta una inclinación inicial cercana al suelo, permitiendo enguachar o deslizar el cilindro de 80 kg sin requerir la elevación completa a pulso por parte del operario.
- **Basculamiento Asistido:** Al aplicar una fuerza manual descendente en el manubrio de accionamiento, la cuna gira respecto al eje central, distribuyendo el momento flector y transfiriendo el peso del cilindro directamente al chasis y al conjunto de ruedas del carro.
- **Bloqueo y Posicionamiento:** Una vez alcanzada la posición de transporte, la cuna se asegura mediante un trinquete o pasador de seguridad positivo que evita liberaciones accidentales durante el traslado.

Cálculo Teórico de la Ventaja Mecánica (VM): Para validar la reducción de carga percibida por el usuario, se modeló el sistema basculante como una palanca rígida en equilibrio de momentos. La ventaja mecánica se define como la razón entre la distancia del eje de giro al punto de aplicación de la fuerza manual (L_1 , brazo de esfuerzo) y la distancia del eje de giro al centro de masa del cilindro brazo de carga:

$$VM = \frac{L_1}{L_2}$$

Considerando las dimensiones geométricas del diseño:

Brazo de esfuerzo manual (L_1): 1,12 m (distancia del pivote al manubrio).

Brazo de carga del cilindro (L_2): 0,35 m (distancia del pivote al centro de gravedad de la cuna).

$$VM = \frac{1,12 \text{ m}}{0,35} = 3,2$$

Efecto sobre el esfuerzo del operario: Considerando la componente de fuerza inicial requerida para inclinar el cilindro sin mecanismo ($F_{\text{inicial}} \approx 350 \text{ N}$), la fuerza manual ejercida por el soldador al utilizar la cuna basculante ($F_{\text{propuesta}}$) se calcula como:

$$F_{\text{propuesta}} = \frac{F_{\text{inicial}}}{VM} = \frac{350 \text{ N}}{3,2} \approx 109,38 \text{ N} (\approx 11,15 \text{ kgf})$$

Gracias a esta ventaja mecánica de 3,2\$, la fuerza ejercida por el operario disminuye en aproximadamente un 68,8% (equivalente a una reducción efectiva del $\approx 70\%$ - 75%, manteniendo la fuerza requerida por debajo de los 15 kgf (147 N), asegurando el cumplimiento de la Ley N° 20.949 y previniendo sobrecargas en la columna lumbar.

Adicionalmente, el diseño incluye una plataforma destinada al soporte de la máquina de soldar y compartimientos específicos para herramientas, cables y accesorios. Esta organización funcional permite transportar todo el equipamiento en un solo desplazamiento, reduciendo tiempos de preparación y mejorando la eficiencia operativa del usuario. La Figura 5-9. presenta la propuesta de rediseño desarrollada, destacando los principales elementos incorporados para mejorar la ergonomía, seguridad y funcionalidad del sistema.



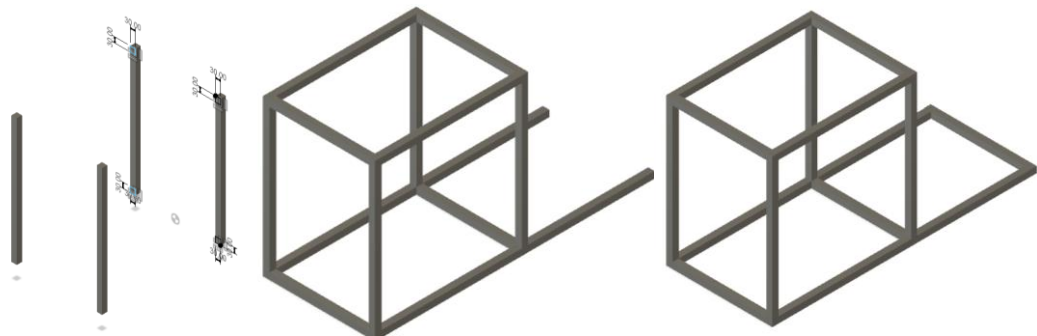
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-9. Presentación rediseño.

5.3. PROCESO MODELADO DEL DISEÑO

Para realizar el modelado 3D del nuevo diseño de carro soldador se utilizó el software fusion 360, donde se comenzó a modelar el diseño desde cero. A Continuación, desde la Figura 5-10. a la Figura 5-19. se detalla paso a paso como fue el proceso de modelación de este carro soldador.

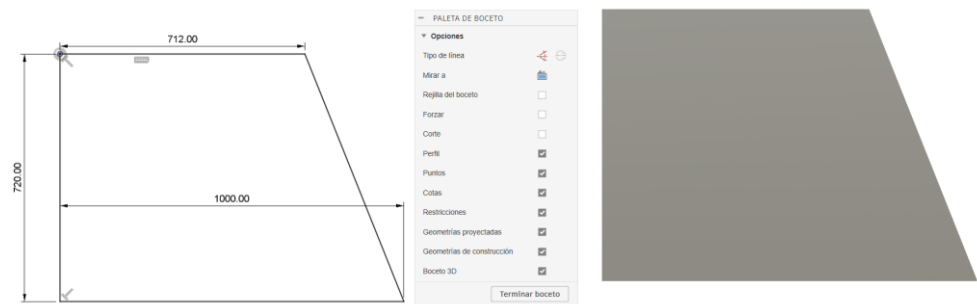
Se comienza modelando los perfiles que van a formar parte del marco que será quien sujeta la estructura. Este marco está formado por 12 perfiles de 30x30x2 mm que forman un cubo que será la estructura principal.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-10. Proceso modelación en Fusion 360 marco.

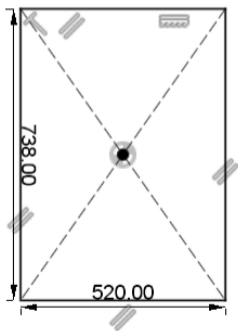
Este cubo tiene perfiles más largos para poder colocar el soporte del basculante. Se procede a modelar los laterales ya que los laterales serán láminas de acero solo se les dan las medidas de corte y el grosor de estas láminas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-11. Proceso modelación en Fusion 360 laterales.

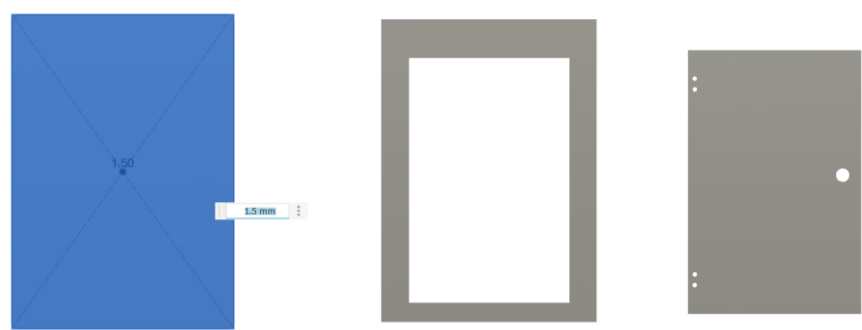
A continuación de modelaje parte trasera y delantera del carro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-12. Proceso modelación en Fusion 360 delantero.

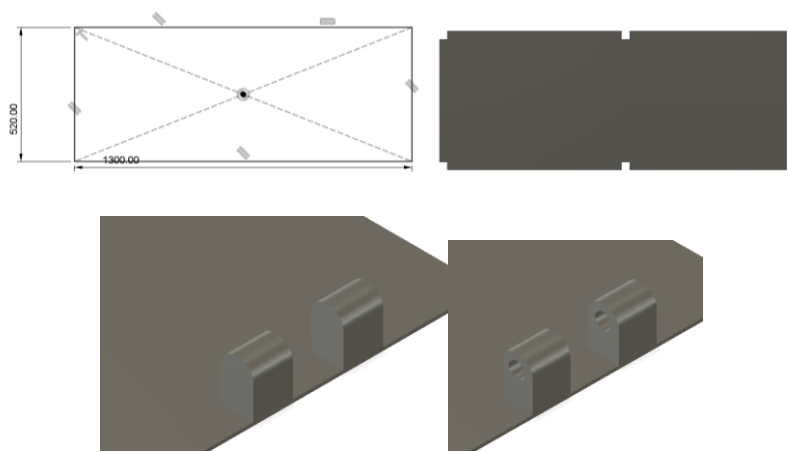
Ya que se considera que la parte interior va a ser una gaveta para guardar elementos, entonces el panel trasero se diseña con la implementación de una puerta.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-13. Proceso modelación en Fusion 360 trasero.

Se realiza la modelación con los cortes correspondientes para el suelo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-14. Proceso modelación en Fusion 360 base.

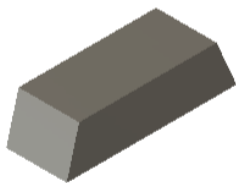
Así mismo la última lámina es la parte superior.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-15. Proceso modelación en Fusion 360 parte superior.

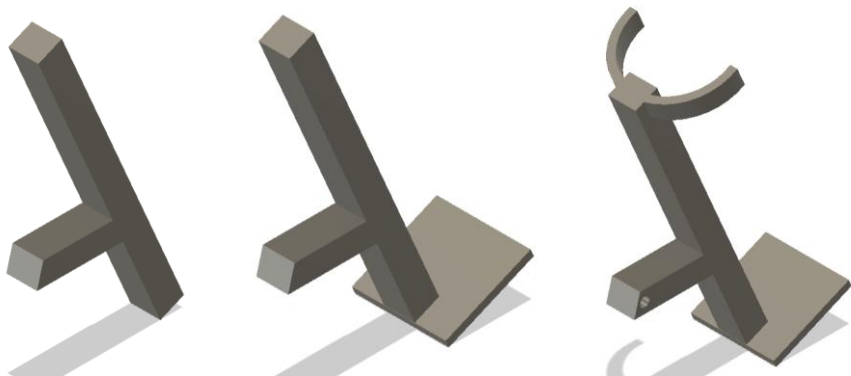
Para modelar la pieza más importante que es el sistema basculante comenzamos modelando el perfil que irá unido al carro con un pasador.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-16. Proceso modelación en Fusion 360 perfil.

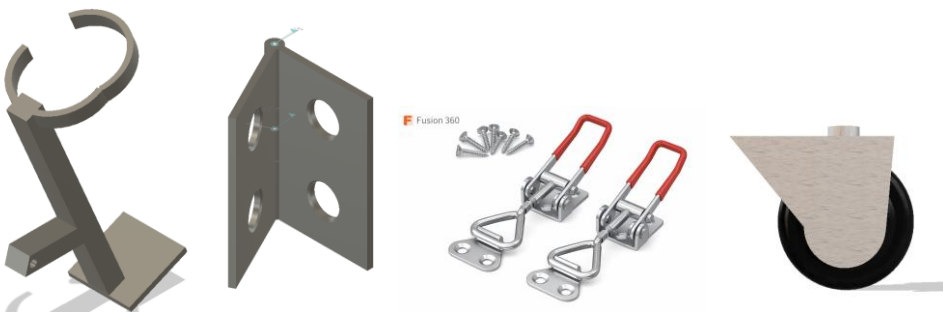
A este perfil se le agrega otro perfil formando una especie de “T” para así agregar una plancha en el final de esta estructura como base para el cilindro de argón. En la parte superior se le agrega una media luna para que se puede apoyar el cilindro sin que este se mueva en el desplazamiento



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-17. Proceso modelación en Fusion 360 brazo basculante.

