



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

Tema:

“ANCLAJE DE BAJO PERFIL USANDO CADENA RÍGIDA”

Trabajo de grado previo a la obtención de título de Ingeniero en Mecatrónica

Línea de investigación: Prototipos Industriales

Autor:

David Alexis Patiño Camacho

Director:

Marco Antonio Ciaccia Sortino

Asesor:

David Alberto Ojeda Peña

Ibarra, noviembre de 2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	2350531550		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Patiño Camacho David Alexis		
DIRECCIÓN:	Santo Domingo - Vicente Yáñez Guerrero		
EMAIL:	davidpatino2620@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0997379980 0963197218

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Anclaje de bajo perfil usando cadena rígida
AUTOR (ES):	David Alexis Patiño Camacho
FECHA: DD/MM/AAAA	21/11/2025
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	Marco Antonio Ciaccia Sortino David Alberto Ojeda Peña

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 21 días del mes de noviembre de 2025

EL AUTOR:

Nombre: David Alexis Patiño Camacho



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

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 21 de noviembre de 2025

Ing. Marco Antonio Ciaccia Sortino

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

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

(f).....

Marco Antonio Ciaccia Sortino
C.C.: 1756778252



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

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “ANCLAJE DE BAJO PERFIL USANDO CADENA RÍGIDA” elaborado por David Alexis Patiño Camacho, previo a la obtención del título de INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f).....

Marco Antonio Ciaccia Sortino
C.C.: 1756778252

(f).....

PhD. David Alberto Ojeda Peña
C.C.: 1757898489

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, ante todo, a mis padres, por ser mi guía, mi ejemplo y mi mayor fuente de fortaleza. Gracias por su amor incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y por apoyarme en cada paso de este camino.

A mis hermanos: a mi hermana mayor, por su ejemplo y consejos; y a mis hermanos menores, por ser una inspiración constante para seguir superándome.

También me lo dedico a mí mismo, por la constancia, las largas jornadas de trabajo y la determinación de alcanzar esta meta a pesar de las dificultades.

Finalmente, dedico este proyecto a los futuros ingenieros que deseen aprovechar esta investigación, con la esperanza de que sirva como base e inspiración para seguir construyendo, innovando y mejorando el mundo que nos rodea.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por su apoyo incondicional, por creer en mí incluso cuando las circunstancias fueron difíciles, y por ser el motor que impulsó cada logro alcanzado.

A mis hermanos, por su cariño, su paciencia y por recordarme siempre que el esfuerzo compartido también se celebra en familia.

A mis docentes, por su dedicación, orientación y por compartir su conocimiento con pasión y compromiso. Un agradecimiento especial a mi tutor Marco Ciaccia, por su guía, paciencia y por brindarme la confianza necesaria para culminar con éxito este trabajo.

Asimismo, a mis amigos David Ojeda, Melany Cadena por su apoyo constante, su compañía y sus palabras de aliento que hicieron más llevadero este proceso.

Y a todas las personas que, directa o indirectamente, aportaron con su apoyo, consejos o compañía durante este camino: gracias por formar parte de este logro que representa no solo un título, sino un paso más en mi crecimiento personal y profesional.

Por último, me uno a las palabras de Snoop Dogg, que reflejan el espíritu con el que llegué hasta aquí:

"Quiero agradecerme por creer en mí. Quiero agradecerme por hacer todo este gran trabajo. Quiero agradecerme por no tener días libres. Quiero agradecerme por nunca renunciar. Quiero agradecerme por siempre dar y tratar de dar más sin recibir. Quiero agradecerme por tratar de hacer el bien más que el mal. Quiero agradecerme por ser yo en todo momento."

— Snoop Dogg

Detrás de cada logro existen sacrificios invisibles, largas jornadas de trabajo y momentos de duda. Este proyecto es la prueba de que, con disciplina, pasión y fe, cualquier meta

puede alcanzarse. Mi mayor deseo es que este trabajo inspire a otros estudiantes e ingenieros a confiar en su propio potencial, a no rendirse frente a las dificultades y a seguir construyendo caminos donde otros solo ven límites. Que sirva como recordatorio de que cada esfuerzo cuenta y que la perseverancia transforma los sueños en realidad.

RESUMEN

Esta investigación presenta un sistema de anclaje de bajo perfil que utiliza tecnología de cadena rígida como alternativa mecánica para vehículos de altura reducida, donde los sistemas de elevación convencionales no funcionan adecuadamente. El proyecto responde a la falta de dispositivos que cumplan con los requisitos de anclaje en este tipo de vehículos.

La metodología corresponde a una investigación aplicada con enfoque documental, descriptivo y experimental. El estudio incluye el diseño, la simulación y la construcción de un prototipo mediante impresión 3D. Se emplea acero al manganeso por su alta resistencia al impacto y al desgaste, lo que asegura la durabilidad del sistema. Las simulaciones por elementos finitos muestran que el diseño mantiene un factor de seguridad adecuado y desplazamientos mínimos, lo que valida su estabilidad estructural. El sistema eléctrico se alimenta desde la toma de corriente del vehículo a 12 V DC, lo que permite una instalación práctica y segura.

Los resultados confirman la viabilidad técnica y económica del prototipo, que cumple con los requisitos de carga y diseño establecidos. Este desarrollo sienta las bases para futuras mejoras en mecanismos de anclaje de bajo perfil.

Palabras clave: anclaje de bajo perfil, cadena rígida, diseño mecánico, impresión 3D, simulación estructural.

ABSTRACT

This research presents a low-profile anchoring system that uses rigid chain technology as a mechanical alternative for low-clearance vehicles, where conventional lifting systems are not effective. The project addresses the lack of devices that meet anchoring requirements for these vehicles and proposes an innovative solution that combines compactness, strength, and ease of use.

The methodology follows an applied research approach with documentary, descriptive, and experimental focus. The study includes the design, simulation, and construction of a prototype using 3D printing. Manganese steel is selected for its high impact and wear resistance, ensuring system durability. Finite element simulations show that the design maintains an adequate safety factor and minimal displacements, validating its structural stability. The electrical system operates from the vehicle's 12 V DC outlet, allowing practical and safe installation.

The results confirm the technical and economic feasibility of the prototype, which meets the established load and design requirements. This development provides a solid foundation for future improvements in low-profile anchoring mechanisms.

Keywords: low-profile anchoring, rigid chain, mechanical design, 3D printing, structural simulation

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDOS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xvi
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 General	2
1.2.2 Específicos.....	2
1.3 Alcance y delimitación.....	2
1.4 Justificación.....	2
CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL	4
2.1 Antecedentes	4
2.2 Marco Teórico	8
2.2.1 Cadena rígida.....	8
2.2.2 Cadena de rodillos	9
2.2.3 Piñón.....	10
2.2.4 Motorreductores	15
2.2.5 Torque requerido	16
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO	18
3.1 Enfoque de investigación	18
3.2 Diseño de la investigación.....	18
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS	21
4.1 Requerimientos para el diseño del anclaje de bajo perfil con cadena rígida	21
4.2 Requerimiento de alimentación eléctrica	22
4.3 Planteamiento de las propuestas de solución	22
4.4 Selección de la mejor solución de cadena rígida.....	23
4.4.1 Criterios y restricciones	23
4.4.2 Posibles soluciones.....	23
4.4.3 Aplicación de restricción a posibles soluciones	26
4.4.4 Ponderación de criterios	26
4.4.5 Detalles de diseño de la mejor solución	28

4.5	Selección de material	30
4.6	Cargas y condiciones de borde (soportes).....	31
4.7	Resultados de esfuerzo, desplazamiento y factor de seguridad.....	32
4.8	Simulación de la cadena.....	33
4.9	Desplazamiento máximo de la cadena	33
4.10	Esfuerzo equivalente máximo de la cadena	34
4.11	Factor de seguridad de la cadena.....	36
4.12	Simulación del piñón de la cadena	38
4.13	Desplazamiento máximo del piñón	38
4.14	Esfuerzo equivalente máximo del piñón	39
4.15	Factor de seguridad del piñón	40
4.16	Carril y soporte.....	41
4.17	Sistema de transmisión.....	43
4.18	Torque requerido	44
4.19	Selección de la caja reductora	45
4.20	Selección del motor y reductor.....	45
4.21	Sistema Eléctrico.....	46
4.22	Diagrama del sistema eléctrico y funcionamiento	47
4.23	Proceso de manufactura por CNC de la cadena	47
4.24	Desarrollo del prototipo	48
4.25	Pruebas y validación.....	52
4.26	Costos estimados	55
4.26.1	Costo estimado del prototipo en impresión 3D:.....	55
4.26.2	Costo estimado del dispositivo:	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		57
Conclusiones		57
Recomendaciones.....		58
Bibliografía		59
ANEXOS.....		61
Anexo A: Video explicativo del dispositivo.		61
Anexo B: Ficha técnica del acero.....		62
Anexo C: Planos del dispositivo (Pasador)		63
Anexo D: Planos del dispositivo (Junta).....		65
Anexo E: Planos del dispositivo (Patitas soporte).....		67
Anexo F: Planos del dispositivo (Terminal).....		69

Anexo G: Planos del dispositivo (Eslabón).....	71
Anexo H: Planos del dispositivo (Carril estructura)	73
Anexo I: Planos del dispositivo (Bocín separador)	75
Anexo J: Planos del dispositivo (Piñón)	77
Anexo K: Hojas de procesos del dispositivo (Pasador)	79
Anexo L: Hojas de procesos del dispositivo (Junta)	81
Anexo M: Hoja de procesos del dispositivo (Patitas soporte).....	83
Anexo N: Hoja de procesos del dispositivo (Terminal)	85
Anexo O: Hoja de procesos del dispositivo (Eslabón).....	87
Anexo P: Hoja de procesos del dispositivo (Carril estructura)	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2. 1. Diseño y construcción de una base portátil para un dispositivo para traslado de personas con discapacidad motriz entre sillas de ruedas y automóviles [1].....	4
Fig. 2. 2. Dispositivo mejorado para traslado de personas con discapacidad motriz entre sillas de ruedas y automóviles: base [2].	5
Fig. 2. 3. Modelo del anclaje tipo slide ‘N Click [3].....	6
Fig. 2. 4. Sistema Retención TRANS-RS-UE [4].	6
Fig. 2. 5. Modelo de un pórtico con punto de anclaje móvil [5].	7
Fig. 2. 6. Unidad de cadena de acoplamiento [6].	7
Fig. 2. 7. Empacadores de carga frontal y lateral para vehículos eléctricos de recolección de residuos [7].	8
Fig. 2. 8. Sistema de intercambio de baterías [8].	8
Fig. 2. 9. Cadena rígida [9].....	9
Fig. 2. 10. Modelo de una cadena con su nomenclatura [10].....	10
Fig. 2. 11. Modelo de un piñón impulsando una cadena. [10].	12
Fig. 2. 12. Relación de la variación cordal de la velocidad vs número de dientes. [10].	13
Fig. 2. 13. Motorreductor de producción. [11].....	16
Fig. 4. 1. Vista de la posible solución cadena (PSC)1.....	24
Fig. 4. 2. Vista de la posible solución cadena (PSC)2.....	24
Fig. 4. 3. Vista de la posible solución cadena (PSC)3.....	25
Fig. 4. 4. Vista de la posible solución cadena (PSC)4.....	25
Fig. 4. 5. Vista interna de eslabones y piñón.....	29
Fig. 4. 6. Vista del recorrido del carril.	30
Fig. 4. 7. Vista isométrica de las condiciones de borde.	32
Fig. 4. 8. Desplazamiento máximo.....	34
Fig. 4. 9. Esfuerzo máximo de la cadena.....	35
Fig. 4. 10. Factor de seguridad de la cadena.	37
Fig. 4. 11. Factor de seguridad del primer eslabón.	37
Fig. 4. 12. Desplazamiento máximo del piñón.....	39
Fig. 4. 13. Esfuerzo máximo del piñón.	40
Fig. 4. 14. Factor de seguridad del piñón.	41

Fig. 4. 15. Estructura del carril.....	43
Fig. 4. 16. Diagrama Eléctrico.	47
Fig. 4. 17. Parámetros de la impresión en 3D.	49
Fig. 4. 18. Modelos de las partes de la cadena para construir mediante impresión 3D.	50
Fig. 4. 19. Componentes de la cadena impresos.	50
Fig. 4. 20. Cadena ensamblada.....	51
Fig. 4. 21. Carril y cadena ensamblada.	51
Fig. 4. 22. Vista de la cadena retraída sobre el carril.	52
Fig. 4. 23. Vista de la cadena completamente extendida.	53
Fig. 4. 24. Vista del acoplamiento se los eslabones de la cadena.	54
Fig. 4. 25. Vista del acoplamiento del pasador de la cadena con el piñón.	55

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1. Análisis trigonométrico.....	11
Ecuación 2.2. Cálculo del número de dientes en el piñón.....	11
Ecuación 2.3. Velocidad de la cadena	12
Ecuación 2.4. Velocidad máxima de salida de la cadena	12
Ecuación 2.5. Velocidad de salida mínima.....	13
Ecuación 2.6. Variación de la velocidad	13
Ecuación 2.7. Potencia limitante por resistencia a la fatiga	15
Ecuación 2.8. Potencia nominal de diseño	15
Ecuación 2.9. Ecuación del torque requerido	17

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Dimensiones de los tamaños estándar de las cadenas [10].....	10
Tabla 4.2. Ponderación de criterios para la cadena	26
Tabla 4.3. Ponderación de soluciones de cadena respecto a criterio C1	26
Tabla 4.4. Ponderación de soluciones de cadena respecto a criterio C2	27
Tabla 4. 5. Ponderación de soluciones de cadena respecto a criterio C3	27
Tabla 4.6. Ponderación de soluciones de cadena respecto a criterio C4	27
Tabla 4.7. Ponderación de soluciones de cadena respecto a criterio C5	27
Tabla 4.8. Ponderación final de cadena	27
Tabla 4.9. Características de los dispositivos.	46
Tabla 4.10. Tabla de costos de fabricación de la pieza impresa en 3D.	56
Tabla 4.11. Costos estimados de los componentes.....	56

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La carrera de ingeniería mecatrónica se ha dado a la tarea de buscar soluciones de ingeniería para las personas con discapacidad. En el caso particular del traslado de personas con discapacidad física, se inicia la investigación con el trabajo presentado por Conterón en 2016 [1], el cual consistió en el diseño de una base portátil constituida por un gato mecánico de elevación que se fijó en el chasis del vehículo. Luego, en el trabajo de Sánchez [2], se logran las mejoras del trabajo de Conterón [1], en relación con el peso y el mecanismo, ya que se utilizó dos apoyos cilíndricos dentados deslizables.

En ambos trabajos se pudo comprobar que la solución de la grúa era eficiente; sin embargo, se pudo demostrar que la base funciona en ciertos vehículos tipo sedán, pero en otros no, debido a que inicialmente se construyeron con elevadores comerciales que pueden encajarse en el chasis de algunos vehículos.

Por lo tanto, se quiere crear un anclaje de bajo perfil usando a la cadena rígida como una tecnología de aplicación novedosa.

En la actualidad no existe un dispositivo que cumpla con los requerimientos de anclaje a vehículos que pueda ser utilizado en vehículos de altura baja, siendo el requerimiento principal del dispositivo tener una altura menor a 20 centímetros; por lo cual, se plantea el uso de la tecnología de cadena rígida para desarrollar un anclaje mecánico.

1.2 Objetivos

1.2.1 General

- Desarrollar un anclaje de bajo perfil usando cadena rígida.

1.2.2 Específicos

- Determinar los requerimientos para la elaboración de un anclaje de bajo perfil basado en tecnología de cadena rígida.
- Diseñar el anclaje de bajo perfil.
- Construir un prototipo de aspecto mecánico de bajo perfil.
- Validar la funcionalidad del mecanismo.

1.3 Alcance y delimitación

La presente investigación se basa en el diseño y construcción de un prototipo anclaje de bajo perfil con cadena rígida dirigido al traslado de personas con discapacidad motora. Al finalizar la investigación se pretende proporcionar los planos en detalle de la forma de la cadena rígida, así como los cálculos resistivos que garantizaría la resistencia mecánica del dispositivo. Además, se presentarán las características de cada elemento mecánico que sea seleccionado de los catálogos. Finalmente, se mostrará una validación en dos etapas, la primera, mediante simulación numérica, y la segunda se llevará a cabo mediante la prueba cinemática del prototipo a partir de una impresión 3D.

1.4 Justificación

En la actualidad, la tecnología ofrece un apoyo fundamental para las personas con discapacidad motora, facilitando una vida más independiente y plena. Mediante el uso de dispositivos especializados, es posible que estas personas realicen actividades de otro modo estarían fuera de su alcance.

El diseño del anclaje promueve la capacidad de movilidad de una persona con discapacidad motora.

Adicionalmente, se proporcionará a la comunidad científica, una propuesta de uso de cadena rígida, la cual pudiera ser base para futuras investigaciones que requieran el uso de este dispositivo.

Por otro lado, se presentaría una solución compacta que reduciría los costos en soluciones de anclajes en vehículos que puedan usarse en otras problemáticas.

CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes

Este capítulo comienza con una revisión del estado actual de las investigaciones relacionadas con los sistemas de anclaje mediante cadenas rígidas. Asimismo, expone los fundamentos teóricos que respaldan los cálculos y las decisiones técnicas necesarias para ejecutar el diseño propuesto. El enfoque se centra en aspectos propios del diseño mecánico.

Durante el análisis de estudios previos sobre mecanismos de anclaje, se reconocen dos trabajos significativos que constituyen la base del presente estudio. El primero, desarrollado por Conterón [1], aborda el diseño y la fabricación de un dispositivo de anclaje. Esta investigación proporciona información relevante sobre la estructura del diseño y la elección de materiales, elementos clave para comprender el funcionamiento del sistema, como se observa en la Fig. 2.1.



Fig. 2. 1. *Diseño y construcción de una base portátil para un dispositivo para traslado de personas con discapacidad motriz entre sillas de ruedas y automóviles [1].*

Por otro lado, la tesis de Sánchez [2] aborda la optimización de la base del sistema de anclaje, empleando una metodología basada en análisis experimental y simulación mecánica. Sus resultados evidencian que el peso de los usuarios provoca una disminución en la altura del carro, lo que permite identificar limitaciones en el diseño actual y establecer parámetros para futuras mejoras. El dispositivo se observa en la Fig. 2.2.



Fig. 2. 2. *Dispositivo mejorado para traslado de personas con discapacidad motriz entre sillas de ruedas y automóviles: base [2].*

En este contexto, la presente investigación propone el diseño y construcción de un anclaje mecánico de menor altura, que solucione la disminución de altura del carro ocasionada por el peso de los usuarios.

Los anclajes son mecanismos que se usan para asegurar o trasladar sistemas. Existen muchos tipos de estos dispositivos. En la Fig. 2.3 se muestra un sistema de anclaje que asegura sillas de ruedas en vehículos automotores, permitiendo una rotación de 360° para fácil uso del individuo; asimismo, reduce interferencias con los componentes de la silla de ruedas al tener un diseño de perfil bajo [3].



Fig. 2. 3. *Modelo del anclaje tipo slide 'N Click [3].*

Por otra parte, en la Fig. 2.4, se muestra el modelo de anclaje TRANS-RS-UE el cual consiste en un sistema compuesto por cuatro puntos para una silla de ruedas compatible con el sistema de rieles, permitiendo transportar al usuario de movilidad reducida con seguridad en transportes familiares PMR [4].



Fig. 2. 4. *Sistema Retención TRANS-RS-UE [4].*

Otro ejemplo de anclaje es el mostrado en la Fig. 2.5, el cual consiste en un anclaje móvil para realizar trabajos de reparación de maquinaria pesada, como por ejemplos en el uso de pórticos. En este caso se observa el diseño para una capacidad de carga de 5000 lb. Las pruebas de funcionamiento realizadas se ejecutaron mediante SolidWorks realizando un análisis de elementos finitos y cálculos matemáticos. El resultado obtenido indica una mejora en el ámbito de la seguridad, eficiencia operativa, adaptabilidad, facilidad de uso, entre otros [5].

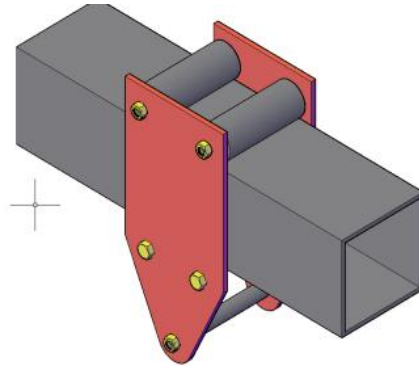


Fig. 2. 5. Modelo de un pórtico con punto de anclaje móvil [5].

Una solución novedosa de reciente uso es el anclaje rígido a partir del uso de cadenas rígidas. En la Fig. 2.6 se muestra una patente de cadenas interconectadas, diseñadas para unirse rígidamente en una dirección de movimiento o desacoplarse para bifurcarse. Las placas internas y externas se solapan y contactan, formando estructuras que restringen el pandeo y garantizan estabilidad [6].

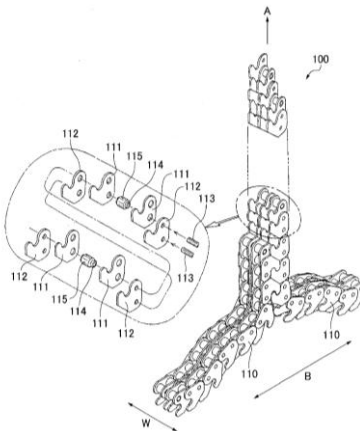


Fig. 2. 6. Unidad de cadena de acoplamiento [6].

Por otro lado, puede observarse en la Fig. 2.7 la utilización de un anclaje en un vehículo recolector de basura, el cual incluye un chasis con ruedas, una carrocería que contiene un compartimento para el almacenamiento de residuos, una fuente de energía y un mecanismo de interacción que aplica fuerza de compactación mediante un motor eléctrico entre las posiciones de recepción y compactación [7].

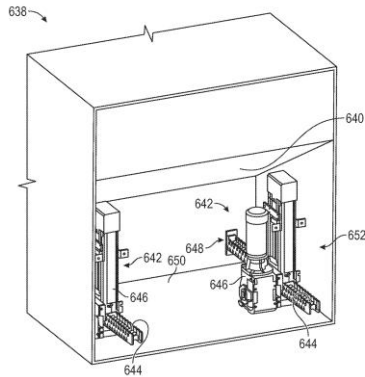


Fig. 2. 7. Empacadores de carga frontal y lateral para vehículos eléctricos de recolección de residuos [7].

Finalmente, se presenta un sistema de intercambio de baterías que incluye un mecanismo con un soporte elevable, un dispositivo de transporte con una superficie para el contacto de la batería y un dispositivo flotante suspendido con capacidad de bloqueo/desbloqueo, capaz de moverse horizontalmente en relación con el soporte [8], como se visualiza en la Fig. 2.8.

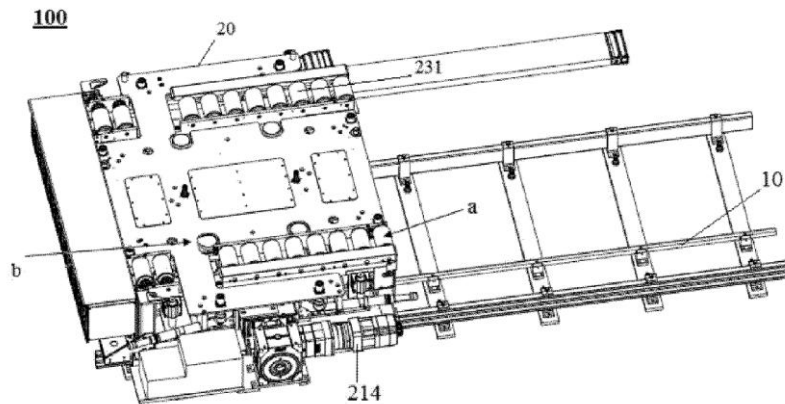


Fig. 2. 8. Sistema de intercambio de baterías [8].

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Cadena rígida

La unidad de cadena se compone de una sola cadena diseñada para proporcionar rigidez estructural en la dirección del movimiento longitudinal. Esta rigidez permite que el sistema funcione de manera estable en desplazamientos hacia adelante y hacia atrás, evitando deformaciones indeseadas. Los eslabones se ensamblan con precisión, garantizando una conexión

firme y confiable entre los componentes. Gracias a esta configuración, se incrementa la resistencia estructural del conjunto, lo que contribuye a minimizar fenómenos como el pandeo y el alabeo en las zonas más exigidas de la cadena, tal como se muestra en la Fig. 2.9 [9].

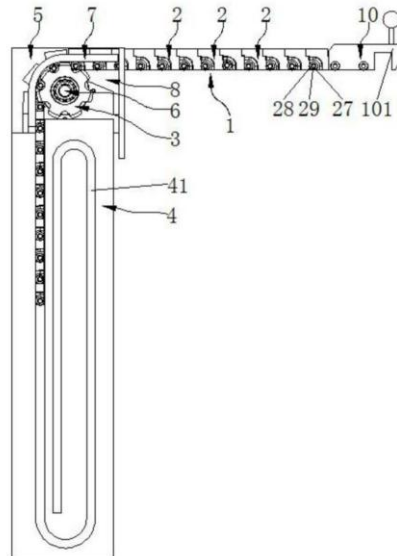


Fig. 2. 9. Cadena rígida [9].

2.2.2 Cadena de rodillos

Las transmisiones de cadena se caracterizan por mantener una relación constante, ya que no están sujetas a deslizamiento ni arrastre. También ofrecen una prolongada durabilidad y permiten la transmisión de potencia hacia varios ejes a partir de una única fuente energética.

El Instituto Americano de Normalización (ANSI) define los criterios dimensionales que deben cumplir las cadenas de rodillos. En la Figura 2.10 se muestra un ejemplo de cadena junto con su respectiva nomenclatura. El paso representa la distancia entre los centros de los rodillos, mientras que el ancho corresponde al espacio entre las placas de los eslabones interiores. Estas cadenas se fabrican en configuraciones de una, dos, tres y cuatro hileras. Las dimensiones de los tamaños estándar se encuentran en la Tabla 2.1.

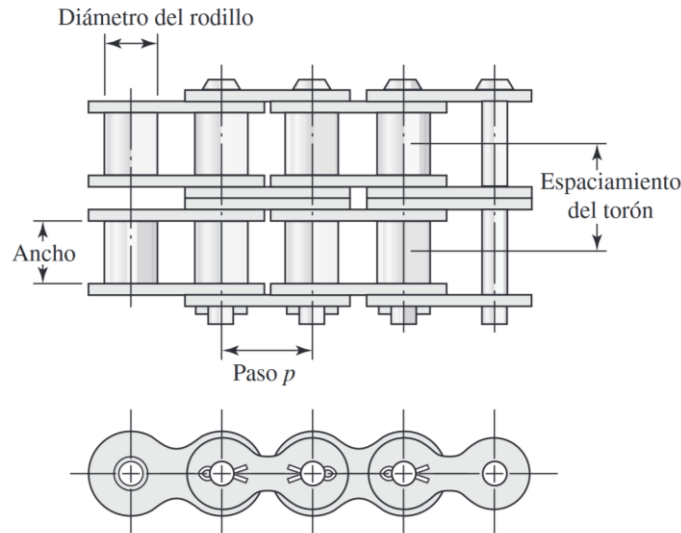


Fig. 2. 10. Modelo de una cadena con su nomenclatura [10].

2.2.3 Piñón

En la Fig. 2.11, muestra un piñón que impulsa una cadena y gira en sentido contrario a las manecillas del reloj. Al representar el paso de la cadena con la letra p , se puede determinar el ángulo γ correspondiente.

Tabla 2. 1 Dimensiones de los tamaños estándar de las cadenas [10].

Número de cadena (ANSI)	Paso (mm)	Ancho (mm)	Resistencia a la tensión (N)	Peso promedio (N/m)	Diámetro del rodillo (mm)	Espaciamento de hileras múltiples (mm)
25	6,35	3,18	3,470	1,31	3,30	6,40
35	9,52	4,76	7,830	3,06	5,08	10,13
40	12,70	7,94	13,920	6,13	7,92	14,38
41	12,70	6,38	6,670	3,65	7,77	-
50	15,88	9,52	21,700	10,1	10,16	18,11

Implícitamente, el ángulo γ permite determinar el paso p del piñón con diámetro primitivo D .

Con un análisis trigonométrico se puede deducir la Ec. 2.1

Ecuación 2.1. Análisis trigonométrico

Ec. 2.1

$$\operatorname{sen} \frac{\gamma}{2} = \frac{p/2}{D/2} \quad \text{o} \quad D = \frac{p}{\operatorname{sen}(\gamma/2)}$$

Debido a que $\gamma = 360 / N$, siendo N es el número de dientes en el piñón, la Ec. 2.1 se escribe como lo mostrado en la Ec. 2.2.