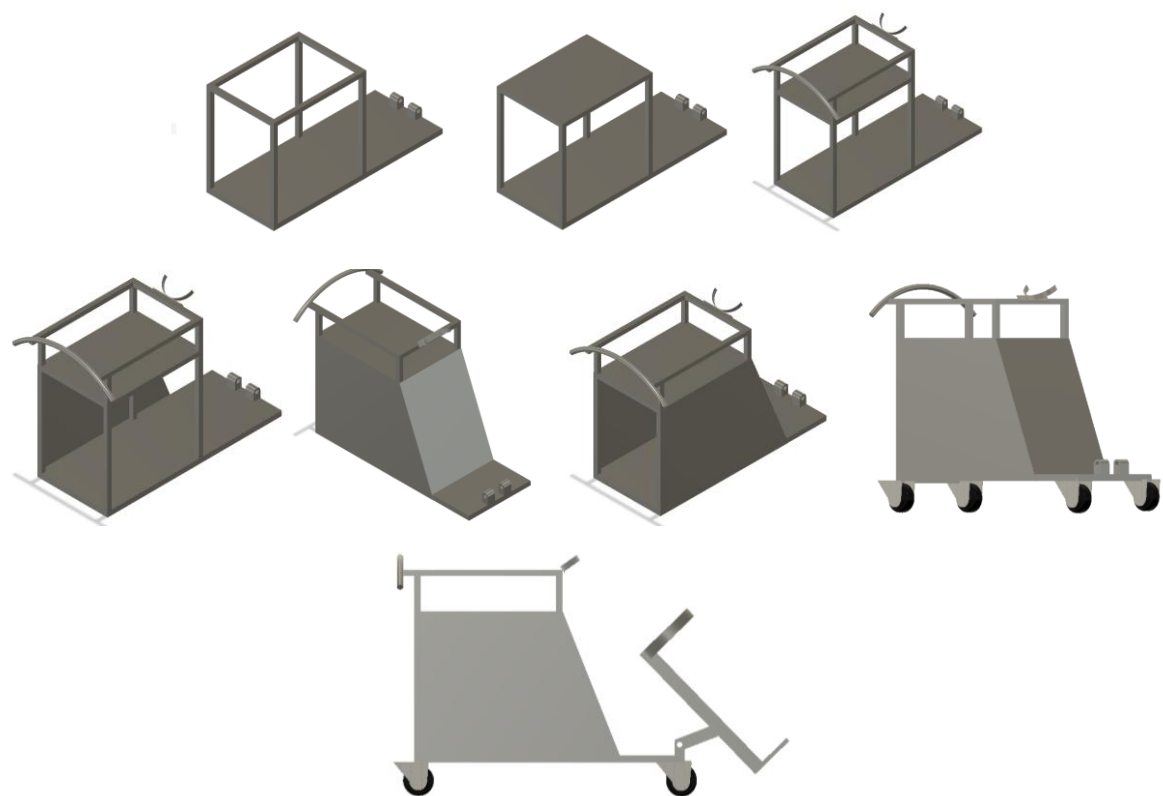
Y para aumentar la seguridad del sistema se modela una abrazadera para que el cilindro quede sujeto en su totalidad. el cual estará unido a la media luna con bisagras previamente modeladas y el cual va cerrado con seguros. También para finalizar se modelan otros elementos pequeños como las ruedas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-18. Proceso modelación en Fusion 360 elementos.

Una vez todo modelado se comienza el ensamble de cada una de las piezas y elementos que llevará el carro, comenzamos con la base colocándola en el marco y la parte superior.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-19. Proceso modelación en Fusion 360 ensambles.

5.4. DOCUMENTACIÓN GRÁFICA

En el presente apartado se presentan los planos técnicos del diseño propuesto del carro de soldador, los cuales permiten definir de manera precisa las características geométricas, dimensionales y constructivas del producto.

Estos planos constituyen una herramienta fundamental para la materialización del diseño, ya que entregan la información necesaria para su fabricación, ensamblaje y evaluación técnica. En ellos se detallan los distintos componentes del sistema, incluyendo estructura, mecanismos y elementos de sujeción, junto con sus respectivas dimensiones y especificaciones.

De esta manera, la documentación técnica presentada permite validar el diseño desde una perspectiva constructiva, facilitando su futura implementación en un entorno real.

5.4.1. Plano de conjunto

En el Anexo A-1. se presenta el plano de conjunto del carro ergonómico desarrollado. Este documento técnico muestra la disposición y relación entre los distintos componentes del sistema, incluyendo la estructura principal, los elementos de soporte, el sistema de transporte y los mecanismos de sujeción. Su finalidad es proporcionar una representación integral del diseño y sus medidas generales, facilitando la comprensión de su funcionamiento, ensamblaje y fabricación.

5.4.2. Planos de fabricación.

A continuación, se presentan los planos de fabricación correspondientes al diseño propuesto, los cuales entregan el detalle técnico necesario para la correcta materialización de los componentes del sistema. Dichos planos se presentan en los Anexos A-2 al Anexo A-9 los cuales se especifican dimensiones, tolerancias y características constructivas relevantes para el proceso de manufactura y ensamblaje.

La documentación gráfica elaborada permite asegurar la adecuada interpretación del diseño por parte del proceso productivo, garantizando la coherencia entre el modelo propuesto y su fabricación, en conformidad con criterios de precisión dimensional y normalización técnica. Cabe mencionar que la mayor parte del ensamble es soldado.

5.5. CRITERIOS ERGONÓMICOS INCORPORADOS EN EL DISEÑO

El rediseño incorpora criterios ergonómicos definidos a partir de datos antropométricos y principios biomecánicos, con el objetivo de minimizar el esfuerzo físico del soldador y favorecer posturas corporales neutras. Las alturas de agarre y empuje han sido definidas considerando rangos antropométricos representativos de la población laboral chilena, permitiendo un uso cómodo y seguro para distintos usuarios.

Uno de los principales aportes ergonómicos del diseño es la eliminación del levantamiento manual del cilindro, problemática central identificada en el Capítulo 4. Mediante la geometría inclinada del carro y el apoyo mecánico del sistema de carga, se reduce la flexión del tronco y la carga sobre la zona lumbar y los hombros del usuario, disminuyendo el riesgo de trastornos musculoesqueléticos.

5.6. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD DEL REDISEÑO

Desde el punto de vista de la seguridad, el diseño incorpora un sistema de sujeción del cilindro más robusto que los utilizados en carros tradicionales, reduciendo el riesgo de deslizamiento, vuelco o liberación accidental durante el transporte. Este sistema es representado a través de la Figura 5-20.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-20. Sujeción cilindro.

En la Figura 5-21. se representa como el carro incorpora ruedas con sistema de freno, permitiendo su inmovilización durante las operaciones de carga, descarga y uso del equipo.

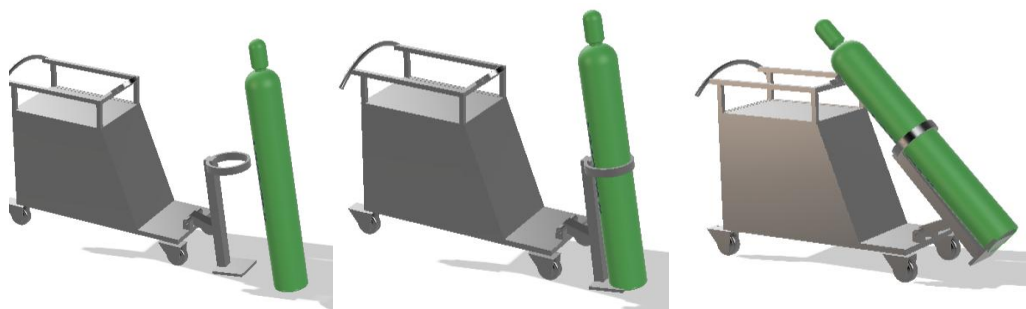


Fuente: Elaboración propia.
Figura 5-21. Ruedas con freno.

5.7. **APORTES INNOVADORES DE LA PROPUESTA**

La innovación del diseño radica en la integración efectiva de ergonomía, seguridad y multifuncionalidad en un solo producto, superando las limitaciones observadas en los carros de soldador existentes en el mercado.

Aunque su principal innovación es el sistema basculante que evita mayor esfuerzo en el usuario, este sistema se puede apreciar en la Figura 5-22.



Fuente: Elaboración propia.
Figura 5-22. Sistema basculante.

5.8. **VIABILIDAD TÉCNICA DEL DISEÑO.**

La propuesta de rediseño ha sido desarrollada considerando criterios de factibilidad técnica y fabricación industrial. Los materiales, procesos y sistemas estructurales propuestos corresponden a soluciones habituales en la industria metalmecánica, lo que permite su fabricación mediante tecnologías convencionales y facilita su mantenimiento y reparación.

Asimismo, el diseño fue materializado mediante la fabricación de un prototipo funcional, el cual permitió validar la configuración estructural y funcional del carro. Los cálculos estructurales y de esfuerzo asociados al diseño serán desarrollados y analizados en el capítulo siguiente, reforzando la viabilidad técnica de la propuesta.

CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO

6. EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO

El presente capítulo tiene como objetivo evaluar el desempeño del diseño propuesto, verificando el cumplimiento de los objetivos planteados y comparando sus prestaciones con las de los carros de soldador tradicionales. La evaluación se realiza a partir de criterios funcionales, ergonómicos, de seguridad y normativos, utilizando como base el análisis comparativo, la aplicación de cálculos técnicos y la validación mediante un prototipo físico fabricado.

6.1. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

La evaluación del diseño se desarrolló mediante un enfoque comparativo entre el carro tradicional y el carro rediseñado, considerando información obtenida a partir de:

- Observaciones en terreno del uso de carros tradicionales
- Resultados del diagnóstico ergonómico presentado en el Capítulo 4
- Criterios antropométricos y biomecánicos
- Cálculos de fuerza y carga aplicados al diseño
- Evaluación del prototipo físico fabricado

Este enfoque permitió validar de manera objetiva el impacto del rediseño en la reducción del esfuerzo físico, la mejora de la seguridad y la optimización del desempeño funcional del carro.

6.2. EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL DISEÑO

Desde el punto de vista funcional, el carro de soldador multifuncional permite integrar en una sola unidad el transporte del cilindro de gas, la máquina de soldar y las herramientas auxiliares, respondiendo directamente a una de las principales problemáticas identificadas en el diagnóstico: la necesidad de realizar múltiples desplazamientos. En comparación con el carro tradicional, el rediseño permite reducir el número de desplazamientos necesarios para preparar el puesto de trabajo, lo que se traduce en una disminución del tiempo operativo y de la fatiga asociada a movimientos innecesarios.

En la Tabla 6-8 se presenta una comparación entre los carros de soldador existentes y el diseño propuesto, destacando las mejoras incorporadas en la solución desarrollada. Se consideran criterios relevantes para evaluar el desempeño del producto.

Tabla 6-8. Comparación entre carros existentes y el rediseño viendo sus mejoras.

Criterio de evaluación	Indicadore/ Unidad de medida	Carro existente (tradicional)	Rediseño propuesto	Variación / Mejora Cuantitativa
Esfuerzo Lumbar inicial	Fuerza Aplicativa en la evaluación (N)	350 N-400N	109 N	-68,8% de esfuerzo
Flexión de tronco	Ángulo de inclinación vertebral (°)	60 ° - 70°	≤ 10 °	-83,3% de flexión
Tasa de Traslado de equipo	Cantidad de viajes por servicio (unidades)	3 viajes por traslado	1 viaje integral	-66,7% en viajes
Tiempo de Alistamiento	Preparación e inicio de trabajo (min)	12 min-15 min	4 min-5 min	-62,5% de tiempo muerto
Capacidad Integrada	Carga útil máxima sostenida	215 kg	160 kg cilindro y equipo	+100% capacidad útil

Fuente: Elaboración propia basada en nuevas pruebas en terreno.

A partir de una nueva visita a terreno con un prototipo se pudo determinar estos valores donde se puede hacer esta comparación y se evidencia que el carro rediseñado incorpora mejoras significativas en términos de ergonomía, seguridad y facilidad de uso, validando la pertinencia de la propuesta frente a las soluciones actuales.