Ecuación 2.2. Cálculo del número de dientes en el piñón

Ec. 2.2

$$D = \frac{p}{\operatorname{sen}(180/N)}$$

El ángulo $\gamma/2$, a través del cual el eslabón gira cuando entra en contacto, se llama ángulo de articulación. Se puede apreciar que la magnitud del ángulo es una función del número de dientes. La rotación del eslabón a través de este ángulo provoca impacto entre los rodillos y los dientes del piñón, así como desgaste en la junta de la cadena. Como la vida de una transmisión seleccionada en forma apropiada es una función del desgaste y de la resistencia a la fatiga superficial de los rodillos, resulta importante reducir el ángulo de articulación tanto como sea posible.

El número de dientes del piñón también afecta la relación de velocidad durante la rotación a través del ángulo de paso. En la posición que se ilustra en la Fig. 2.11, la cadena AB es tangente al círculo de paso del piñón; sin embargo, cuando ésta ha girado un ángulo de $\gamma/2$, la línea de cadena AB está más cerca del centro de rotación del piñón.

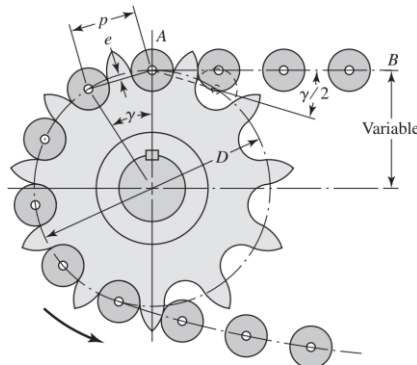


Fig. 2. 11. Modelo de un piñón impulsando una cadena. [10].

Esto significa que la línea AB se mueve hacia arriba y hacia abajo y que el brazo de palanca varía con la rotación a través del ángulo de paso, lo cual provoca una velocidad de salida desigual de la cadena. Se puede considerar al piñón como un polígono en el que la velocidad de salida de la cadena depende de que la salida sea de una esquina o de un plano del polígono. Por supuesto, el mismo efecto ocurre cuando la cadena entra primero en acoplamiento con el piñón. La velocidad V de la cadena se define como el número de pies que sale del piñón en una unidad de tiempo. De esta manera, la velocidad de la cadena en pies por minuto se calcula a través de la Ec. 2.3.

Ecuación 2.3. Velocidad de la cadena

Ec. 2.3

$$V = \frac{Npn}{12}$$

Donde:

V = Velocidad de la cadena (pie/min).

N = Número de dientes del piñón.

p = Paso de la cadena (pulg).

n = Velocidad angular del piñón (rpm)

La velocidad máxima de salida de la cadena se determina usando la ecuación 2.4.

Ecuación 2.4. Velocidad máxima de salida de la cadena

Ec. 2.4

$$v_{max} = \frac{\pi Dn}{12} = \frac{\pi pn}{12 \cdot \text{sen}\left(\frac{\gamma}{2}\right)}$$

Donde:

v_{max} = Velocidad máxima de salida de la cadena (pie/min).

D = Diámetro de paso (pulg).

La velocidad de salida mínima ocurre en un diámetro d , menor que D . Mediante el uso de la geometría de la Fig. 2.11, se tiene que $d = D \cos(\gamma/2)$. Así, la velocidad de salida mínima es la ecuación 2.5.

Ecuación 2.5. Velocidad de salida mínima

Ec. 2.5

$$v_{min} = \frac{\pi d n}{12} = \frac{\pi p n}{12 \cdot \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right)}$$

Ahora, sustituyendo $\gamma/2 = 180^\circ/N$ y empleando las Ec. 2.4 y 2.5, se tiene que la variación de la velocidad es

Ecuación 2.6. Variación de la velocidad

Ec. 2.6

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{v_{max} - v_{min}}{V} = \frac{\pi}{N} \left[\frac{1}{\sin(180^\circ/N)} - \frac{1}{\tan(180^\circ/N)} \right]$$

A esta velocidad se le conoce como variación cordal de velocidad y su gráfica se presenta en la Fig. 2.12. Cuando se usan transmisiones de cadena para sincronizar componentes o procesos de precisión, se debe dar la consideración debida a tales variaciones. Por ejemplo, si una transmisión de cadena sincronizara el corte de película fotográfica con el avance de esta, las longitudes de las hojas cortadas de película podrían variar demasiado debido a la variación cordal de velocidad; asimismo, las variaciones causan vibraciones dentro del sistema.

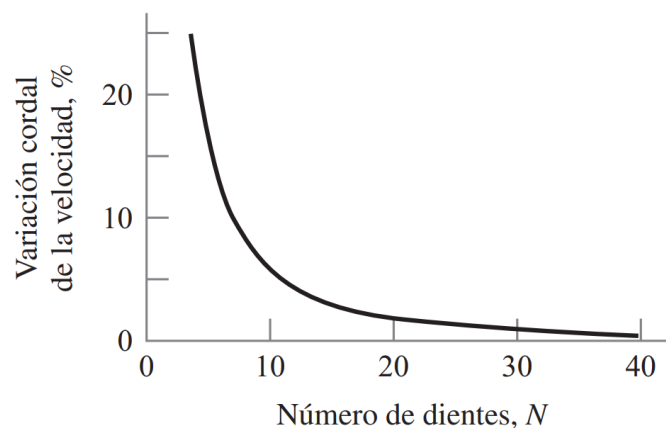


Fig. 2. 12. Relación de la variación cordal de la velocidad vs número de dientes. [10].

Aunque se considera deseable un gran número de dientes para el piñón impulsor, habitualmente resulta ventajoso obtener un piñón tan pequeño como sea posible, para lo cual se requiere un reducido número de dientes. Para una operación suave a velocidades tanto moderada como alta, se considera buena práctica emplear un piñón impulsor con al menos 17 dientes; por supuesto que 19 o 21 proporcionarán una mejor esperanza de vida con menor ruido de la cadena. Se emplean números bajos de dientes cuando las limitaciones de espacio son grandes o para velocidades muy bajas, pero se sacrifica la esperanza de vida de la cadena. Los piñones no se hacen en tamaños estándar con más de 120 dientes, porque la elongación del paso a la larga causará que la cadena “cabalque”, mucho antes de que la cadena se desgaste. Las transmisiones más eficaces tienen relaciones de velocidad de hasta 6:1, pero se pueden utilizar relaciones mayores a costa del sacrificio de la vida de la cadena. Las cadenas de rodillos rara vez fallan debido a la falta de resistencia a la tensión; es más común que fallen porque se sometan a un gran número de horas de servicio. La falla real puede deberse, o bien al desgaste de los rodillos sobre los pasadores, o a la fatiga de las superficies de los rodillos. Las capacidades de las cadenas se basan en lo siguiente:

- 15 000 h a carga completa
- Hilera única
- Proporciones ANSI
- Factor de servicio unitario
- 100 pasos en longitud
- Lubricación recomendada
- Elongación máxima de 3 por ciento
- Ejes horizontales

- Dos piñones de 17 dientes

La resistencia a la fatiga de las placas del eslabón gobierna la capacidad a bajas velocidades. La potencia nominal H1, limitada por placa del eslabón, se calcula con la Ec. 2.7.

Ecuación 2.7. Potencia limitante por resistencia a la fatiga **Ec. 2.7**

$$H_1 = 0,004 \cdot N_1^{1,08} \cdot n_1^{0,9} \cdot p^{(3-0,07p)} \text{ [hp]}$$

Mientras que la potencia nominal H2, limitada por los rodillos Ec. 2.8.

Ecuación 2.8. Potencia nominal de diseño **Ec. 2.8**

$$H_2 = \frac{1.000 \cdot K_r \cdot N_1^{1,5} \cdot p^{0,8}}{n_1^{1,5}} \text{ [hp]}$$

Donde:

n_1 = Velocidad del piñón menor (rpm).

N_1 = Número de dientes del piñón menor.

p = Paso de la cadena (pulg).

K_r = Constante que depende de la cadena

2.2.4 Motorreductores

El motorreductor, Fig. 2.13, representa un componente fundamental en los sistemas de transmisión mecánica empleados en la industria moderna. Este dispositivo integra un motor eléctrico con una caja reductora, permitiendo ajustar la velocidad de rotación del eje de salida según los requerimientos específicos de cada aplicación. Su función principal consiste en reducir la velocidad del motor y aumentar el torque, lo que optimiza el rendimiento de los equipos y prolonga su vida útil.

En los procesos industriales, los motorreductores se utilizan ampliamente en maquinaria de transporte, automatización, sistemas de elevación y equipos de manufactura. Su diseño compacto y su capacidad para operar con eficiencia energética los convierten en una solución versátil y

confiable. Los motorreductores más utilizados son los de tipo planetario, sinfín-corona y de ejes paralelos. Cada uno presenta características técnicas específicas que se ajustan a distintas condiciones operativas. El funcionamiento se basa en la transmisión del movimiento a través de engranajes que ajustan la velocidad de rotación del motor. Este proceso se lleva a cabo de manera controlada, lo que permite una operación segura y estable. Los elementos principales son la cadena cinemática, los engranajes y el motor, los cuales actúan de forma conjunta para generar una salida de potencia adecuada. Los engranajes pueden ser rectos o helicoidales, y están fabricados en materiales como acero o plástico, dependiendo de la aplicación.

La evolución de los motorreductores responde a la necesidad de soluciones mecánicas más eficientes, silenciosas y duraderas. Su desarrollo se encuentra respaldado por normas técnicas y criterios de diseño que aseguran su compatibilidad con diversos sistemas industriales [11].



Fig. 2. 13. *Motorreductor de producción. [11]*

2.2.5 Torque requerido

En el diseño del sistema de transmisión, el torque requerido corresponde al momento que el piñón debe ejercer sobre la cadena para generar la fuerza de tracción necesaria. Este torque se determina a partir de la fuerza aplicada en la cadena y del radio primitivo del piñón, ya que

ambos parámetros definen el brazo de palanca del esfuerzo [10]. Para ello, se utiliza la expresión mostrada en la Ecuación (2.9), que relaciona el torque con la fuerza y el radio efectivo del piñón.

Ecuación 2.9. Ecuación del torque requerido

Ec. 2.9

$$T = F * R$$

Donde:

T= Torque (N*m)

R= Radio primitivo del piñón (m)

F= Fuerza (N)

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de investigación

Este trabajo de titulación emplea una investigación aplicada, orientada a resolver el problema específico del diseño de un anclaje de bajo perfil basado en cadena rígida. Se busca ofrecer una solución práctica y eficiente para sistemas mecánicos que optimicen espacio y funcionalidad.

La investigación incluye un enfoque documental, analizando fuentes como libros, artículos técnicos, normas de diseño y proyectos previos. Esto permite establecer una base teórica sólida para guiar el desarrollo del dispositivo [2].

Adicionalmente, se emplea un enfoque descriptivo para analizar las características del sistema, incluyendo restricciones de diseño y especificaciones funcionales.

3.2 Diseño de la investigación

Para el desarrollo del presente trabajo, se llevaron a cabo diversas actividades individuales con el objetivo de cumplir los objetivos propuestos. De este modo, se puede detallar de manera secuencial el proceso realizado durante el diseño del anclaje de bajo perfil usando cadena rígida.

3.2.1 Fase 1: Adquisición de información

Mediante investigación documental y análisis de fuentes técnicas especializadas se establecen los parámetros y especificaciones necesarias para el diseño de un anclaje de bajo perfil que emplee tecnología de cadena rígida.

Actividad 1.1: Investigación técnica sobre cadenas rígidas; se realiza una revisión detallada de la literatura sobre las propiedades y aplicaciones de las cadenas rígidas en sistemas de anclaje, con el fin de comprender su comportamiento y limitaciones.

Actividad 1.2: Revisión de normativas y estándares aplicables; se investiga las normativas y estándares de calidad relacionados con sistemas de anclaje mecánicos y cadenas rígidas para garantizar el cumplimiento de las regulaciones correspondientes.

Actividad 1.3: Análisis de condiciones de operación; estudio de las condiciones operativas en las cuales el anclaje será utilizado, considerando factores como carga, ambiente, espacio y duración.

Actividad 1.4: Establecimiento de especificaciones del sistema de anclaje; se elabora una lista de especificaciones técnicas para el diseño del anclaje, considerando los resultados obtenidos en las investigaciones anteriores.

3.2.2 Fase 2: Diseño del Anclaje de Bajo Perfil

A través de un análisis basado en la fase anterior se realiza un planteamiento de las posibles soluciones al problema planteado.

Actividad 2.1: Planteamiento de soluciones; se desarrollan varias soluciones conceptuales que cumplan con las restricciones de espacio y funcionalidad impuestas por el sistema de anclaje.

Actividad 2.2: Selección de la solución más adecuada. Luego de evaluar las alternativas propuestas, se elige aquella que ofrece el mejor rendimiento en términos de resistencia, costo y aprovechamiento del espacio.

Actividad 2.3: Definición de las especificaciones del sistema de anclaje. Se detallan las características del anclaje seleccionado, incluyendo sus dimensiones, los materiales utilizados y sus propiedades operativas.

Actividad 2.4: Identificación de componentes críticos. Se determinan y seleccionan las partes esenciales para el funcionamiento del sistema de anclaje, como los elementos de la cadena rígida y otros componentes relevantes.

Actividad 2.5: Diseño mecánico de las partes críticas; se realiza un diseño detallado de las piezas críticas, asegurando que se adapten perfectamente al espacio disponible y que cumplan con las condiciones operativas.

3.2.3 Fase 3: Construcción del Prototipo del Anclaje

Mediante investigación descriptiva se desarrolla la construcción del prototipo mediante impresión 3D con el fin de conseguir un modelo funcional.

Actividad 3.1: Desarrollo de planos del dispositivo; se diseñan de los planos detallados para la fabricación del prototipo, especificando dimensiones.

Actividad 3.2: Establecimiento de los parámetros de impresión; se definen los parámetros necesarios para la impresión 3D de las partes del prototipo.

Actividad 3.3: Ensamblaje del prototipo; se ensamblan las piezas impresas para conformar el prototipo funcional del anclaje de bajo perfil.

3.2.4 Fase 4: Validación y Pruebas del Prototipo

Finalmente, usando investigación experimental se realizan pruebas de funcionamiento para validar el prototipo.

Actividad 4.1: Realización de pruebas funcionales; se ejecutan de pruebas operativas sobre el prototipo para verificar su rendimiento en condiciones de uso reales.

Actividad 4.1: Corrección de fallas y ajustes; se procede a ajustar y mejorar del prototipo según los resultados obtenidos en las pruebas.

Actividad 4.2: Redacción de los resultados obtenidos; se documenta de los resultados de las pruebas y correcciones realizadas en el prototipo.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este capítulo presenta el desarrollo técnico del anclaje mecánico de bajo perfil diseñado para facilitar el traslado de personas con discapacidad motora. Se abordan los criterios de selección de materiales, los procesos de manufactura, las simulaciones estructurales, y la elección de componentes claves como el piñón, motor, reductor y sistema eléctrico. También se describe el prototipo construido mediante impresión 3D y las pruebas cinemáticas realizadas para validar su funcionamiento. Finalmente, se incluye un análisis de costos y los planos técnicos en los anexos.

4.1 Requerimientos para el diseño del anclaje de bajo perfil con cadena rígida

En el desarrollo de investigaciones previas sobre sistemas de anclaje, se identifican dos trabajos relevantes que sirven como base para el presente estudio. La primera tesis, realizada por Conterón [1], se enfoca en el diseño y construcción del dispositivo. Este trabajo aporta conocimientos sobre el diseño estructural y la selección de materiales, lo cual resulta fundamental para el diseño que se desarrolla en esta investigación.

La tesis desarrollada por Sánchez [2] se enfoca en mejorar la base del sistema de anclaje mediante una metodología que combina análisis experimental y simulación mecánica. Los resultados muestran que el peso de los usuarios reduce la altura del carro, lo que permite realizar comparaciones útiles para el presente proyecto.

El diseño del dispositivo responde a criterios de funcionalidad, seguridad y compatibilidad con vehículos de baja altura. Se establece una altura máxima de 15 centímetros, tomando como referencia los parámetros definidos por Conterón [1], quien determina la altura mínima necesaria para mantener la estabilidad del sistema. Además, se considera una capacidad de carga superior a 3000 N, calculada a partir del peso promedio del vehículo y las condiciones de operación, siguiendo los lineamientos de la misma investigación. Estos valores aseguran que el diseño

sopORTE tanto cargas estáticas como dinámicas sin comprometer su estructura. La geometría del sistema contempla el acoplamiento entre eslabones. Los procesos de fabricación incluyen mecanizado CNC e impresión 3D, lo que permite obtener una solución compacta y adaptable a distintos modelos de vehículos. El sistema se diseña para resistir la carga definida en el proyecto, lo que requiere el uso de materiales con alta resistencia a la tracción y buena rigidez.

La geometría de los eslabones y del piñón permite transmitir el movimiento sin deformaciones significativas, garantizando la funcionalidad y la durabilidad del conjunto.

4.2 Requerimiento de alimentación eléctrica

El dispositivo debe alimentarse mediante la toma de corriente del vehículo (comúnmente conocida como cenicero), que proporciona energía eléctrica en corriente continua (DC) a 12 V, estándar en la mayoría de los automóviles. Esta decisión de diseño responde a criterios de compatibilidad universal, evitando la necesidad de baterías externas y garantizando que el sistema funcione mientras el vehículo esté encendido.

El uso del cenicero permite una instalación sencilla y segura, cumpliendo con las normas de conexión eléctrica para accesorios automotrices. Además, se considera la protección contra sobrecarga mediante fusibles integrados en la toma del vehículo, asegurando la durabilidad del dispositivo.

4.3 Planteamiento de las propuestas de solución

Tomando en cuenta el análisis del primer prototipo y los nuevos requerimientos de diseño y cinemáticos, donde el principal desafío radica en desarrollar un mecanismo que no supere los 20 cm de altura. Para abordar esta limitación, se proponen 3 posibles soluciones para posteriormente elegir la mejor solución aplicando la metodología de selección en base a criterios y restricciones.

4.4 Selección de la mejor solución de cadena rígida

4.4.1 Criterios y restricciones

Criterios

C1: Menor costo

C2: Mayor facilidad de uso

C3: Menor peso

C4: Altura ≤ 20 cm

C5: Soporte de masa ≥ 320 kg

Restricciones

R1: Precio inferior o igual 900 USD

R2: Peso menor de 20 kg

R3: Operación fácil

R4: Adaptable al área de anclaje del chasis

R5: Construcción utilizando materiales locales y procesos nacionales

4.4.2 Posibles soluciones

Nomenclatura - (PSC) -> Posible solución cadena

(PSC)1: La cadena consta de varios eslabones, están conectados mediante pasadores huecos pequeños y pasadores lardos que permiten la sincronización de los eslabones en el mismo eje, esto para solucionar el problema de la rigidez de la cadena, la cadena tiene su recorrido mediante el piñón permitiendo la rotación de la cadena como se muestra en la Fig. 4.1, manteniendo su desempeño.

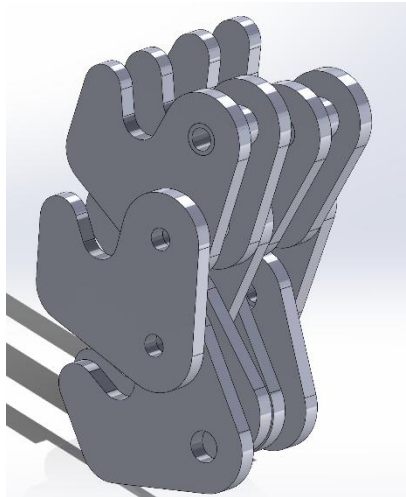


Fig. 4.1. Vista de la posible solución cadena (PSC)1.

(PSC)2: En esta propuesta, se muestra un sistema de cadena compuesto por un eslabón y un pasador, diseñado para reducir el número de piezas en comparación con la propuesta anterior. Esta simplificación facilita el montaje del sistema, además incluye un rediseño del piñón, mostrado en la Fig. 4.2, con estas modificaciones, se espera disminuir la cantidad de componentes.

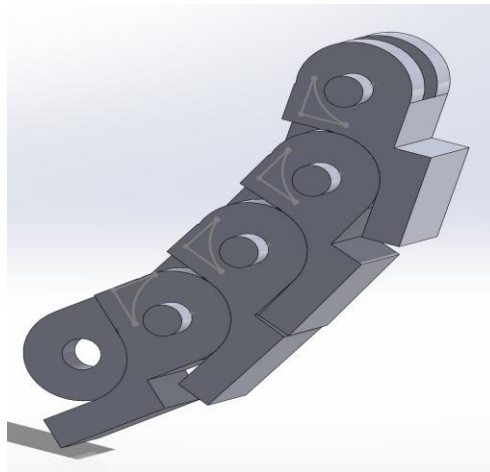


Fig. 4.2. Vista de la posible solución cadena (PSC)2.

(PSC)3: En esta propuesta se modifica el tipo de pasador y tipo de eslabón dándole una curvatura en las esquinas del eslabón y teniendo unos pasadores en modo cremallera para el que

el diente del piñón vaya encajando en cada pasador largo como indica la Fig. 4.3, desarrollando un movimiento cinemático guiado por un carril.

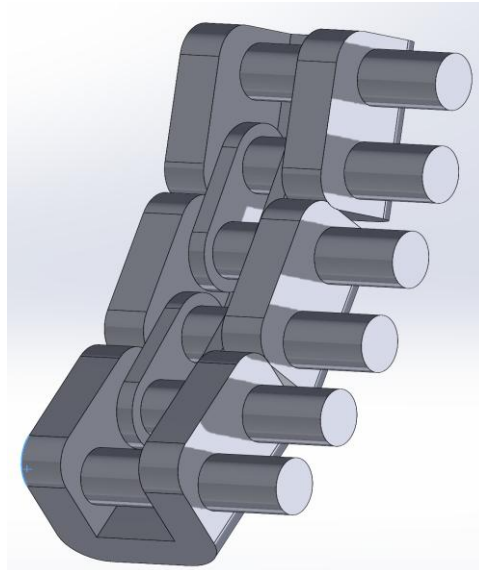


Fig. 4.3. Vista de la posible solución cadena (PSC)3.

(PSC)4: Se incorpora a la estructura principal que ahora cuenta con una ceja para encajar los eslabones evitando el desplazamiento entre ellos de forma horizontal, también cuenta con un nuevo rediseño en el pasador y ahora el piñón será interno, teniendo a su vez un carril de desplazamiento de la cadena y unas juntas más delgadas de manera que el diente del engranaje pueda entrar, como se muestra en Fig. 4.4.

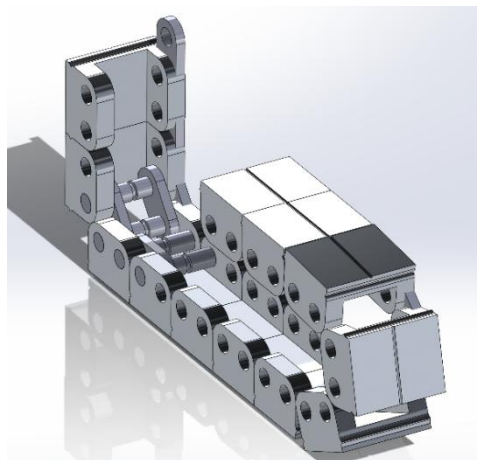


Fig. 4.4. Vista de la posible solución cadena (PSC)4.

4.4.3 Aplicación de restricción a posibles soluciones

En la tabla 4.1 se muestran las restricciones de las cuatro posibles soluciones de cadena consideradas, donde se denomina PSC como posible solución de la cadena.

Tabla 4.1 Aplicación de restricciones a probables soluciones de cadena

	(PSC)1	(PSC)2	(PSC)3	(PSC)4
R1	SI	SI	SI	SI
R2	SI	SI	SI	SI
R3	NO	SI	SI	SI
R4	SI	NO	SI	SI
R5	SI	SI	SI	SI

(PSC)3 Se convierte en solución Sc3.

(PSC)4 Se convierte en solución Sc4.

4.4.4 Ponderación de criterios

En la tabla 4.2 se realiza la ponderación de los criterios para establecer su importancia dentro del diseño.

Tabla 4.2. Ponderación de criterios para la cadena

	C1	C2	C3	C4	C5	# VECES	PCX
C1						1	2
C2	C2					3	4
C3	C3	C3				4	5
C4	C1	C2	C3			0	1
C5	C5	C2	C3	C5		2	3
Orden de importancia	4º	2º	1º	5º	3º		

En las tablas 4.3 a la 4.7 se realiza la ponderación de las soluciones respecto a los criterios C1 a C5.

Tabla 4.3. Ponderación de soluciones de cadena respecto a criterio C1

C1	Sc3	Sc4	#veces	PX
Sc3			0	P11=4
Sc4	Sc4		1	P12=2
	2º	1º		

Tabla 4.4. Ponderación de soluciones de cadena respecto a criterio C2

C2	Sc3	Sc4	#VECES	PX
Sc3			0	P12=1
Sc4	Sc4		1	P13=2
	2°	1°		

Tabla 4.5. Ponderación de soluciones de cadena respecto a criterio C3

C3	Sc3	Sc4	#VECES	PX
Sc3			0	P12=1
Sc4	Sc4		1	P13=2
	2°	1°		

Tabla 4.6. Ponderación de soluciones de cadena respecto a criterio C4

C4	Sc3	Sc4	#VECES	PX
Sc3			0	P12=2
Sc4	Sc4		1	P13=1
	1°	2°		

Tabla 4.7. Ponderación de soluciones de cadena respecto a criterio C5

C5	Sc3	Sc4	#VECES	PX
Sc3			0	P12=1
Sc4	Sc4		1	P13=2
	2°	1°		

Con los resultados de las tablas 4.3 a 4.7, se construye la tabla 4.8 para hacer la ponderación final de la cadena.

Tabla 4.8. Ponderación final de cadena

PCX	P3X	PCX.P3X	P4X	PCX.P4X
2	1	2	2	4
4	1	4	2	8
5	1	5	2	10
1	2	2	1	1
3	1	3	2	6
	X3=	16	X4=	27

La mejor solución es la número 4 con 27 puntos.

4.4.5 Detalles de diseño de la mejor solución

La solución posee los siguientes componentes, cada uno cumple una función específica que garantiza el correcto funcionamiento del mecanismo, como se observa en la Fig. 4.5 y Fig. 4.6.

1. Terminal

Función: Permite el acoplamiento con el área de sujeción del chasis del vehículo y asegura la fijación inicial del sistema.

Importancia: Proporciona estabilidad y mantiene la correcta alineación del mecanismo desde el punto de inicio.

2. Eslabón

Función: Conformar la cadena y proporcionar flexibilidad y capacidad de transmisión de movimiento.

Importancia: Permite la adaptación al recorrido y la transferencia de fuerza generada por el piñón.

3. Pasador

Función: Une los eslabones y permite la conexión mediante las juntas.

Importancia: Garantiza la continuidad estructural y la movilidad de la cadena.

4. Junta

Función: Conecta los eslabones a través del pasador y otorga articulación al sistema.

Importancia: Contribuye a la flexibilidad e integridad estructural y asegura un movimiento suave de la cadena.

5. Piñón

Función: Se acopla al eje del motor y transmite el movimiento rotativo hacia la cadena.

Importancia: Convierte la energía del motor en desplazamiento lineal.

6. Bocines y Separadores

Función: Mantienen la distancia adecuada entre piezas y reducen la fricción y el desgaste.

Importancia: Aseguran la alineación y la estabilidad del mecanismo, lo que prolonga su vida útil.

7. Carril

Función: Guía el recorrido de la cadena y asegura que se mantenga en la trayectoria correcta.

Importancia: Evita desviaciones y garantiza un movimiento controlado y seguro.

8. Soporte de Patitas (apoyo)

Función: Contribuyen a la estabilidad de la estructura y permiten que se mantenga firme sobre la superficie de apoyo.

Importancia: Evitan vibraciones y desplazamientos no deseados durante el funcionamiento del sistema.

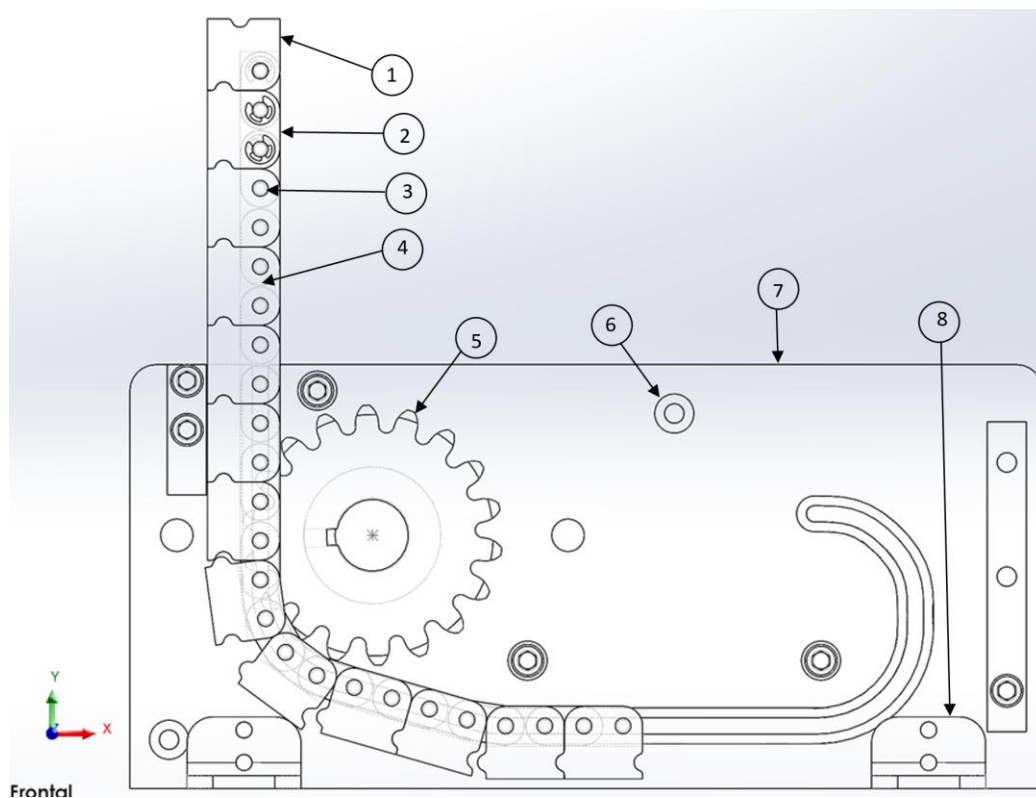


Fig. 4.5. Vista interna de eslabones y piñón.