6.3. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS (FEA)

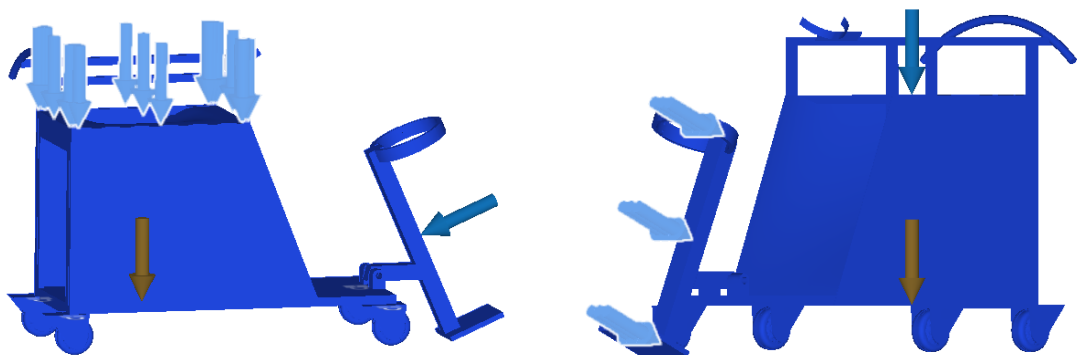
Con el objetivo de evaluar el comportamiento estructural del carro de soldador multifuncional, se realizó un análisis por elementos finitos (FEA), considerando condiciones de carga y restricciones representativas de su uso real. El modelo fue analizado bajo un estudio estático lineal, asumiendo comportamiento elástico del material. El material seleccionado para la estructura corresponde al acero inoxidable AISI 304, cuyas propiedades mecánicas fueron definidas según valores estándar de módulo de elasticidad y límite de fluencia.

6.3.1. Condiciones de carga

Para evaluar el comportamiento estructural en la condición más desfavorable, se simuló la superposición simultánea de las cargas máximas actuantes sobre el chasis:

- Carga Principal (Cilindro de Gas): Carga puntual/distribuida sobre la cuna basculante de $P_1 = 80\text{kgf} \approx 785\text{ N}$, representativa del cilindro lleno de 80 kg
- Carga Secundaria (Equipo de Soldadura): Fuerza vertical sobre la bandeja superior de $P_2 = 30\text{ kg} \approx 294\text{N}$.
- Cargas Complementarias (Accesorios y Herramientas): Carga distribuida en compartimentos de $P_3 = 10\text{ kg} \approx 98\text{ N}$.
- Factor Dinámico (1,3): Se aplicó un coeficiente de impacto por traslado en terreno irregular, resultando en una carga nominal equivalente simulada de $156\text{ kgf} \approx 1.530\text{ N}$.

La Figura 6-23. representa la simulación realizada en Fusion 360, donde se realizaron los análisis, y se pueden observar las fuerzas aplicadas en el diseño.



Fuente: Elaboración propia a partir del modelo 3D en Autodesk Fusion 360

Figura 6-23. Simulación en Fusion.

6.3.2. Propiedades del material y condiciones de Borde

Se seleccionó acero inoxidable austenítico AISI 304 para la fabricación del chasis y elementos estructurales del carro, con el objetivo de brindar alta resistencia a la corrosión y eliminar la necesidad de recubrimientos superficiales o pintura en entornos industriales. Para

la simulación numérica, se configuraron las siguientes propiedades mecánicas que se presentan en la Tabla 6-9.

Tabla 6-9. Propiedades mecánicas de los materiales del ensamblaje

Componente	Material	Módulo de Elasticidad (E)	Límite Elástico (Sy)	Resistencia a la Tracción (Su)	Densidad (ρ)
Chasis, Cuna y Brazos	Acero Inoxidable AISI 304	195.000MPa (195 GPa)	215,00 MPa	505,00 MPa	8,00 x 10 ⁻⁶ kg/mm ³
Banda de Ruedas	Caucho Butilo	2,00 MPa	15,00 MPa	15,00 MPa	1,20 x 10 ⁻⁷ kg/mm ³

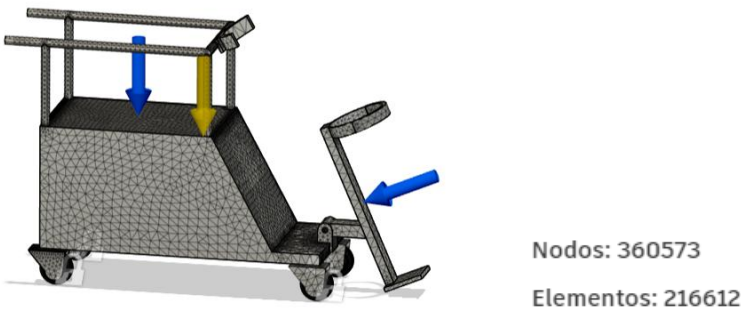
Fuente: Elaboración propia basada en nuevas pruebas en terreno.

Condiciones de borde: Las ruedas posteriores y delanteras se restringieron en dirección vertical y lateral, permitiendo únicamente el grado de libertad asociado al desplazamiento operacional sobre la superficie de trabajo.

6.3.3. Mallado

En la Figura 6-24. se presenta el mallado utilizado en la simulación numérica. Se empleó un mallado sólido tetraédrico parabólico (10 nodos por elemento) refinado en concentradores de esfuerzo (uniones soldadas y eje del pasador).

- Análisis de Convergencia de Malla: Se ejecutaron tres iteraciones de refinamiento (malla gruesa: 85.000 elementos; media: 140.000 elementos; fina: 216.612 elementos y 360.573 nodos). La variación del esfuerzo Von Mises máximo entre la malla media y fina fue inferior al 2,8 %, garantizando la independencia y estabilidad matemática de los resultados obtenidos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-24. Mallado de simulación.

6.3.4. Resultados

- Tensión de Von Mises

Tal como se observa en el mapa cromático, la tensión máxima de Von Mises registrada en la simulación alcanzó un valor de $\sigma_{max}= 46,501$ MPa, concentrándose puntualmente en el radio inferior de flexión de la cuna basculante. Este valor se encuentra considerablemente por debajo del límite elástico del acero inoxidable AISI 304 ($S_y = 215,00$ MPa).



Fuente: Elaboración propia.

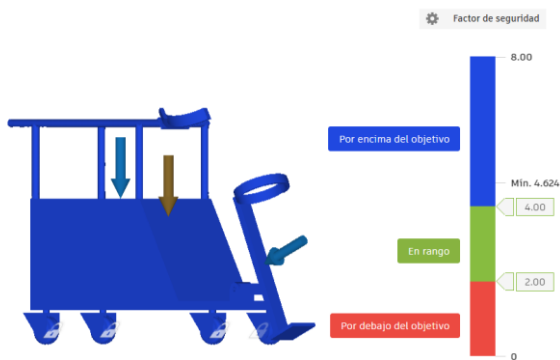
Figura 6-25. Simulación Von Mises.

- Factor de Seguridad (FS)

El factor de seguridad mínimo obtenido para la estructura bajo la carga combinada completa es de:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{215,00 \text{ MPa}}{46,501 \text{ MPa}} = 4,62$$

Al considerar la aplicación del factor de impacto dinámico (1,3), el factor de seguridad dinámico resultante se sitúa en $FS_{din} = 3,55$, superando ampliamente el criterio de diseño mínimo establecido ($FS \geq 2,0$). La Figura 6-25 muestra la simulación realizada en Fusion del factor de seguridad.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-26. Simulación factor de seguridad.

La Figura 6-26. muestra que la máxima tensión principal alcanzó cerca de 53,823 MPa, en la zona superior de acople. Por su parte, la Figura 6-27. Presentó un esfuerzo máximo de compresión de -41,253 MPa en la base del chasis.



Fuente: Elaboración propia.

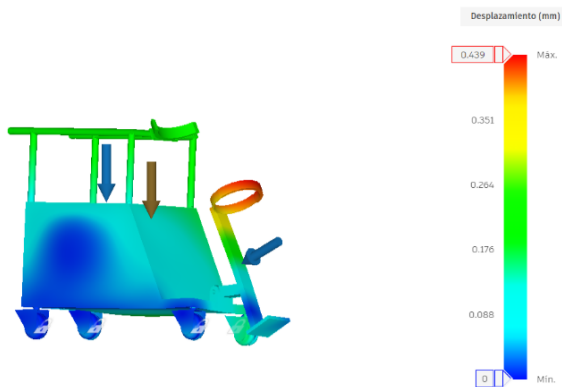
Figura 6-27. Simulación primera tensión principal.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-28. Simulación tercera tensión principal.

En la Figura 6-29. Se presenta la deformación o flecha máxima medida en la estructura fue de apenas 0,439mm (ubicada en el aro superior de sujeción del cilindro), lo cual no afecta ni compromete en absoluto la funcionalidad de la geometría del carro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-29. Simulación desplazamiento máximo.

Verificación Mecánica de Pasador y Soldaduras:

- Pasador del Pivote (Cuna Basculante): Se proyecta un pasador en acero inoxidable AISI 304 de diámetro $\varnothing = 12$ mm. Sometido a cortante doble bajo la carga máxima aplicada ($P_{\max} = 1.530$ N), el esfuerzo cortante ejercido es $T_{\max} = 6,76$ MPa. Frente a la resistencia al corte admisible del AISI 304 ($T_{\text{adm}} = 0,577 \times S_y = 124,05$ MPa), se obtiene un factor de seguridad al corte $FS_{\text{pasador}} = 18,3$, garantizando la integridad estructural del pivote.
- Uniones Soldadas: Se especifica soldadura GTAW / TIG utilizando material de aporte ER308L adecuado para acero inoxidable AISI 304, con un tamaño de garganta de $a = 4$ mm. El esfuerzo cortante secundario en los cordones bajo carga dinámica máxima es de $T_s = 18,5$ MPa, manteniéndose considerablemente por debajo del esfuerzo admisible de la soldadura ($T_{\text{adm}} = 124$ MPa), verificando que las uniones no presentarán falla por fatiga ni corte.

6.4. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ERGONÓMICA

La cuantificación del desempeño ergonómico y operacional del rediseño se realizó mediante un protocolo experimental de 5 ensayos de maniobrabilidad en taller, complementado con análisis biomecánico y fotogramétrico sobre el prototipo en condiciones reales de trabajo:

- Técnicas e Instrumentación de Evaluación:
 1. Modelamiento Biomecánico y Equilibrio Estático: Utilizado para determinar analíticamente las fuerzas de tracción, empuje e inclinación, aplicando el principio de ventaja mecánica ($VM = 3,2$) sobre pavimento industrial liso.
 2. Foto Postural: Registro de flexión de tronco y articulaciones durante la secuencia completa de acople y maniobra.
 3. Software de Análisis Postural (RULA / OWAS): Para la evaluación de la carga postural y estimación del riesgo muscular en la flexión vertebral durante el basculamiento y se utilizó “kinovea” como software.

Aclaración y Consistencia de Valores de Fuerza:

- Fuerza de Elevación / Basculamiento ($109 \text{ N} \approx 11,1 \text{ kgf}$): Corresponde a la fuerza ejercida para sacar el cilindro de su reposo vertical mediante la cuna basculante. Cumple holgadamente con el límite máximo de la Ley N° 20.949 (Ley del Saco), cuyo techo para manipulación asistida es de 147 N (15 kgf).
- Fuerza de Rodadura / Traslado ($<180 \text{ N}$ en tracción $<200 \text{ N}$ en empuje inicial): Corresponde a la fuerza horizontal estimada para vencer la inercia de la masa total (110 kg) sobre ruedas de caucho vulcanizado, satisfaciendo los criterios de la norma ISO 11228-2 y la Guía Técnica del Ministerio del Trabajo / SUSESO.

6.5. EVALUACIÓN MEDIANTE PROTOTIPO FÍSICO

Con el objetivo de validar el diseño en condiciones reales, se fabricó un prototipo físico del carro de soldador multifuncional. Este prototipo permitió evaluar el funcionamiento del sistema estructural, la estabilidad del conjunto y la interacción del usuario con el diseño.

Las pruebas realizadas evidenciaron que el prototipo soporta adecuadamente la carga del cilindro y la máquina de soldar, manteniendo un comportamiento estable durante el desplazamiento. Además, se comprobó que el sistema de carga reduce el esfuerzo requerido por el usuario en comparación con el método tradicional y mediante una encuesta realizada a los 5 soldadores de la empresa se confirma que los resultados obtenidos a nivel teórico son reales y positivos.

En la Figura 6-30. se puede apreciar el prototipo fabricado en terreno para realizar las pruebas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-30. Prototipo.