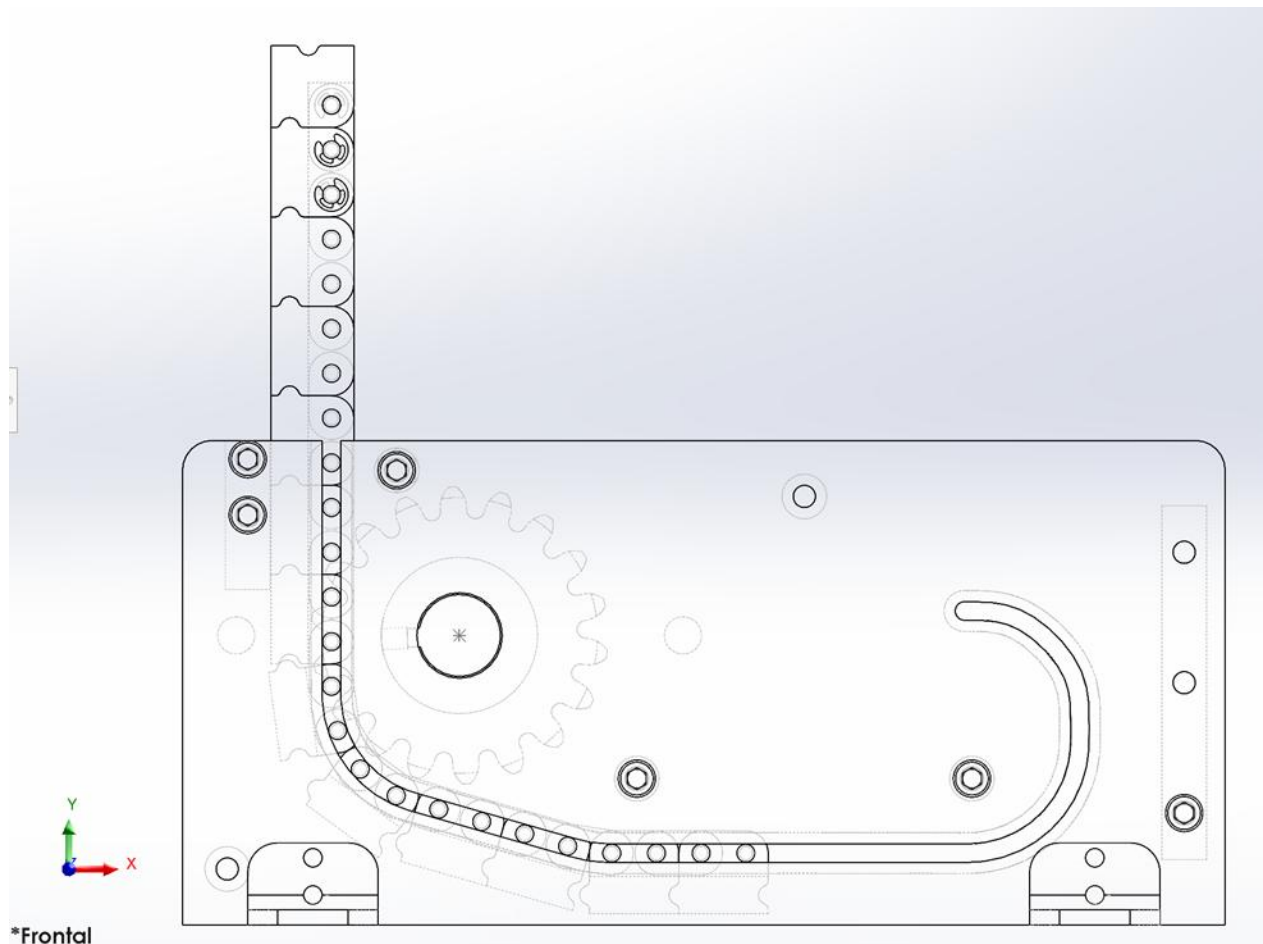


Fig. 4.6. Vista del recorrido del carril.

4.5 Selección de material

La selección del material para el sistema de transmisión (cadena y piñón) del prototipo de anclaje es una decisión crítica que equilibra seguridad, durabilidad y viabilidad económica. Dado el propósito de trasladar personas con discapacidad motora, el material debe garantizar alta resistencia al impacto, excelente tenacidad y una vida útil prolongada en componentes sometidos a fricción. Por estas razones, se opta por el Acero al Manganeso (12–14 % Mn), también conocido como Acero Hadfield, para ambos elementos. En el anexo A se encuentra la ficha técnica del material.

Este tipo de acero ofrece propiedades destacadas como alta resistencia al desgaste, capacidad de endurecimiento por trabajo y buena tenacidad, lo que lo convierte en una opción adecuada para componentes expuestos a cargas dinámicas y condiciones abrasivas. Su estructura austenítica permite que el material se endurezca bajo impacto sin perder ductilidad, lo que garantiza un desempeño confiable en entornos exigentes. Además, el acero Hadfield se encuentra con facilidad en el mercado industrial ecuatoriano, lo que simplifica su adquisición y contribuye a reducir los costos de implementación. En cuanto a sus aplicaciones, este material se utiliza en componentes sometidos a impacto y desgaste extremo, tales como cadenas de transmisión, engranajes, piñones, trituradoras, rieles ferroviarios y equipos de minería, debido a su capacidad para mantener la resistencia incluso en ambientes abrasivos [12]. Estas características lo convierten en una opción óptima para garantizar la funcionalidad y la seguridad del sistema de anclaje.

4.6 Cargas y condiciones de borde (soportes)

Se aplicó una fuerza de 3077 N en la cara superior del eslabón terminal, que es el peso máximo que puede ejercer el vehículo sobre la cadena. Este valor se obtuvo a partir de las especificaciones del vehículo Toyota Yaris 2008, cuyo peso en vacío es de 1041 kg. Considerando una distribución de carga del 60% en el eje delantero y 40% en el eje trasero, en la parte delantera soportaría un peso de 624,6 kg aproximadamente, además el peso delantero dividido entre los dos lados quedaría con un peso de 312,3 kg, Esta carga se orientó en el eje Y, representando la dirección real del esfuerzo durante la operación. El eslabón terminal presenta un diseño distinto para garantizar el acoplamiento inicial y soportar la carga concentrada, se visualiza en la Fig. 4.7.

Para las condiciones de borde, se emplearon soportes tipo control deslizante en las perforaciones de los eslabones inferiores, permitiendo el movimiento longitudinal y rotacional, pero

restringiendo desplazamientos irreales que alterarían la distribución de esfuerzos. Se definieron contactos “Sin penetración” entre eslabones, pasadores y juntas, asegurando una representación precisa del comportamiento mecánico.

Eslabón a Eslabón: Contacto entre las caras de los eslabones contiguos.

Junta a Junta: Contacto entre las superficies de las juntas.

Pasador a Eslabón: Contacto entre la superficie cilíndrica del pasador y la perforación del eslabón que atraviesa.

4.7 Resultados de esfuerzo, desplazamiento y factor de seguridad

Los resultados obtenidos de la simulación estática confirman la integridad estructural del diseño bajo la carga crítica de 3077 N.

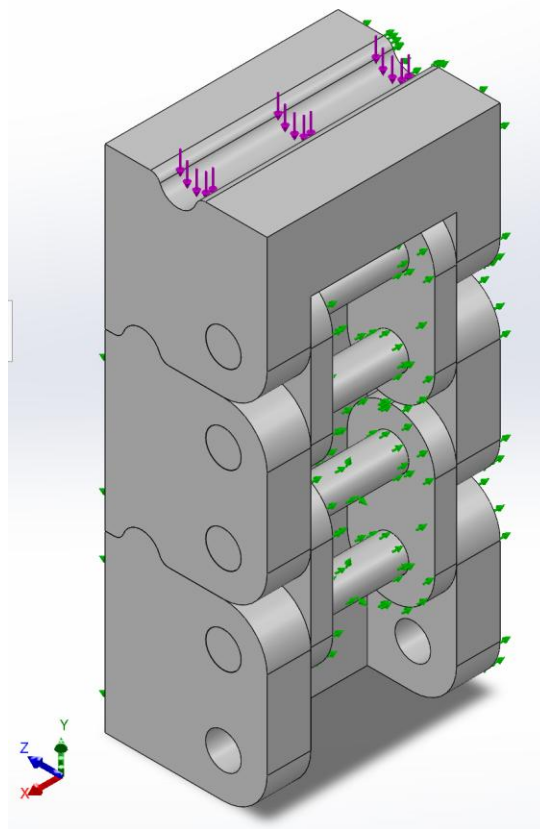


Fig. 4.7. Vista isométrica de las condiciones de borde.

4.8 Simulación de la cadena

Se decidió simular únicamente el eslabón terminal y dos eslabones adicionales de la cadena con el objetivo de reducir el tamaño del modelo y optimizar el tiempo de cálculo. Esta configuración es suficiente para estimar los esfuerzos máximos y los factores de seguridad mínimos en los componentes, ya que concentra las zonas críticas donde se transmiten las cargas principales.

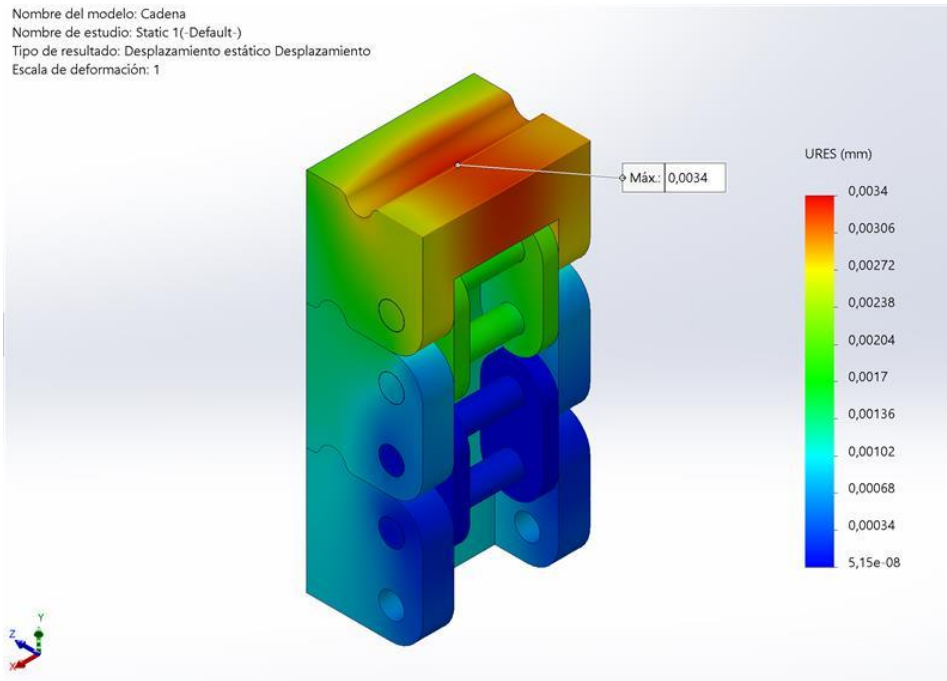
Para realizar la simulación de la cadena se tomó como referencia los planos técnicos del diseño, los cuales se incluyen en el Anexo B. Estos planos contienen las dimensiones y tolerancias necesarias para garantizar que el modelo virtual corresponda fielmente al diseño real.

Durante el análisis se identificó que el desplazamiento mínimo se presenta en la zona del eslabón más próximo a los puntos de apoyo, lo que confirma la rigidez en las áreas sometidas a mayor restricción.

Asimismo, fue necesario crear un material personalizado en SolidWorks que representara las propiedades del acero seleccionado para la fabricación. Este material se configuró con parámetros como límite elástico, módulo de elasticidad y densidad, asegurando que los resultados obtenidos en la simulación reflejaran el comportamiento real del componente bajo las condiciones de carga establecidas.

4.9 Desplazamiento máximo de la cadena

El desplazamiento máximo es un indicador de la rigidez del sistema y se observa en el extremo libre del eslabón terminal, el punto más alejado de los soportes, con un valor de 0,0034 mm. Es importante señalar que este desplazamiento corresponde únicamente al modelo reducido de tres eslabones utilizado en la simulación, por lo que no representa el desplazamiento total de la cadena completa. Sin embargo, la magnitud baja de este valor indica que el sistema presenta una alta rigidez y estabilidad bajo las condiciones de tracción simuladas, como se muestra en la Fig. 4.8.



El desplazamiento se concentra en la zona más alejada de los apoyos, lo que confirma el comportamiento esperado en la cadena sometida a compresión. La distribución uniforme en el resto de la estructura indica una adecuada rigidez, evitando deformaciones que puedan comprometer la alineación y el correcto funcionamiento del sistema.

4.10 Esfuerzo equivalente máximo de la cadena

El esfuerzo máximo se localiza en la zona marcada con la etiqueta “Max” en la Fig. 4.9.

En el terminal se observa un esfuerzo relativamente elevado, que se origina en la zona de contacto con el chasis. Este esfuerzo se transmite hacia los demás eslabones y alcanza un valor máximo de 59,77 MPa en el segundo eslabón.

El modelo muestra que esta región se encuentra en el interior del primer eslabón, justo en la unión entre el pasador y la placa lateral, donde se concentra la carga. Esta área se considera crítica porque ahí se produce el mayor gradiente de tensiones debido al contacto y a la geometría

del componente. En la Fig. 4.11. se muestra la pieza específica en la que se produce el mayor esfuerzo y, por ende, el menor factor de seguridad.

La comparación con el límite elástico del material, que es 345 MPa, indica que el esfuerzo máximo está muy por debajo del umbral de deformación plástica. El diseño trabaja dentro de los parámetros seguros bajo las condiciones de carga analizadas, lo que confirma la estabilidad estructural del componente. Esto se evidencia en la Fig. 4.11. donde se observa el factor de seguridad más bajo, mientras que las demás zonas presentan valores significativamente menores, lo que asegura un comportamiento uniforme en la transmisión de carga.

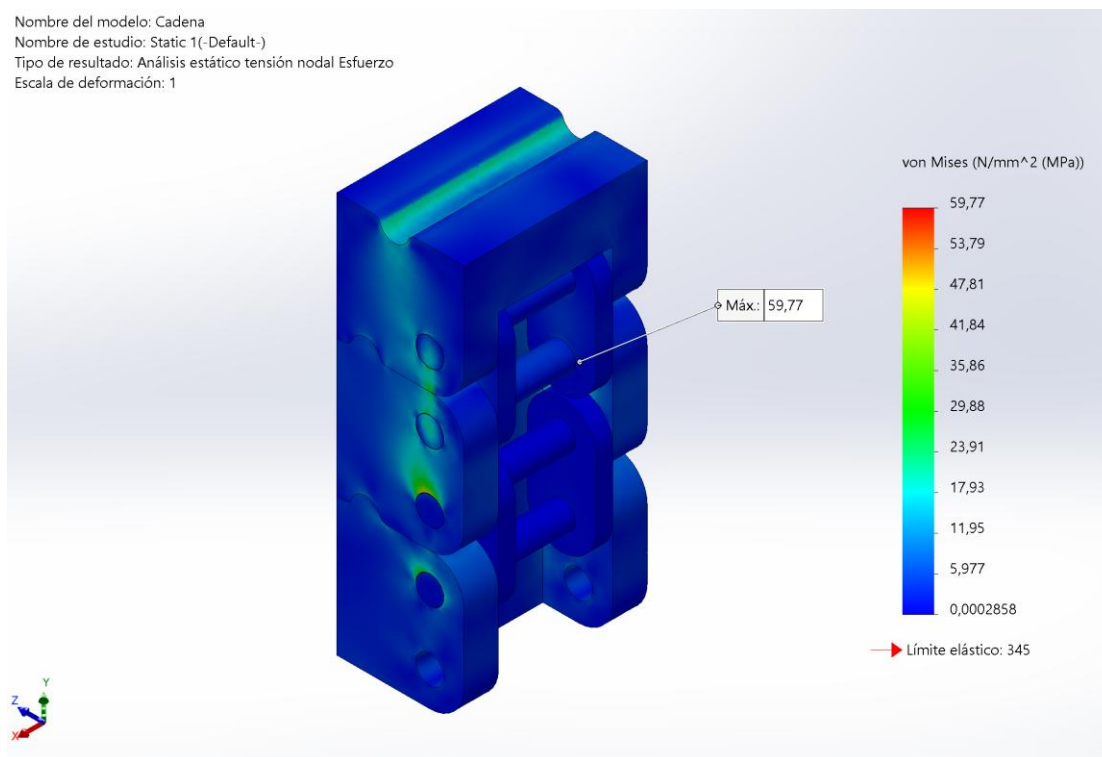


Fig. 4.9. Esfuerzo máximo de la cadena.

La imagen muestra cómo se distribuye el esfuerzo en el componente, según el criterio de von Mises. Se observa una concentración de tensiones en la parte interna del eslabón, justo en la zona de contacto entre las piezas, como se muestra en la Fig. 4.9.

4.11 Factor de seguridad de la cadena

En esta sección se analizan los resultados del estudio de elementos finitos aplicado a la cadena bajo la carga de diseño definida previamente y las condiciones de borde descritas en la sección correspondiente. El objetivo es determinar el factor de seguridad de la cadena y localizar el eslabón crítico, es decir, aquel en el que se obtiene el FDS mínimo.

La Fig. 4.10 presenta el mapa de distribución del factor de seguridad en toda la cadena, mientras que la Fig. 4.11 muestra la distribución del esfuerzo equivalente al esfuerzo máximo para las mismas condiciones de carga. Dado que todos los eslabones están fabricados con el mismo material y sometidos al mismo tipo de sollicitación, las zonas de máximo esfuerzo equivalente coinciden con las zonas de mínimo factor de seguridad.

Del análisis numérico se obtiene un factor de seguridad mínimo de

$FDS_{mín} = 5,8$, localizado en el primer eslabón de la cadena, en la región próxima al contorno del orificio del pasador. En este mismo punto se registra el esfuerzo equivalente máximo, con un valor de $\sigma_{eq,máx} = 59,77$ MPa. El eslabón terminal presenta un factor de seguridad mínimo de 6,2, mientras que el eslabón 2 y el resto de los eslabones alcanzan valores del orden de $FDS \approx 9,1$. Esta distribución es coherente con la definición del factor de seguridad, dado que el FDS se calcula a partir del esfuerzo equivalente y la resistencia del material, de modo que las zonas con mayores esfuerzos presentan los menores valores de FDS.

El resto de los eslabones presenta, por tanto, factores de seguridad superiores al del primer eslabón, de manera que el comportamiento global de la cadena está gobernado por el eslabón donde se obtiene el FDS mínimo. En este trabajo se adopta como criterio de diseño un factor de seguridad mínimo de $FDS \geq 3$; en consecuencia, el valor obtenido de $FDS_{mín} = 5,8$ se encuentra por encima de este umbral, lo que permite considerar que el diseño del eslabón más

crítico y, por extensión, de la cadena en su conjunto, resulta aceptable frente a las condiciones de operación consideradas.

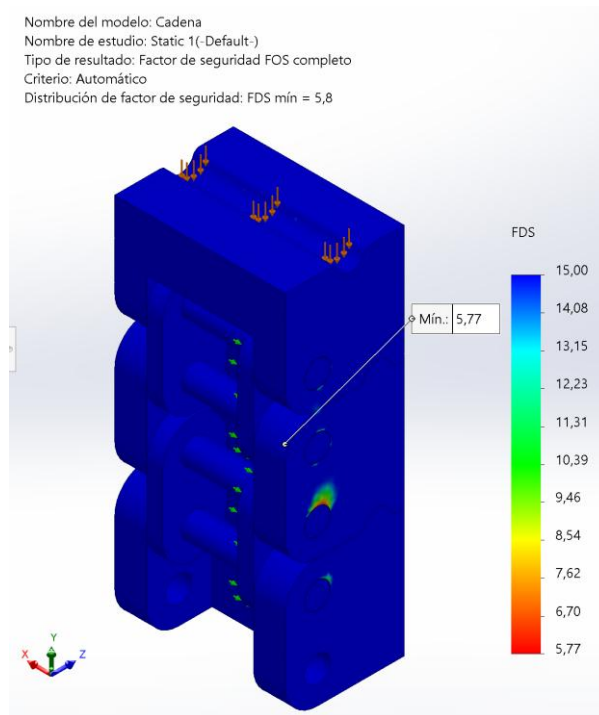


Fig. 4.10. Factor de seguridad de la cadena.

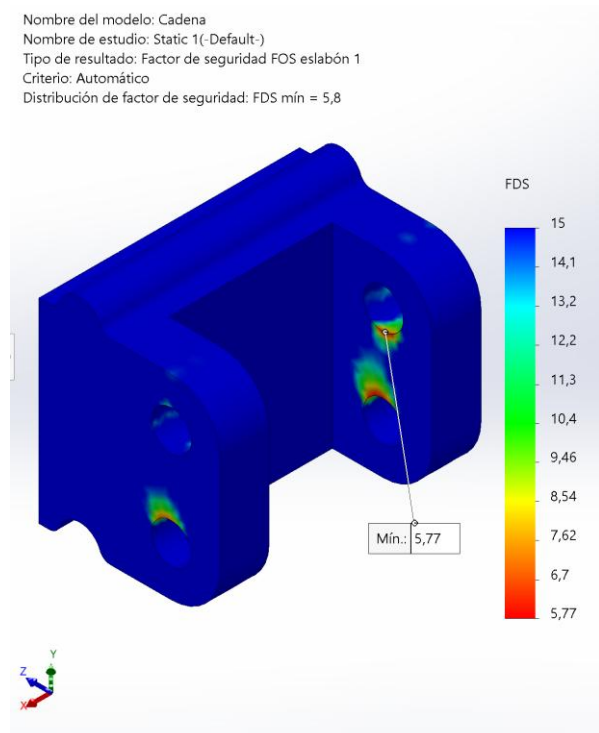


Fig. 4.11. Factor de seguridad del primer eslabón.

4.12 Simulación del piñón de la cadena

Un análisis estático realizado en SolidWorks con el objetivo de determinar el factor de seguridad del piñón sistema de transmisión por cadena. Este estudio permite verificar la resistencia del componente frente a las cargas aplicadas y garantizar el cumplimiento de los parámetros de diseño.

El valor mínimo obtenido es 3,18, lo que indica que la zona más exigida del componente soporta más de tres veces la carga aplicada antes de alcanzar su límite.

Las zonas críticas se localizan en la base de los dientes del piñón, donde se concentran los mayores esfuerzos debido al contacto directo con la cadena. Este comportamiento es coherente con la función del componente, ya que dichas zonas están sometidas a cargas dinámicas y fricción. En conclusión, la simulación valida la resistencia del piñón, aunque se recomienda complementar el análisis con estudios de fatiga para asegurar su desempeño en condiciones prolongadas de operación.

4.13 Desplazamiento máximo del piñón

En la figura 4.12 se muestra la distribución del desplazamiento en la pieza bajo las condiciones de carga aplicadas. El desplazamiento máximo registrado es de aproximadamente 0,00757 mm y se localiza en la parte inferior de la pieza, cerca del punto de aplicación de la carga. Las áreas en azul muestran desplazamientos casi nulos, lo que indica que la deformación se concentra en las regiones más solicitadas. Este valor resulta muy pequeño en relación con las dimensiones del componente, lo que confirma que su rigidez es adecuada para las condiciones de operación.

Nombre del modelo: V5 Piñón
Nombre de estudio: Static 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Displacement1
Escala de deformación: 1

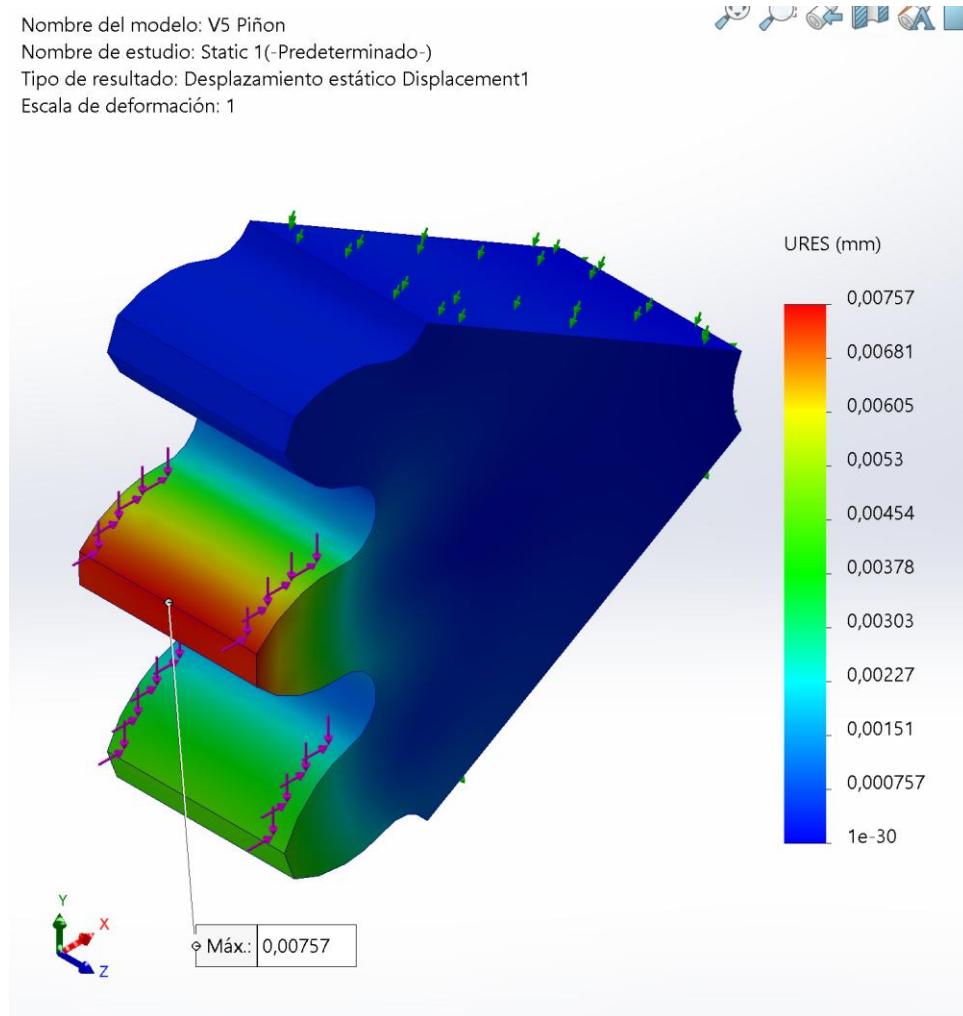


Fig. 4.12. Desplazamiento máximo del piñón.

4.14 Esfuerzo equivalente máximo del piñón

La Fig. 4.13 muestra cómo se distribuye el esfuerzo en la pieza analizada, según el criterio de von Mises. El esfuerzo máximo registrado alcanza aproximadamente los 108 MPa y se localiza en las áreas cercanas a las aristas internas y en los puntos de transición geométrica. Este valor se mantiene por debajo del límite del material, lo que confirma que la pieza opera dentro de parámetros seguros. Las regiones en azul reflejan esfuerzos mínimos, lo que indica que la carga se concentra principalmente en las zonas críticas.