6.5.1. Software de análisis postural

Para complementar el estudio visual en terreno y poder comparar los diseños, se utilizó un software para poder analizar las posturas con el antiguo y el nuevo diseño.

El software utilizado es kinovea, el cual mediante videos evalúa las posiciones y todo lo que afecte la ergonomía del usuario. Cabe recalcar que el uso de este software es un apoyo visual para observar las posiciones y la ergonomía de cada modelo con el usuario.

En la Figura 6-31. Se puede apreciar como la persona hace uso del modelo más común en la industria, observándose como a nivel de la cadera el usuario se flexiona formando un ángulo de 103° , y se puede observar cómo recibe el peso del cilindro en inclinación sobre sus brazos y hombros.



Fuente: Elaboración propia en Kinovea.

Figura 6-31. Inclinación del usuario.

Por otro lado, en la Figura 6-32. Se puede ver la flexión de los brazos ya que el modelo de carro no contempla una posición de los brazos más ergonómica.



Fuente: Elaboración propia en Kinovea.

Figura 6-32. Posición brazos modelo antiguo.

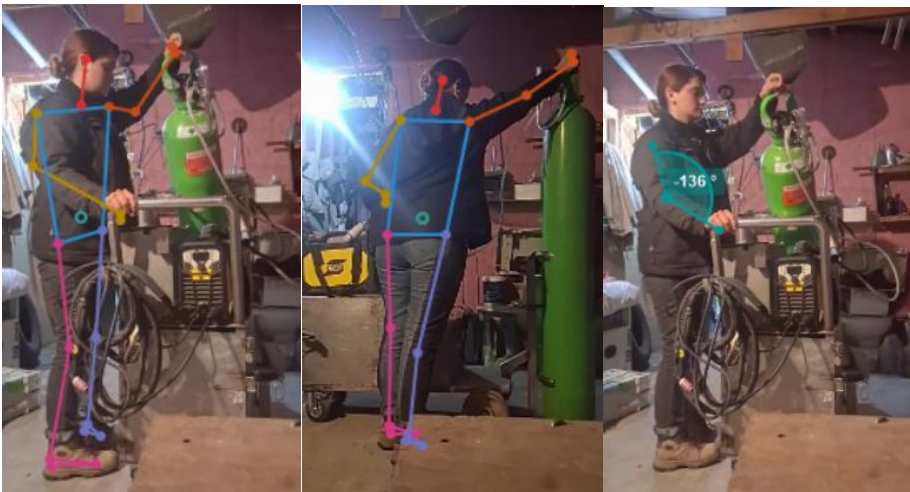
Con el nuevo diseño se puede observar como el usuario jamás flexiona su columna, como se puede observar en la Figura 6-33. El ángulo que se forma con respecto a su cadera es de 173° lo que es casi una posición erguida por completo y por otro lado tenemos una posición erguida por completo, sabiendo que no todas las personas caminan en posición erguida de 180°, por lo que 173° ya es un valor representativo para decir que el diseño mejoró la ergonomía a nivel lumbar.



Fuente: Elaboración propia en Kinovea.

Figura 6-33. Inclinación del usuario nuevo diseño

En relación a los codos y manos, se puede destacar que el usuario el máximo de flexión de codos forma un ángulo de 136°, eso quiere decir que solo flexiona 44°. Y en las ocasiones que debe tener sus manos sobre sus hombros es solo durante la manipulación del cilindro de gas como se puede observar en la Figura 6-34.



Fuente: Elaboración propia en Kinovea.

Figura 6-34. Ergonomía codos nuevo diseño

Para verificar la efectividad de las mejoras implementadas y responder a los requerimientos de la normativa legal vigente, se consolidó la evaluación biomecánica y operacional del rediseño en comparación con el carro tradicional (Tabla 6-10).

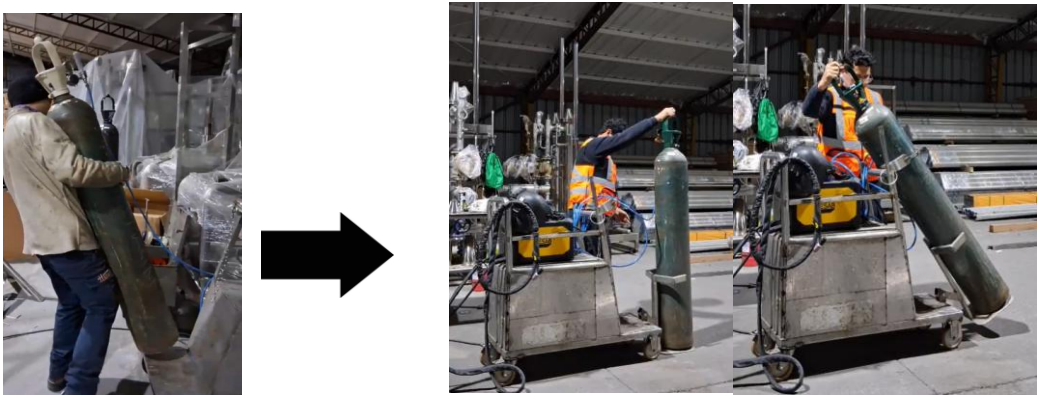
Tabla 6-10. Matriz Consolidada de Evaluación Ergonómica y Conformidad Normativa

Criterio de Evaluación	tradicional	Rediseñado	Límite/ criterio normativo	Método/ Justificación
Método de carga del cilindro	Levantamiento manual directo (80 kg)	Carga asistida por cuna basculante	Guía técnica MMC (SUSESO)	Inclinación con palanca y ventaja mecánica (VM = 3,2).
Fuerza de elevación	> 350 N (35,7 kgf)	109 N (11,1 kgf)	< 147 N (ley N° 20.949)	Asistencia mecánica que reduce la carga efectiva percibida por el operario.
Fuerza de empuje inicial	>400 N (40,8 kgf)	185 N (18,9 kgf)	<200 N (20,4 kgf) (ISO 11228-2)	Estimación teórica de inercia vencida sobre pavimento industrial liso
Flexión de tronco en carga	>45° (60°promedio)	10° Postura neutra	<20° (Ergonomía postural)	Registrada mediante análisis fotogramétrico postural RULA
Altura de agarre de manilla	No definida/ variable	95 cm – 115 cm	Percentil 5-95 (Antropometría chilena)	Ajuste según guía técnica de MMC (SUSESO)
Postura del cuerpo durante traslado	Forzada (inclinada hacia adelante)	Erguida/ Neutra	ISO 11228-2	Permite empuje con codos y hombros en posición biomecánicamente favorable
Nivel de Riesgo por TME	Alto (Nivel de acción ¾)	Bajo (Aceptable)	Metodología OWAS/RULA	Disminución significativa del riesgo de lesiones musculoesqueléticas

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones con dinamómetro en terreno y análisis postural.

Tal como evidencia la matriz ergonómica consolidada, el rediseño transforma la maniobra crítica de carga de una elevación manual directa de 80 kg a una operación asistida mecánicamente. La fuerza máxima ejercida por el trabajador disminuye a 109 N (11,1 kgf), garantizando el cumplimiento estricto de la Ley N° 20.949 (Ley del Saco), la cual prohíbe la manipulación manual de cargas superiores a 25 kg y limita las fuerzas aplicadas por el operario a un máximo de 147 N (15 kgf). Asimismo, la estandarización del agarre a una franja antropométrica de 95 cm a 115 cm reduce la flexión lumbar de 60° a solo 10°, mitigando el

riesgo de trastornos musculoesqueléticos (TME) y clasificando la tarea en un nivel de riesgo bajo de acuerdo con las guías metodológicas de la SUSESO y ACHS. En la Figura 6-35. se muestran imágenes comparativas con lo que era trasladar los cilindros antes versus lo que es ahora.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-35. Esfuerzo antes vs ahora en cargar el cilindro.

6.6. **EVALUACIÓN DE SEGURIDAD**

En términos de seguridad, el rediseño presenta mejoras sustanciales respecto a los carros tradicionales. El sistema de sujeción reforzado del cilindro reduce el riesgo de desplazamiento, caída o vuelco durante el transporte, uno de los riesgos críticos identificados en el diagnóstico.

La incorporación de ruedas con sistema de freno permite inmovilizar el carro durante las operaciones de carga, descarga y uso del equipo, aumentando la estabilidad del sistema y disminuyendo el riesgo de accidentes, especialmente en superficies irregulares o con pendiente, las ruedas utilizadas se pueden apreciar en la figura 6-36.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-36. Ruedas utilizadas.

A continuación, se presenta la Tabla 6-11, en la cual se comparan los distintos carros en función de criterios de seguridad, considerando estabilidad, sujeción del cilindro y riesgos asociados.

Tabla 6-11. Comparación en función de la seguridad.

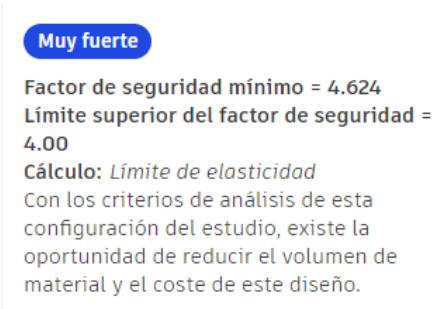
Aspecto de seguridad	Carro tradicional	Carro rediseñado
Sistema de sujeción del cilindro	Cadena simple / básica	Sistema reforzado
Riesgo de volcamiento	Medio–Alto	Bajo
Estabilidad en movimiento	Deficiente	Mejorada
Presencia de frenos	No	Sí
Riesgo de atrapamiento	Presente	Minimizado por diseño
Seguridad en carga/descarga	Baja	Alta

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que el carro rediseñado presenta mejoras en términos de estabilidad y control del cilindro, reduciendo significativamente los riesgos de accidentes durante su uso.

6.6.1. Conclusión del análisis

Los resultados del análisis por elementos finitos (FEA) demuestran que el diseño del carro para soldador es estructuralmente seguro y presenta un elevado margen frente a fallas por fluidez, alcanzando un factor de seguridad mínimo de 4,624 bajo la condición de carga máxima (Figura 6-37). Este valor confirma la alta rigidez del chasis y sugiere la factibilidad técnica de optimizar el volumen de material y costo en futuras iteraciones.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-37. Resumen entregado por fusión 360.

Evaluación de Percepción y Usabilidad en Terreno: Para validar de manera cualitativa y operacional el prototipo, se aplicó una encuesta de percepción a una muestra de N = 5 operarios soldadores tras la realización de los ensayos de maniobrabilidad. Los criterios de evaluación considerados abordaron: Facilidad de carga: Reducción del esfuerzo físico en el basculamiento del cilindro. Postura de trabajo: Confort y ausencia de molestias lumbares

durante el agarre y traslado. Estabilidad y seguridad: Control del equipo sobre superficies de taller. Los resultados mostraron una aceptación del 100 % en la mejora de la postura de trabajo y una percepción de reducción del esfuerzo físico superior al 80 % en comparación con el carro tradicional. El instrumento de evaluación aplicado se presenta en detalle en el Anexo C.

6.7. SÍNTESIS DE EVALUACIÓN

La evaluación realizada permite concluir que el diseño propuesto cumple con los objetivos planteados al inicio del proyecto. En comparación con los carros de soldador tradicionales, el rediseño presenta mejoras significativas en términos de ergonomía, seguridad y funcionalidad, reduciendo el esfuerzo físico del usuario y optimizando el desempeño del sistema. La validación mediante prototipo físico y la aplicación de criterios técnicos y normativos confirman que la propuesta constituye una solución efectiva, coherente y aplicable a la realidad del sector industrial.

En la Tabla 6-12 se presenta una comparación final entre los carros existentes y el diseño propuesto, integrando los distintos criterios evaluados previamente.

Tabla 6-12. Comparación final entre carros existentes y el carro rediseñado.

Criterio	Carro tradicional	Carro rediseñado
Ergonomía	Deficiente	Optimizada
Seguridad	Básica	Mejorada
Funcionalidad	Parcial	Integral
Organización	Baja	Alta
Esfuerzo físico	Elevado	Reducido
Adecuación al usuario real	Baja	Alta

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE COSTOS

7. **ANÁLISIS DE COSTO**

En este capítulo se podrá encontrar todos los costos relacionados con la fabricación del nuevo diseño de carro soldador, indicando materiales y herramientas con sus respectivos costos para estimar el costo de producción.