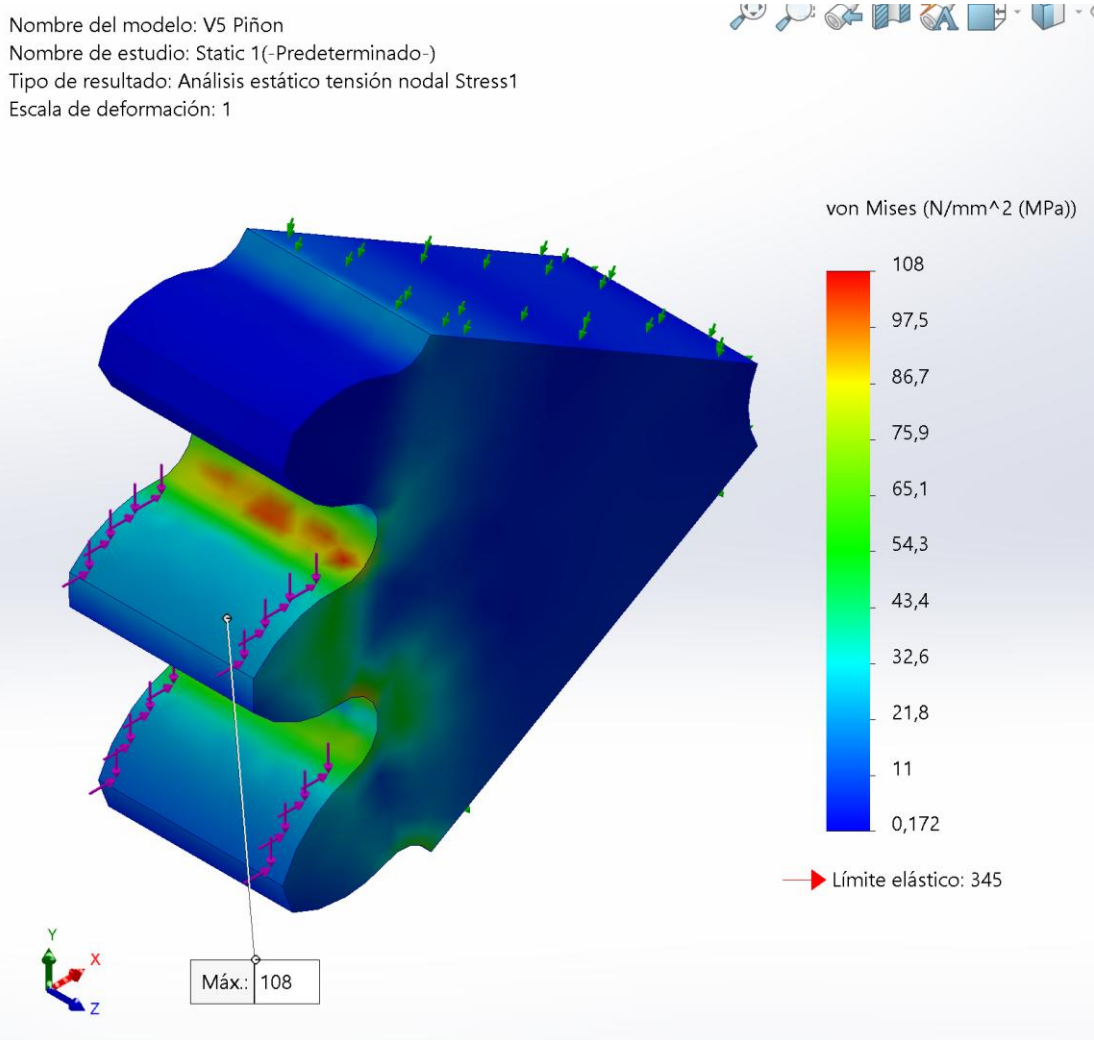


Fig. 4.13. Esfuerzo máximo del piñón.

4.15 Factor de seguridad del piñón

La Fig 4.14 presenta el mapa del factor de seguridad. Las zonas con menor resistencia relativa se muestran en colores cálidos, mientras que las áreas con mayor margen aparecen en tonos azules. El valor mínimo registrado es cercano a 3,2, lo que indica que la pieza soporta la carga aplicada sin riesgo de falla. En la mayor parte de la geometría, el factor supera este valor, lo que garantiza un desempeño confiable ante posibles sobrecargas.

Nombre del modelo: V5 Piñon
Nombre de estudio: Static 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor of Safety1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 3,2

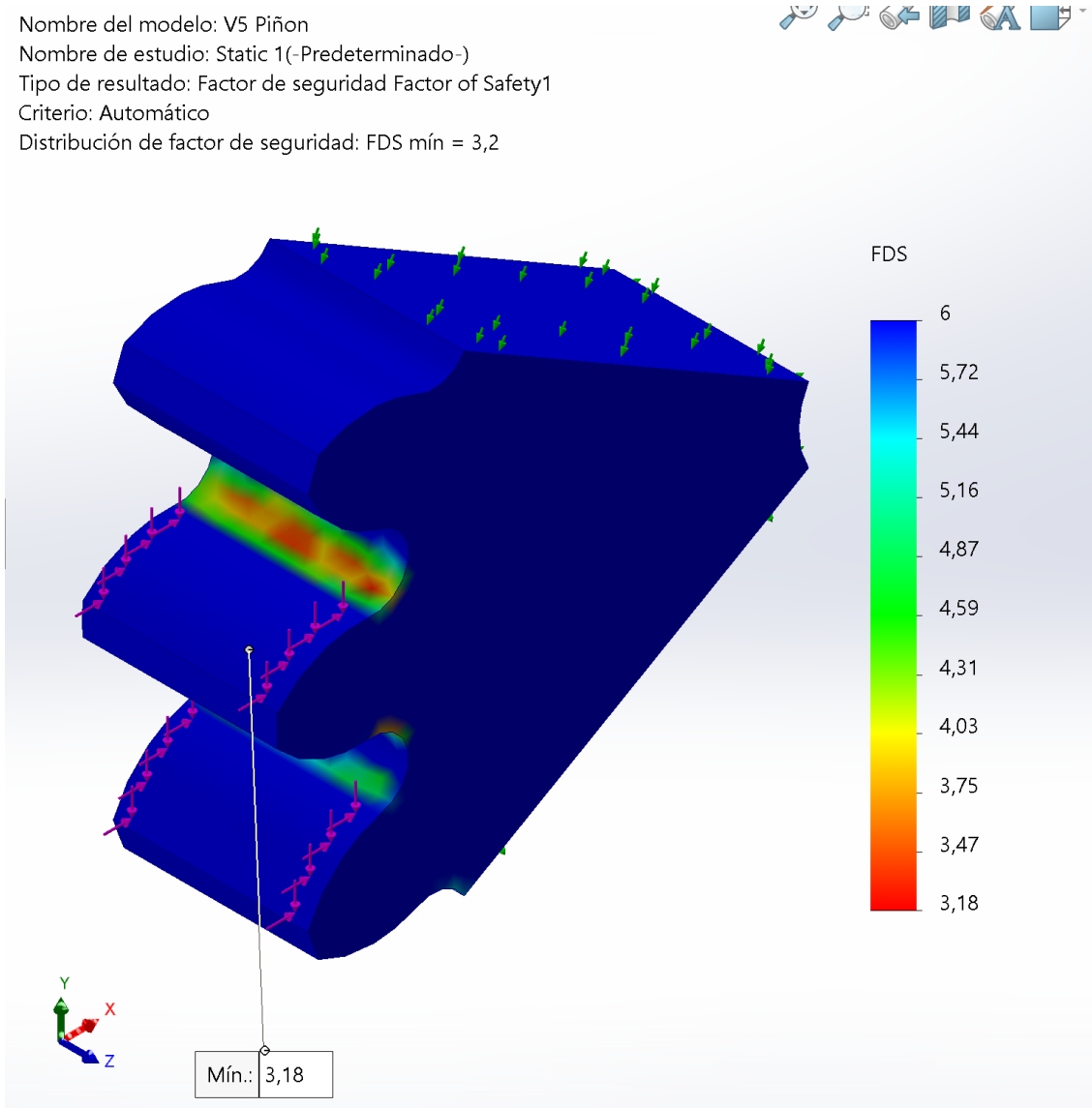


Fig. 4.14. Factor de seguridad del piñon.

4.16 Carril y soporte

El carril y el soporte forman parte esencial del sistema de transmisión, como se observa en la Fig. 4.15, ya que aseguran la alineación y estabilidad de los componentes móviles. El carril guía el desplazamiento de la cadena o del conjunto móvil, permitiendo un recorrido lineal preciso y minimizando el riesgo de desalineaciones que puedan provocar desgaste prematuro o fallos en el mecanismo. Su diseño considera aspectos como la resistencia estructural, la capacidad de carga y la adaptación al entorno de trabajo.

El soporte, por su parte, mantiene fijo el carril y otros elementos del sistema, absorbiendo las cargas estáticas y dinámicas generadas durante la operación. Este componente requiere una estructura robusta, estabilidad y materiales resistentes a la corrosión, especialmente en ambientes industriales. Además, su geometría debe facilitar el montaje y el mantenimiento del sistema.

El carril y el soporte fueron diseñados específicamente para este sistema, por lo que no corresponden a elementos estandarizados de catálogo. Ambos se fabrican en acero AISI 128 (acero al manganeso), utilizando una lámina de 6 mm de espesor, de manera que se garantiza la rigidez necesaria del conjunto frente a las cargas de operación.

El carril presenta una longitud de 280 mm y un ancho de 135 mm. La longitud se define a partir de la necesidad de acoplarse al motor, cuyo cuerpo tiene aproximadamente 100 mm de largo, mientras que la altura total del conjunto no debe superar los 150 mm debido a las restricciones geométricas de la estructura. El ancho del carril está condicionado por el ancho de los eslabones internos de la cadena, asegurando un guiado adecuado y evitando interferencias durante el movimiento.

Para incrementar la rigidez del conjunto y evitar que las paredes del carril tiendan a cerrarse, se incorporan separadores tipo bocín, fabricados también en acero, con un diámetro externo de 12 mm y una longitud de 33 mm. Estos bocines son huecos para permitir el paso de un perno M6, que actúa como elemento de unión entre el carril y el soporte, además de mantener constante la separación entre las caras internas del carril en puntos estratégicos.

Las dimensiones detalladas del carril, del soporte, de los separadores y de los pernos de unión se presentan en los planos incluidos en el Anexo H, donde se especifican las medidas finales y los criterios de fabricación.

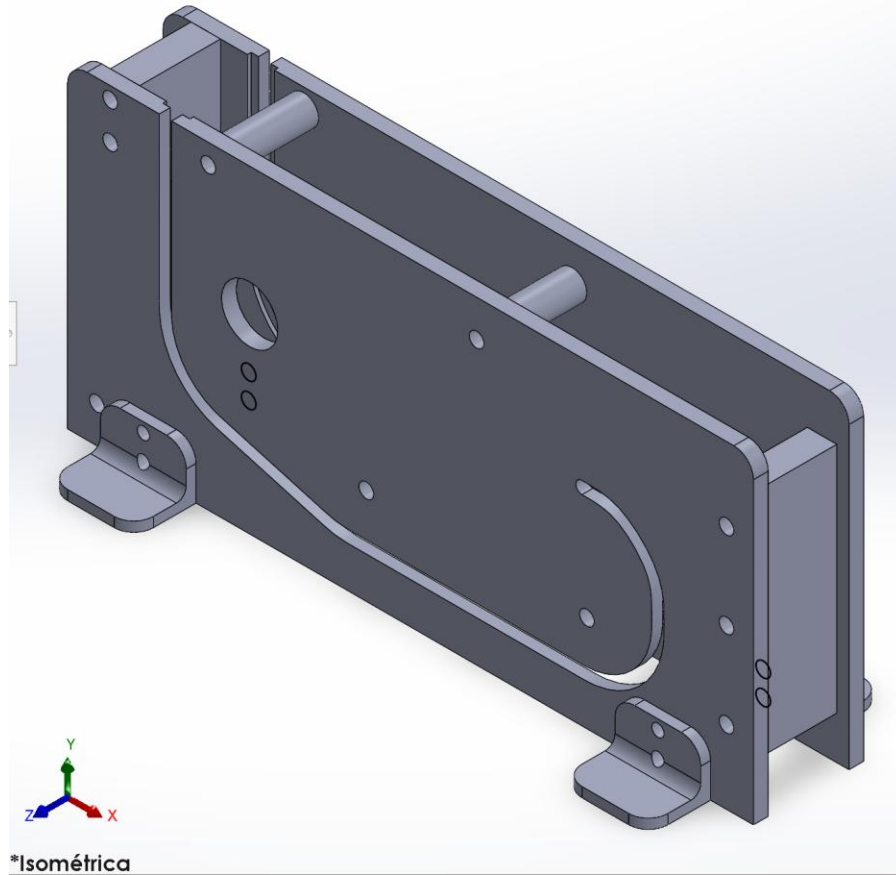


Fig. 4.15. Estructura del carril.

4.17 Sistema de transmisión

El sistema de transmisión constituye el enlace entre la fuente de energía del vehículo y el mecanismo accionado por la cadena. La energía eléctrica se toma de la toma de 12 V del encendedor del vehículo, desde donde se alimenta un motor eléctrico, que a su vez se acopla a una caja reductora y, finalmente, a un piñón que engrana con la cadena. De esta manera, el

conjunto motor–reductor–piñón transforma la potencia eléctrica disponible en el vehículo en un torque mecánico suficiente para generar la fuerza de tracción requerida sobre la cadena.

A partir del análisis previo se determinó que la cadena debe ser capaz de transmitir una fuerza de tracción de 3077 N en la condición de diseño más desfavorable. Considerando el radio primitivo del piñón, esta fuerza se traduce en un torque requerido en el eje del piñón del orden de 123,08 N·m, valor que define la capacidad mínima que debe aportar el conjunto motor–reductor. Además del torque, el sistema debe proporcionar un movimiento lineal lento y controlado de la cadena.

4.18 Torque requerido

En el contexto del presente diseño, el término torque requerido se refiere al momento de fuerza mínimo que debe entregarse en el eje del piñón para generar la tracción necesaria en la cadena y, con ello, vencer la carga de diseño de 3077 N bajo las condiciones de operación establecidas. Este torque resulta de la relación entre la fuerza aplicada por la cadena y el radio primitivo del piñón, y constituye un parámetro fundamental para la selección del conjunto motorreductor - reductor. En otras palabras, el torque requerido define la capacidad mecánica que debe proporcionar el sistema de transmisión para garantizar que el movimiento se realice de forma segura, controlada y sin que se excedan los límites de esfuerzo admisibles en los componentes.

A partir de la fuerza de tracción que actúa sobre el eslabón terminal, en la condición de carga más desfavorable, se calcula el torque requerido en el piñón mediante la expresión mostrada en la Ecuación (2.9).

$$T = 123,1 \text{ N} * m$$

4.19 Selección de la caja reductora

Para evaluar si la caja reductora seleccionada proporciona un movimiento suficientemente lento y controlado, se analiza la velocidad de giro del piñón y la correspondiente velocidad de ascenso de la cadena. Se adopta una caja reductora con relación 16:1, lo que significa que la velocidad de salida del eje del reductor es igual a la velocidad del motor dividida para 16; en este caso, el motor gira a 26 rpm, por lo que la velocidad de salida del reductor es $\eta_{\text{piñón}} = 26/16\text{rpm}$. A partir de esta velocidad de giro se obtiene la velocidad de ascenso del sistema, V_{asc} , calculada en función del radio primitivo del piñón, $R_{\text{piñón}}$ (4 cm). Esta velocidad de ascenso representa la velocidad lineal con la que la cadena se desplaza y, por tanto, la velocidad con la que el mecanismo asciende.