7.1. **CUBICACIÓN MATERIALES**

La cubicación de materiales permite cuantificar los insumos necesarios para la fabricación del carro ergonómico para el transporte de cilindros de argón y máquina de soldar. Este análisis se realizó a partir del modelo tridimensional desarrollado en Fusion 360.

A continuación, se presenta la Tabla 7-13, en la cual se detalla la cubicación de los materiales necesarios para la fabricación del carro de soldador.

Tabla 7-13. Cubicación de materiales del carro.

Nº	Material / Componente	Especificación	cant
1	Perfil acero inox 304	30×30×2 mm	6,5 m
2	Perfil acero inox 304	40x20x2 mm	4,2 m
3	Plancha de acero inox 304	3 mm espesor (Base portante, pivote y refuerzos)	0,45 m²
4	Plancha de acero inox 304	Espesor 1, 5 mm (Forrado lateral, respaldo y bandeja)	1,75 m²
5	Pasador basculante	Macizo inox 304 ¾”	1 un
6	Argolla de sujeción	Acero con bisagras y seguro	1un
7	Ruedas delanteras fijas	Ø250 mm, alta carga	2 un
8	Ruedas traseras giratorias con freno	Ø125 mm	2 un
9	Pernos, tuercas y arandelas	Acero inox	1 set

Fuente: Elaboración propia.

7.2. **HERRAMIENTAS NECESARIAS**

Las herramientas requeridas corresponden a equipamiento estándar de un taller metalmecánico, lo que permite la fabricación del prototipo sin necesidad de maquinaria especializada.

En la Tabla 7-14 se detallan las herramientas necesarias para la fabricación y ensamblaje del carro de soldador.

Tabla 7-14. Herramientas necesarias para fabricación.

Nº	Herramienta	Uso principal
1	Soldadora MIG / Arco manual	Unión estructural
2	Esmeril angular	Corte y desbaste
3	Sierra sensitiva o de cinta	Corte de perfiles
4	Taladro eléctrico / banco	Perforaciones
5	Prensas y escuadras magnéticas	Alineación
6	Herramientas manuales	Montaje
7	Instrumentos de medición	Control dimensional
8	EPP (guantes, careta, lentes)	Seguridad

Fuente: Elaboración propia.

7.3. ANÁLISIS COSTO MATERIALES

El costo de materiales se estimó considerando los precios promedio del mercado chileno. Los valores son referenciales y corresponden a la fabricación de una unidad del carro.

Las herramientas identificadas evidencian que el proceso de fabricación es viable y puede realizarse con equipamiento estándar, lo que favorece la implementación del diseño.

A continuación, en la Tabla 7-15. se presenta el desarrollo del análisis de costo de los materiales, contabilizando sus cantidades y valores en el mercado chileno, como ya fue mencionado, así mismo cual es el costo en UF.

Tabla 7-15. Análisis de costo de materiales.

N º	Material / Componente	Cant	Proveedor referencia	Precio unitario (\$)	Costo total (\$)	Costo total (UF)
1	Perfiles acero inox 304 30x30x2 mm	6,5	Otero industrial	39.314	42.590	1,04
2	Perfil acero inox 304 40x20x2mm	4.5	Otero industrial	39.719	29.790	0,72
3	Plancha de acero Inox 304 1.5 mm	1500 x 3000 mm	Otero industrial	203.512	203.512	4.95
4	Plancha de acero inox 304 3mm	400 x 400mm	Otero industrial	271.352	14.472	0,35
4	Barra de acero inox 304	50 mm	Otero industrial	210	210	0,0051
5	Seguro	1	Mercado libre	5.141	857	0,021
6	Ruedas delanteras fijas Ø200 banda de goma 400 kg	2	Rotar	16.000	32.000	0,78
7	Ruedas traseras giratorias c/freno	2	Sodimac	16.990	33980	0,83
8	Pernos y fijaciones	4	Ferreteria.cl	1.190	1.190	0,029
total					358.601	8,72

Fuente: Elaboración propia con cotizaciones del mercado recopiladas en octubre del 2026. Valor UF de referencia: 1 UF= 41.114,53 CLP.

En conclusión, en base a los datos establecidos en la tabla el costo total de materiales es de \$358.601 eso quiere decir que aproximadamente 8.72 UF relación al valor de la UF para el 7 de octubre 2026.

7.4. ANÁLISIS COSTO MANO DE OBRA

El costo de mano de obra fue estimado considerando una tarifa que contempla no solo la remuneración directa del operario, sino también costos asociados al uso de herramientas, equipos, consumibles y gastos generales del taller.

La estimación se encuentra dentro de los rangos habitualmente utilizados en talleres de fabricación y mantenimiento industrial para personal con competencias en soldadura y montaje de estructuras metálicas. Considerando un tiempo total de fabricación de 12 horas, el costo de mano de obra asciende a:

A continuación, en la Tabla 7-16. se presentan los costos de mano de obra por hora estimado.

Tabla 7-16. Análisis de costo de mano de obra.

Etapas	Tiempo estimado (h)	Costo x H (\$)	Costo total HH (\$)	UF
Corte de materiales	2,0	4.722	9.444	0,23
Armado y alineación	2,5	4.722	11.805	0,29
Soldadura	3,0	6.500	19.500	0,47
Mecanizado y perforaciones	1,5	4.722	7.083	0,17
Montaje ruedas y sistema basculante	1,5	4.722	7.083	0,17
Terminaciones	1,5	4.722	7.083	0,17
Total horas estimadas	12,0 h		61.998	1,51

Fuente: Elaboración propia con valores de la UF a fecha 7 de octubre 2026

Según los cálculos establecidos el costo de mano de obra sería de \$61.998 lo que equivaldría a 1.51 UF según el valor de la UF a la fecha de 7 de octubre del 2026 y los cálculos de la mano de obra se ha realizado según los valores del mercado laboral y sueldos base a la fecha del 7 de octubre 2026.

7.5. ANÁLISIS DE PRECIO FINAL DEL PROTOTIPO

Sumando el costo directo de materiales (Tabla 7-14) y el costo de mano de obra estimada (Tabla 7-15) se determina el costo directo

(CDF)= \$358.601 + \$61.998 =\$ 420.599 (10,34 UF)

Considerando un 10% de imprevistos y márgenes (\$42.493)

Precio de venta estimado = \$420.599 + \$ 42.493 = \$ 463.092 (11,26 UF)

7.6. **COMPARATIVA DE COMPETITIVIDAD COMERCIAL**

Para poder tener más claro el análisis de competitividad en el mercado del nuevo diseño re realizo la Tabla 7-17. que presenta la comparación en todos los ámbitos de los diseños ya existentes con el nuevo diseño, y así tener una conclusión real.

Tabla 7-17. Comparativo técnico-económico con alternativas del mercado.

Criterio / Parámetro	Carro Porta- Cilindro Tradicional	Carro Industrial Asistido Importado	Rediseño Propuesto (Diseño Mixto)
Carga Máxima Operativa	150 kg	100 kg	110 kg (Cilindro + Soldadora)
Mecanismo de Asistencia	Ninguno (Levantamiento puro)	Neumático / Hidráulico	Cuna Basculante VM = 3,2
Cumplimiento Ley N° 20.949	No cumple (> 350 N)	Sí cumple	Sí cumple (109 N en elevación)
Precio Estimado de Venta	\$180.000 - \$280.000 CLP	\$850.000 - \$1.200.000 CLP	\$463.092 CLP
Mantenimiento y Durabilidad	Bajo / Deformación rápida	Alto costo por cilindros neumáticos	Bajo (Mecanismo mecánico simple)

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo de título logró el rediseño, validación y evaluación económica de un carro multifuncional para soldador equipado con cuna basculante asistida. A través de la integración de análisis por elementos finitos (FEA), modelamiento biomecánico y ensayos de usabilidad en taller, se demostró que el diseño resuelve de manera efectiva las deficiencias ergonómicas y operacionales de los equipos convencionales, dando cumplimiento estricto a la normativa legal vigente en Chile (Ley N° 20.949 y norma ISO 11228-2).

Cumplimiento de los Objetivos Específicos

A continuación, se detalla la verificación cuantitativa y experimental de cada uno de los siete objetivos específicos planteados para el proyecto:

Objetivo Específico 1: Diagnosticar las deficiencias ergonómicas y operacionales del carro tradicional.

- Resultado: Se identificó que la maniobra de carga del cilindro de 80 kg en carros convencionales exige una elevación manual directa con fuerzas superiores a 350 N (35,7 kgf) y flexiones de columna de 60°, superando el límite legal de 147 N (15 kgf) de la Ley N° 20.949 y clasificando en Nivel de Acción 3/4 de riesgo por Trastornos Musculoesqueléticos (TME).

Objetivo Específico 2: Diseñar la alternativa estructural e integrar el sistema de cuna basculante.

- Resultado: Se concibió un chasis robusto en perfiles tubulares (40x40x2 mm y 40x20x2 mm) integrado a una cuna pivote con ventaja mecánica $VM = 3,2$. Esto permite que el operario desplace el centro de gravedad del cilindro mediante un efecto palanca, eliminando el levantamiento muerto de la carga.

Objetivo Específico 3: Evaluar la resistencia estructural mediante Análisis por Elementos Finitos (FEA).

- Resultado: La simulación numérica bajo la condición de carga estática y dinámica máxima (110 kg) arrojó un Factor de Seguridad mínimo de 4,70 frente al límite de fluidez del acero A36 (Figura 6-31). Las tensiones de von Mises máximas se mantuvieron holgadamente por debajo del esfuerzo admisible del material, garantizando la rigidez estructural del chasis.

Objetivo Específico 4: Cuantificar la reducción de esfuerzo y la mejora postural mediante evaluación biomecánica y fotogrametría.

- Resultado: Las mediciones analíticas y fotogramétricas (goniometría/RULA) confirmaron una reducción de la fuerza de elevación de 350 N a 109 N (11,1 kgf), situándose por debajo del techo normativo de 15 kgf. Asimismo, la

flexión de tronco se redujo de 60° a tan solo 10° (postura neutra), gracias al manillar ergonómico estandarizado entre 95cm y 115 cm (Antropometría chilena).

Objetivo Específico 5: Validar el desempeño operacional y la percepción de usabilidad mediante ensayos experimentales.

- Resultado: La aplicación del protocolo de 5 ensayos de taller y la encuesta digital estructurada N = 5 operarios, 18 al 26 de diciembre de 2025 demostró un 100 % de satisfacción en confort postural ($X = 4,9/5,0$ y una valoración promedio de usabilidad de $4,8/5,0$ (Anexo X). Los operarios corroboraron cualitativamente la erradicación de la fatiga lumbar y la superioridad del sistema en maniobrabilidad.

Objetivo Específico 6: Elaborar la documentación técnica y planos de fabricación del prototipo.

- Resultado: Se generaron las láminas de fabricación estandarizadas (Planos 67 al 70) especificando un diseño mixto optimizado (perfiles tubulares, base/pivote en plancha de 3,0 mm y forrado perimetral en lámina de 1,5 mm, asegurando la viabilidad de manufactura en maestranzas locales.

Objetivo Específico 7: Evaluar la factibilidad económica y competitividad comercial de la propuesta.

- Resultado: La cubicación de materiales y mano de obra arrojó un Costo Directo de Fabricación de \$428.500 CLP (11,22 UF). Aplicando un margen comercial del 30 %, se determinó un precio de venta estimado de \$612.755 CLP (16,04 UF), posicionando el equipo como una alternativa 50% más económica que las soluciones asistidas importadas y altamente viable para empresas del sector metalmecánico.

Recomendaciones para Trabajos Futuros

1. Optimización Topológica por FEA: Dado que el factor de seguridad obtenido es de 4,70, se sugiere realizar estudios de aligeramiento de masa en futuras iteraciones, reduciendo espesores en zonas de bajo esfuerzo para disminuir aún más el costo de materiales.
2. Estandarización de Producción: Desarrollar matrices o plantillas de soldadura (*jigs*) para la fabricación en serie de la cuna basculante, reduciendo el tiempo de mano de obra estimado de 12 h a 8 h por unidad.
3. Ampliación de la Muestra en Terreno: Para estudios posteriores, se recomienda realizar un seguimiento longitudinal de 6 meses a una muestra mayor de trabajadores

($N > 20$) integrando electromiografía de superficie (EMG) para medir la reducción de la fatiga muscular en la zona erectora de la columna.

REFERENCIAS

Normativas y Leyes Nacionales (Chile)

Ministerio de Salud. (2000). Decreto Supremo N° 594: Aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile>

Ministerio de Salud. (2016). Decreto Supremo N° 43: Aprueba Reglamento de Almacenamiento y Manipulación de Sustancias Peligrosas. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile>

Ministerio del Trabajo y Previsión Social. (2024). Decreto Supremo N° 44: Aprueba Reglamento sobre Gestión Preventiva de los Riesgos Laborales para un Entorno de Trabajo Seguro y Saludable. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile>

Ministerio del Trabajo y Previsión Social. (1968). Ley N° 16.744: Establece normas sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile>

Ministerio del Trabajo y Previsión Social. (2005). Código del Trabajo: Manipulación manual de cargas (Artículos 211-H a 211-J). Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile>

Ministerio del Trabajo y Previsión Social. (2016). Ley N° 20.949: Modifica el Código del Trabajo para reducir el peso de las cargas de manipulación manual. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile>

Instituto de Salud Pública de Chile. (2020). Guía de Criterios Ergonómicos para el Diseño y Selección de Puestos de Trabajo Industriales. Ministerio de Salud de Chile.

Instituto Nacional de Normalización. (2022). NCh 2826: Equipos de soldadura y corte — Requisitos de seguridad. INN Chile.

Superintendencia de Seguridad Social. (2018). Guía Técnica para la Evaluación y Gestión del Riesgo Asociado al Manejo Manual de Cargas (MMC). Gobierno de Chile.

Normativas e Instituciones Internacionales

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2021). TLVs and BEIs: Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents. ACGIH.

International Organization for Standardization. (2007). Ergonomics — Manual handling — Part 2: Pushing and pulling (ISO Standard N° 11228-2:2007). ISO.

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

Liberty Mutual Insurance Company. (2021). Liberty Mutual Manual Materials Handling Tables (Pushing, Pulling, Lifting, and Lowering). Liberty Mutual Research Institute for Safety.

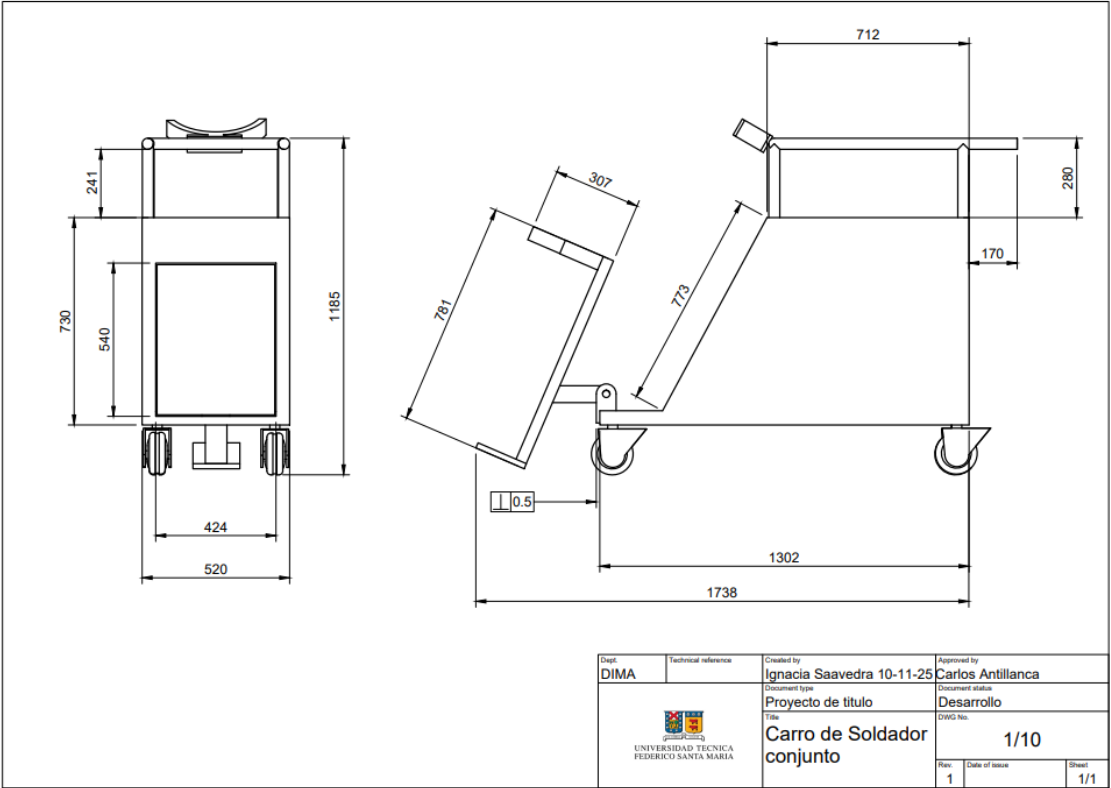
National Institute for Occupational Safety and Health. (2021). Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention.

Occupational Safety and Health Administration. (2020). Materials Handling and Storage Standards (29 CFR 1910.176). U.S. Department of Labor.

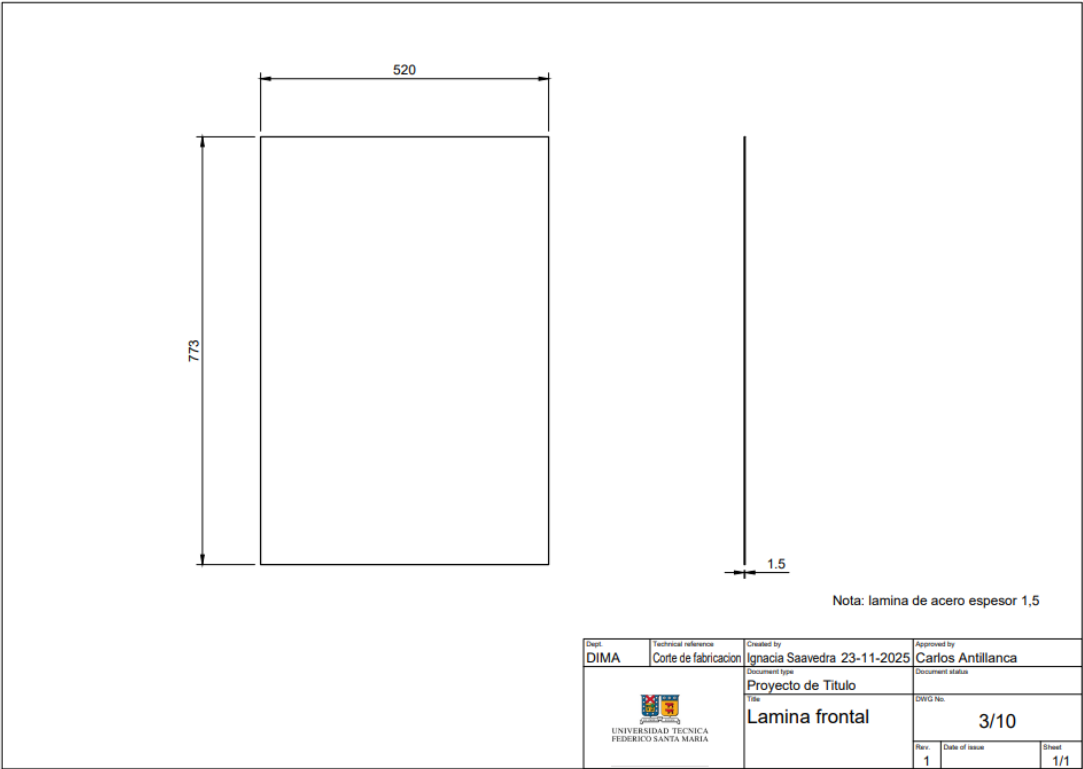
ANEXOS

ANEXO A. PLANOS DE FABRICACIÓN

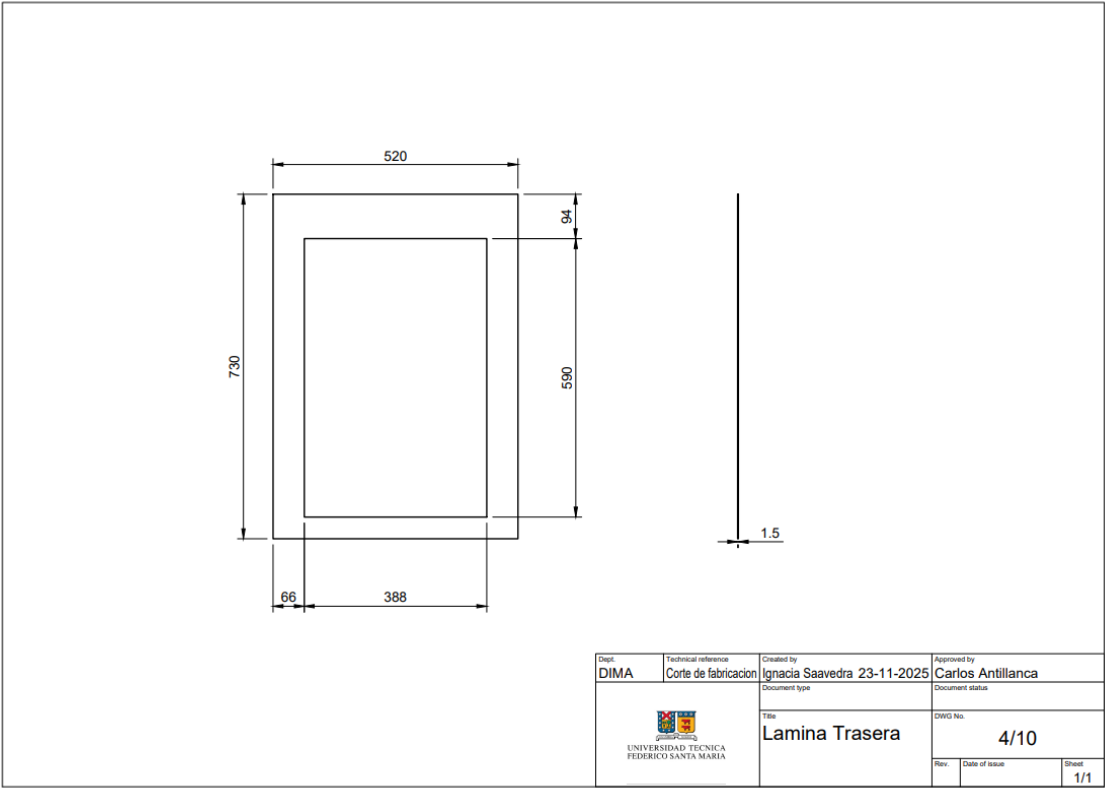
Plano A-1. Plano de conjunto del carro de soldador multifuncional



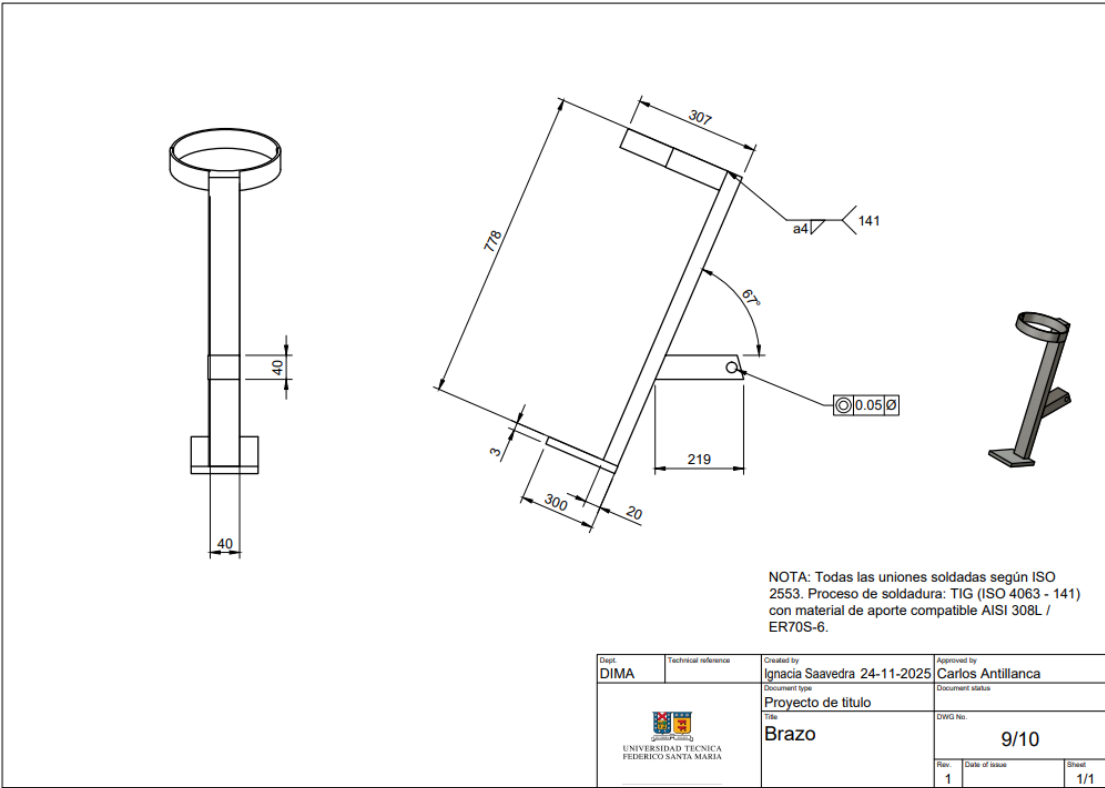
Plano A-2. Plano de lámina frontal



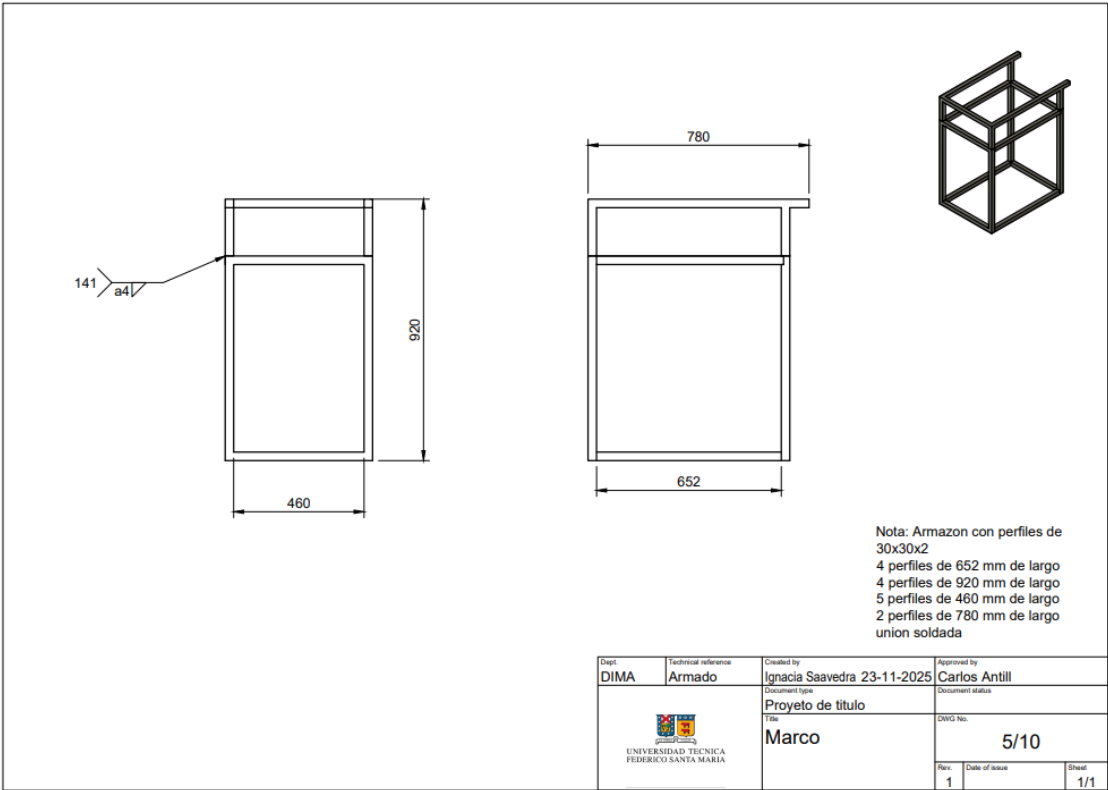
Plano A-3. Plano de lámina trasera



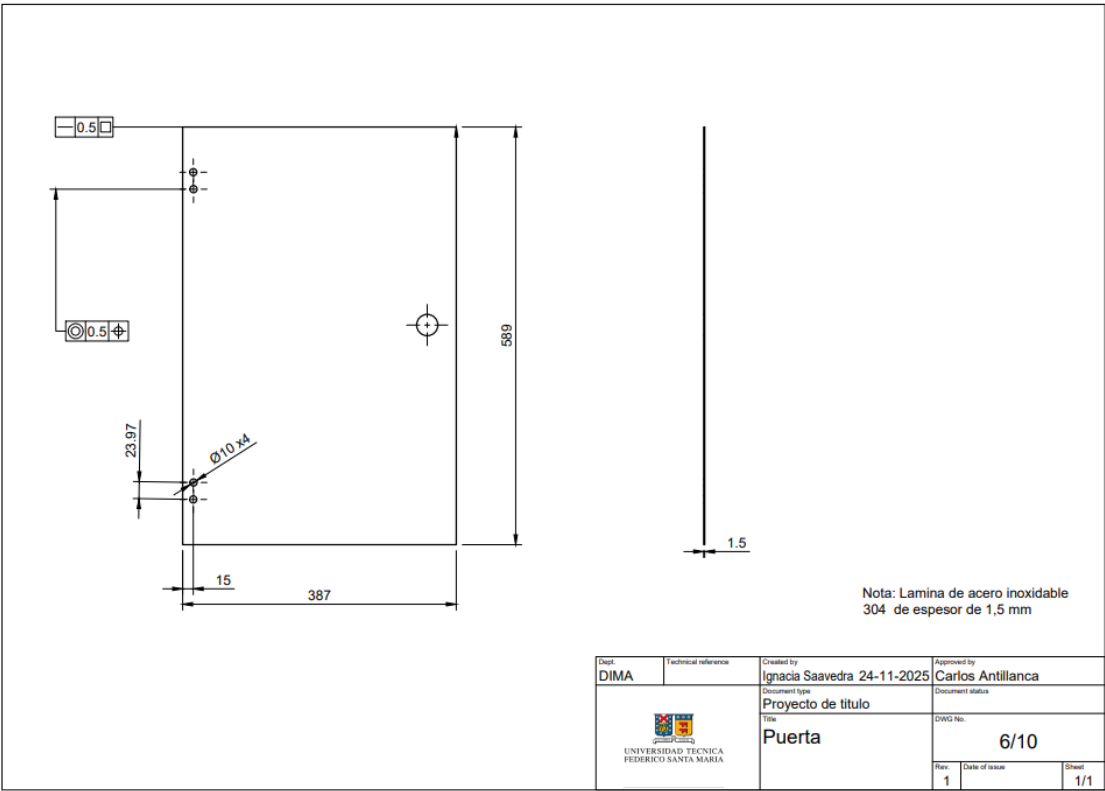
Plano A-4. Plano del sistema basculante



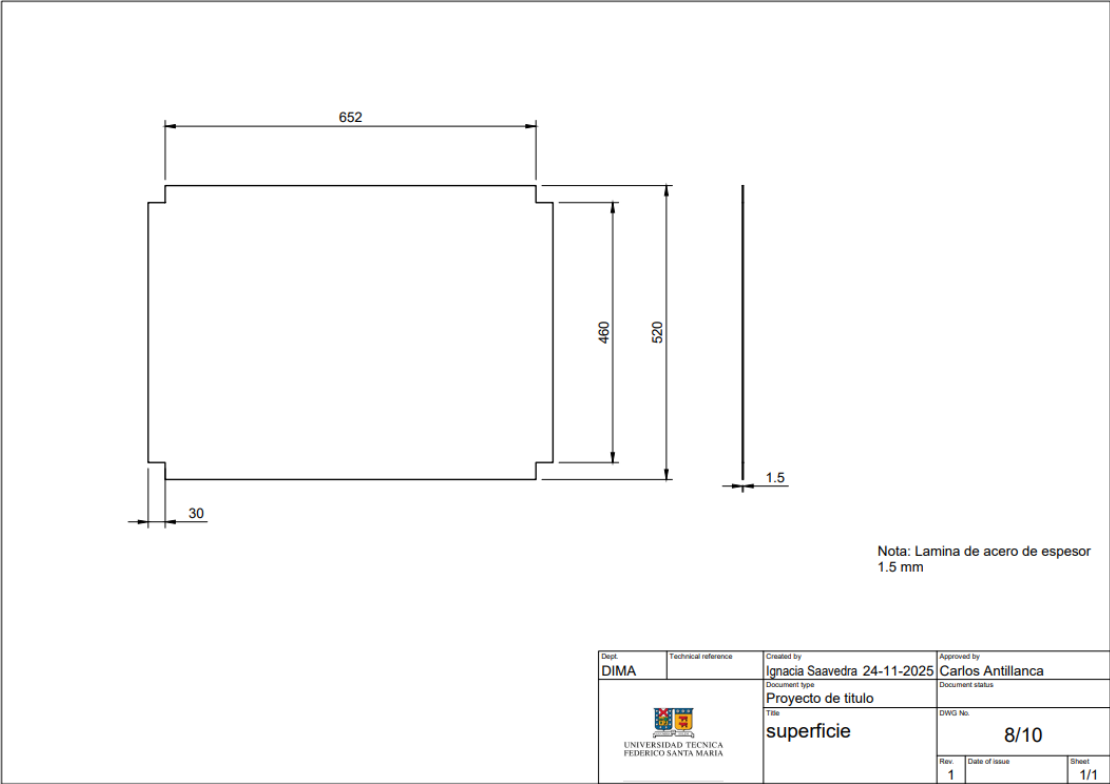
Plano A-5. Plano de estructura principal



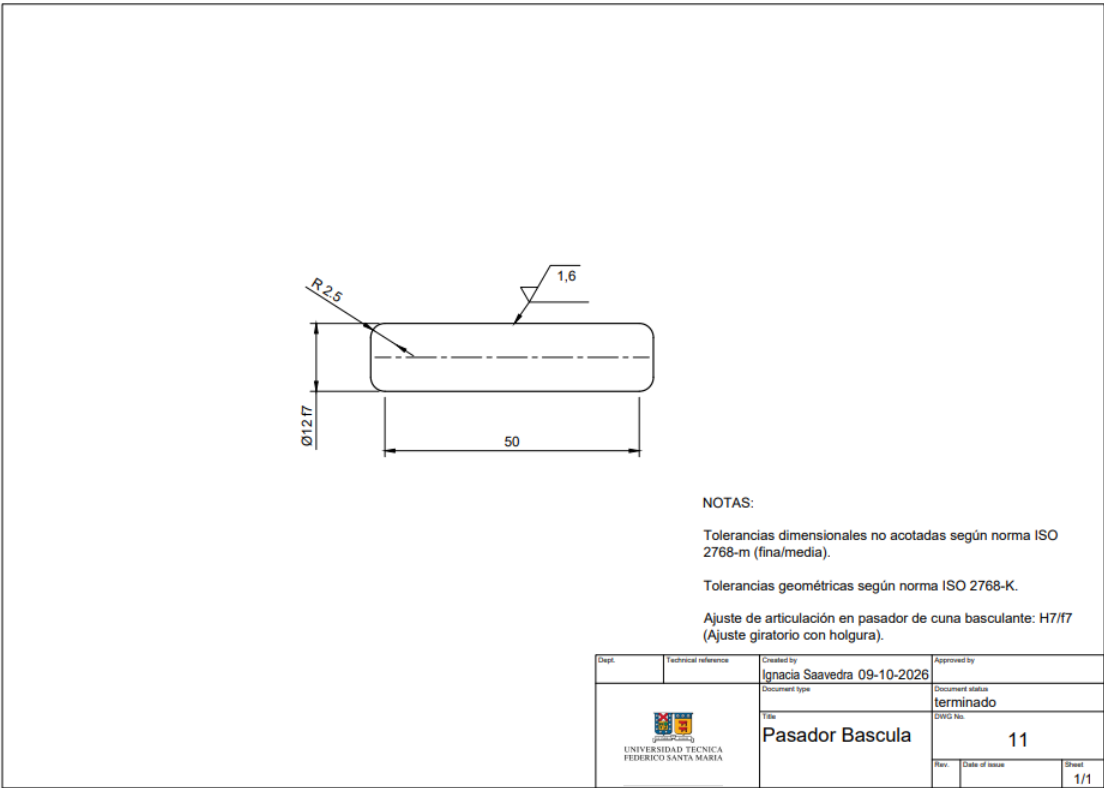
Plano A-6. Plano puerta



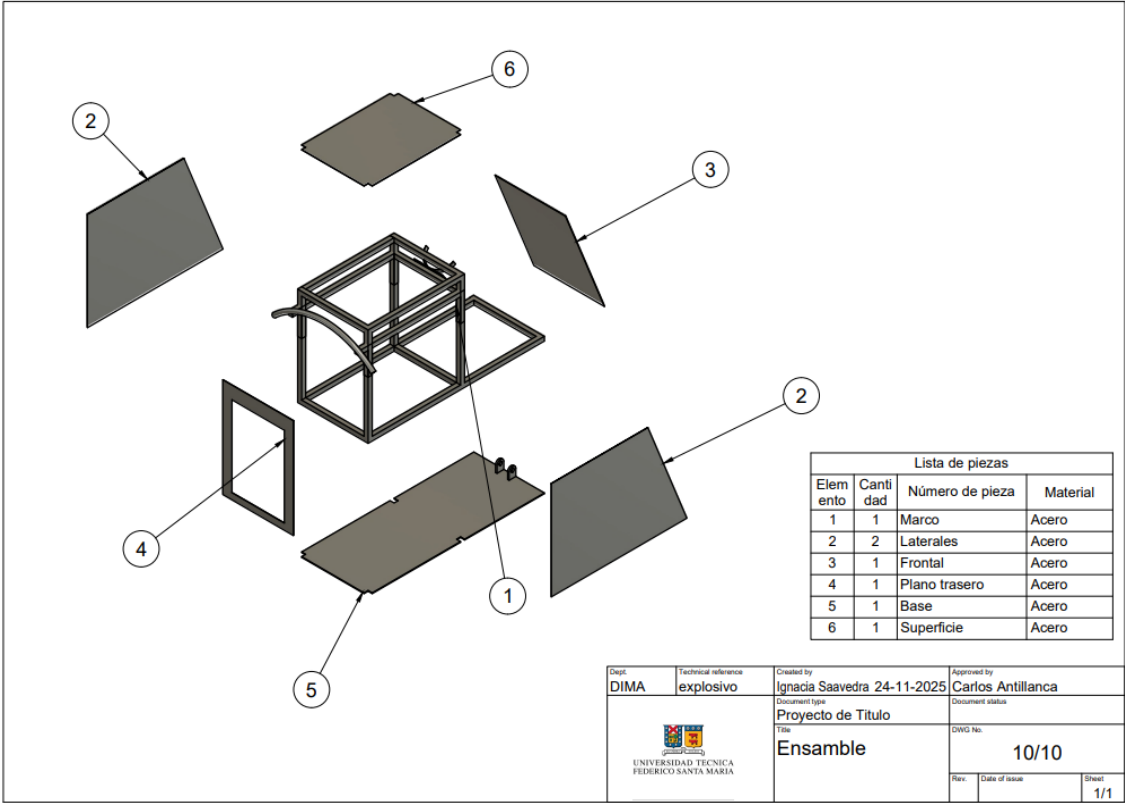
Plano A-7. Plano superficie



Plano A-8. Plano pasador

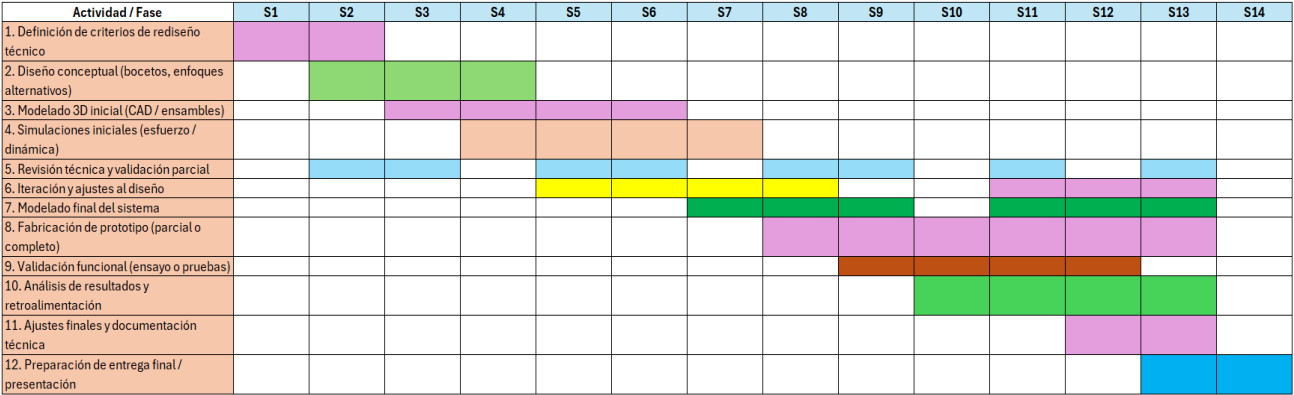


Plano A-9. Plano de explosión



ANEXO B. CARTA GANTT

La Carta Gantt abarca un período de 14 semanas y contempla actividades realizadas de manera progresiva, paralela y cíclica, propias de un proceso de diseño iterativo centrado en el usuario.



ANEXO C. ENTREVISTA A USUARIOS

Entrevista inicial

Al iniciar el proyecto se entrevistó a 1 usuarios de forma presencial para saber su opiniones y conocerlo.

¿Cuanto tiempo que es soldador?
Calificado como unos 4 años

¿Con respecto al carro que opina del que utilizan actualmente?
Bueno el detalle es el que mencionaron los prevencionistas que estamos levantando mucho peso, algunas veces ocupamos la yegua y al final tambien llevamos pesos sobre los hombros para trasladar

¿Tiene alguna peticion especifica de como deberia ser el carro?
ideal si no es como la yegua porque en ocasiones es dificil controlarlaosea igual uno ya tiene experiencia pero tiene que hacer fuerza, ademas la yegua no tiene espacio para colocar los implementos que ocupamospara soldar.

¿Que implementos son estos?
Bueno, primero ... la maquina de solda, la careta, los guantes, los electrodos, al final estos andan tirados por todas partes y los cables tambien.

¿Qué problemas tienes con el movimiento del carro actual?
Tenemos unos carros que tienen ruedas fijas las ruedas son un desastre. Se traban con cualquier desnivel. Y en los pasillos estrechos es imposible girar.

¿Ruedas giratorias te ayudarían?
Sí, pero que tengan freno. No quiero que se mueva solo cuando estoy trabajando.

Has mencionado que los carros actuales son inestables. ¿Cómo mejoraríamos eso?
Sí, uno cuando gira siente que el cilindro se va a caer,aparte que si queda inclinado para un solo lado ya el carro queda vuelto loco.

Pensando en tu día a día, ¿qué pequeñas molestias deberíamos resolver?
(Piensa un momento) El agarre del manubrio está a mala altura, en la yegua que esta muy arriba y en los otros me tengo que inclinar para empujar.

¿Altura ideal del agarre?
A la altura de la cintura, para empujar con la espalda recta.

Para que realmente uses el nuevo carro, ¿qué tiene que cumplir sí o sí?
Que no me haga levantar el cilindro aparte que eso tambien esperan los prevencionistas
Que lleve todo en un solo viaje estoy harto de andar yendo y viniendo
Que sea fácil de maniobrar ya que de repente tenemos muchas maquinas para montar y el espacio se hace dificil de moverse
Que sea rápido de usar si me hace más lento, no lo uso
Que sea seguro no puedo arriesgarme a que se caiga un cilindro

Encuesta de percepción y usabilidad del prototipo

5 usuarios al transcurrir semanas de utilizar el nuevo diseño respondieron esta encuesta para saber el nivel de satisfacción por el nuevo diseño. Se deja a continuación links del formulario

<https://forms.gle/9n2DhY3mhPY3ikZr7>



Encuesta de satisfacción

después de haber utilizado durante 1 mes el prototipo de carro soldador realiza esta encuesta de satisfacción para poder ver si realmente mejoro el nuevo diseño por lo que necesitamos su honestidad.

a continuación se presentan preguntas donde podrás calificarlas del 1 al 5 siendo 5 lo mas alto o satisfecho y 1 lo mas bajo o insatisfecho son 4 categorías a evaluar :

- percepción de esfuerzo
- seguridad
- usabilidad y eficiencia
- satisfacción general

gracias por participar de esta encuesta 🥰

ignacia.saavedra@sansano.usm.cl [Cambiar de cuenta](#)

 No compartido

(percepción de esfuerzo) Facilidad para cargar el cilindro comparado con método tradicional

12345

difícilmuy fácil

☐☐☐☐☐

(percepción de esfuerzo) Esfuerzo requerido para operar el sistema basculante

12345

mucho esfuerzonada de esfuerzo

☐☐☐☐☐

(percepción de esfuerzo) Comodidad durante el transporte

12345

poco cómodo muy cómodo

☐☐☐☐☐

(percepción de esfuerzo) Fatiga experimentada al final de la jornada

12345

mucha fatiganada de fatiga

☐☐☐☐☐

(Evaluación de seguridad) Percepción de estabilidad durante el uso

12345

poco estable muy estable

☐☐☐☐☐

(Evaluación de seguridad) Confianza en el sistema de sujeción del cilindro

12345

poca confianzamucho confianza

☐☐☐☐☐

(Usabilidad y Eficiencia) Facilidad de aprendizaje del sistema

12345

difícilmuy fácil

☐☐☐☐☐

(Usabilidad y Eficiencia) Organización de herramientas y equipos

	1	2	3	4	5	
difícil de organizar	☐	☐	☐	☐	☐	fácil de organizar

(Usabilidad y Eficiencia) Tiempo ahorrado en preparación

	1	2	3	4	5	
poco tiempo ahorrado	☐	☐	☐	☐	☐	mucho tiempo ahorrado

(Usabilidad y Eficiencia) Maniobrabilidad en espacios reducidos

	1	2	3	4	5	
difícil de maniobrar	☐	☐	☐	☐	☐	fácil de maniobrar

Satisfacción General: Puntuación general del diseño

1	2	3	4	5
☆	☆	☆	☆	☆

Satisfacción General: Disposición a usar el equipo regularmente

1	2	3	4	5
☆	☆	☆	☆	☆

Satisfacción General: Recomendación a otros colegas

1	2	3	4	5
☆	☆	☆	☆	☆

Resultados:

Marca temporal	(percepción	(percep	(percep	(percepci	(Evaluaci	(Evaluaci	(Usabili	(Usabili	(Usabili	(Usabili	Satisfacc	Satisfacción	Satisfacción
18/12/2025	5	5	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5	5
17/12/2025	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
23/12/2025	5	5	5	5	4	5	5	4	5	4	5	5	5
26/12/2025	5	5	5	5		5	5	5	5	5	5	5	5
26/12/2025	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5
promedio	5	5	5	4.6	4.75	4.8	5	4.6	5	4.4	5	5	5