Relación = 16:1

Velocidad de salida:

$$\eta_{\text{piñón}} = \frac{26}{16} = 1,625 \text{ rpm} = 0,1702 \text{ rad/s}$$

Velocidad de Ascenso

$$V_{\text{asc}} = W_{\text{piñón primitivo}} * R_{\text{piñón}} =$$
$$V_{\text{asc}} = 0,68 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

4.20 Selección del motor y reductor

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de transmisión como se muestra en la tabla. 4.9 se selecciona un motorreductor [13] y una caja reductora [14] que cumplen con los parámetros establecidos en el diseño, tales como velocidad de salida, torque requerido y relación de reducción. La elección se efectúa a partir de catálogos técnicos disponibles en línea,

priorizando componentes que aseguren eficiencia, durabilidad y compatibilidad con el mecanismo.

Tabla 4.9. Características de los dispositivos.

Parámetro	Motorreductor Worm Geared Motor DC 5D300GN-RV30	Caja reductora NEMA 42 110 Px
Tipo de componente	Motorreductor (motor + reductor integrado)	Caja reductora adicional
Modelo	Worm Geared Motor DC 5D300GN-RV30	NEMA 42 110 Px
Potencia nominal	300 W	– (transmisión mecánica)
Velocidad nominal utilizada en el diseño	26 rpm en el eje de salida del motorreductor	≈ 1,62 rpm en el eje de salida del sistema (26 rpm / 16)
Relación de reducción	80:1 (reductor integrado al motor)	16:1 (relación adicional)
Función en el sistema	Proporcionar el par base necesario para accionar el sistema sin sobrecargar el motor, a partir de la alimentación de 12 V del vehículo	Reducir aún más la velocidad y aumentar el par disponible en el eje del piñón, hasta alcanzar la velocidad de ascenso requerida
Criterios de selección	Se selecciona por su potencia de 300 W, su capacidad para entregar el par requerido, su diseño compacto y su alta eficiencia energética	Se elige por su capacidad de soportar cargas elevadas, su construcción robusta y su compatibilidad mecánica con el motorreductor, garantizando una transmisión confiable y segura

Ambos componentes cumplen con los criterios de diseño y fueron seleccionados considerando disponibilidad comercial, facilidad de montaje y estándares de calidad. Esta elección asegura que el sistema funcione de manera eficiente y prolongue la vida útil de los elementos mecánicos.

4.21 Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico del dispositivo se alimenta directamente desde el conector del encendedor del automóvil, lo que permite aprovechar la fuente de corriente continua del vehículo para su funcionamiento. El circuito está compuesto por una batería auxiliar, un fusible de protección de 15 A, un controlador PWM de 10 A para regular la velocidad del motor y un interruptor ON/OFF para el control manual. Esta configuración garantiza un suministro seguro y estable, protegiendo los componentes ante sobre corrientes y ofreciendo un control preciso del movimiento del prototipo. Gracias a esta integración, el sistema es práctico y adaptable para aplicaciones móviles.

4.22 Diagrama del sistema eléctrico y funcionamiento

En la Fig. 4.16 se muestra el diagrama eléctrico del dispositivo. El interruptor ON/OFF [15], permite el control manual del encendido, mientras que el motor inductor convierte la energía eléctrica en movimiento mecánico para accionar el mecanismo del prototipo. Esta configuración asegura un control eficiente, protección eléctrica y facilidad de integración con la fuente del vehículo.

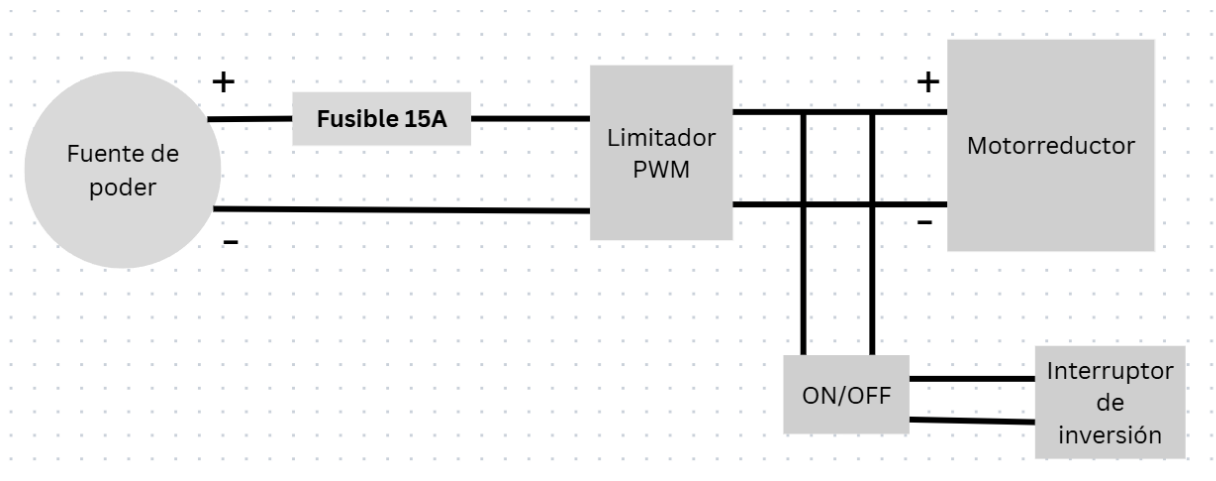


Fig. 4.16. Diagrama Eléctrico.

4.23 Proceso de manufactura por CNC de la cadena

La fabricación de las piezas que conforman el dispositivo con el carril, eslabones, bocines y juntas, se realiza mediante mecanizado CNC, utilizando máquinas de control numérico computarizado que garantizan alta precisión y repetitividad en la producción. Las operaciones, herramientas y parámetros empleados en cada etapa de mecanizado se detallan en las hojas de proceso correspondientes, incluidas desde el Anexo K, en adelante.

Planchas con el carril:

Se parte de láminas de acero que son cortados a dimensiones aproximadas. Posteriormente, se

emplea una fresadora CNC para generar el contorno de la plancha y el perfil del carril, así como las perforaciones necesarias para el montaje. Finalmente, se realiza un rectificado para asegurar planicidad y tolerancias estrictas.

Eslabones:

El material se corta en piezas base y se mecaniza en fresadoras CNC para obtener la geometría definida, incluyendo los orificios para bujes y pernos. Se aplican operaciones de taladrado y avellanado con alta precisión, seguidas de procesos de pulido para mejorar la rugosidad superficial.

Bujes:

Estas piezas se elaboran principalmente en tornos CNC, donde se ejecutan operaciones de cilindrado, taladrado y, en caso necesario, roscado interno. El proceso de rectificado posterior permite alcanzar tolerancias precisas en los diámetros internos y externos del componente.

Juntas:

Las piezas se fabrican a partir de láminas delgadas mediante corte CNC, por fresado, lo que garantiza uniformidad en el espesor y planicidad necesarias para lograr un sellado adecuado.

Una vez mecanizadas todas las piezas, se realiza el tratamiento térmico por temple en aceite, con el fin de aumentar la dureza y mejorar la resistencia al desgaste. Este proceso resulta esencial para extender la vida útil del conjunto.

4.24 Desarrollo del prototipo

El desarrollo del prototipo de anclaje de bajo perfil se lleva a cabo mediante impresión 3D, con el objetivo de validar el diseño mecánico propuesto y verificar su funcionalidad. Cada componente se modela en software CAD, donde se definen sus dimensiones, geometrías y ensamblajes. Las

piezas se imprimen en material PETG, seleccionado por su resistencia mecánica, flexibilidad y buen comportamiento frente a esfuerzos repetitivos. Se emplea un relleno del 30% para equilibrar la rigidez estructural.

La impresión 3D permite transformar el diseño conceptual en un modelo físico que sirve como base para validar el sistema propuesto. Esta tecnología ofrece ventajas significativas en términos de rapidez, economía y posibilidad de realizar ajustes, consolidando el desarrollo del prototipo como una etapa clave dentro del proceso de investigación. En la Fig. 4.17 se presentan los parámetros definidos para la impresión 3D del dispositivo.



Fig. 4.17. Parámetros de la impresión en 3D.

En la Fig. 4.18 se presentan todos los modelos diseñados para su impresión en 3D, visualizados mediante el software Ultimaker Cura.

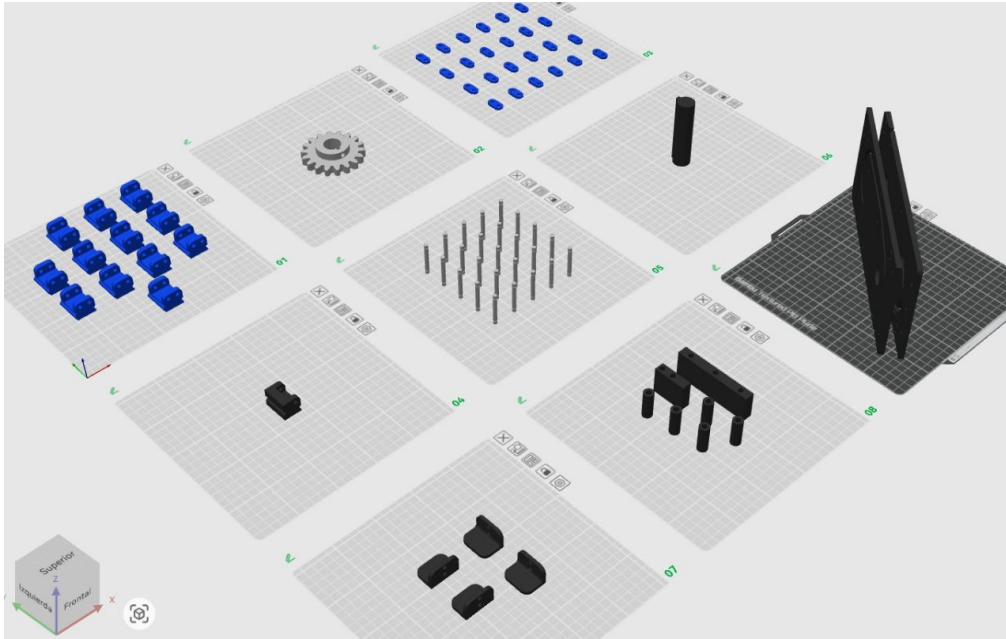


Fig. 4.18. Modelos de las partes de la cadena para construir mediante impresión 3D.

La Fig. 4.19 muestra todos los componentes de la cadena fabricados mediante impresión 3D, preparados para su posterior ensamblaje.

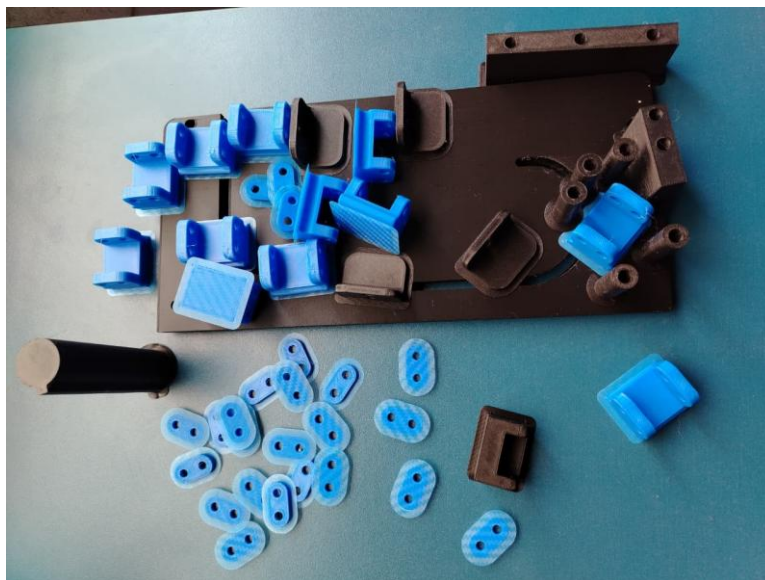


Fig. 4.19. Componentes de la cadena impresos.

El ensamblaje final de la cadena, obtenido tras las etapas previas, se muestra en la Fig. 4.20.

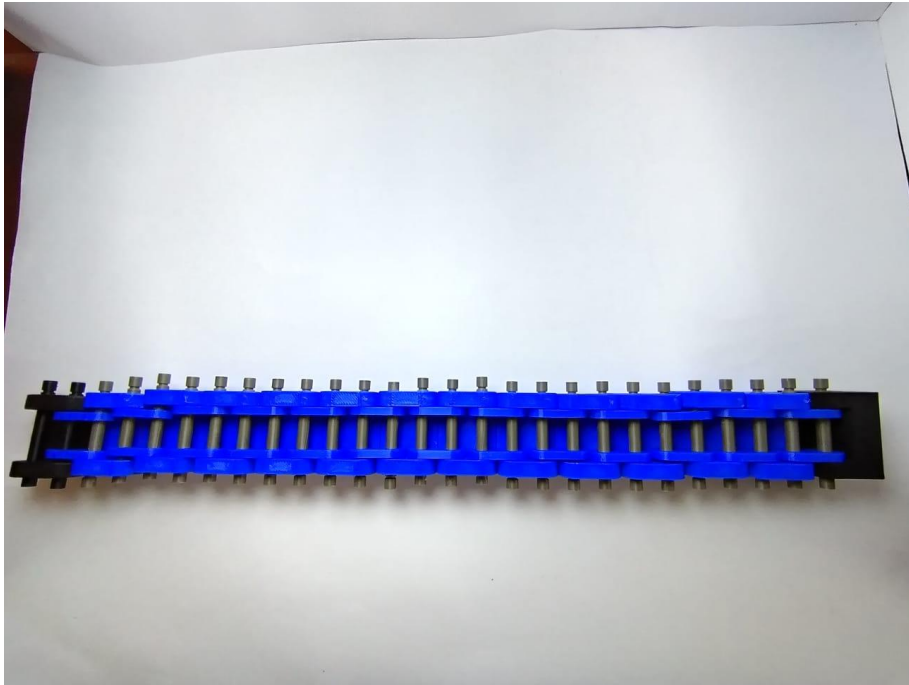


Fig. 4.20. *Cadena ensamblada.*

En la Figura 4.21 se observa la cadena ensamblada integrada con su estructura principal o carril.

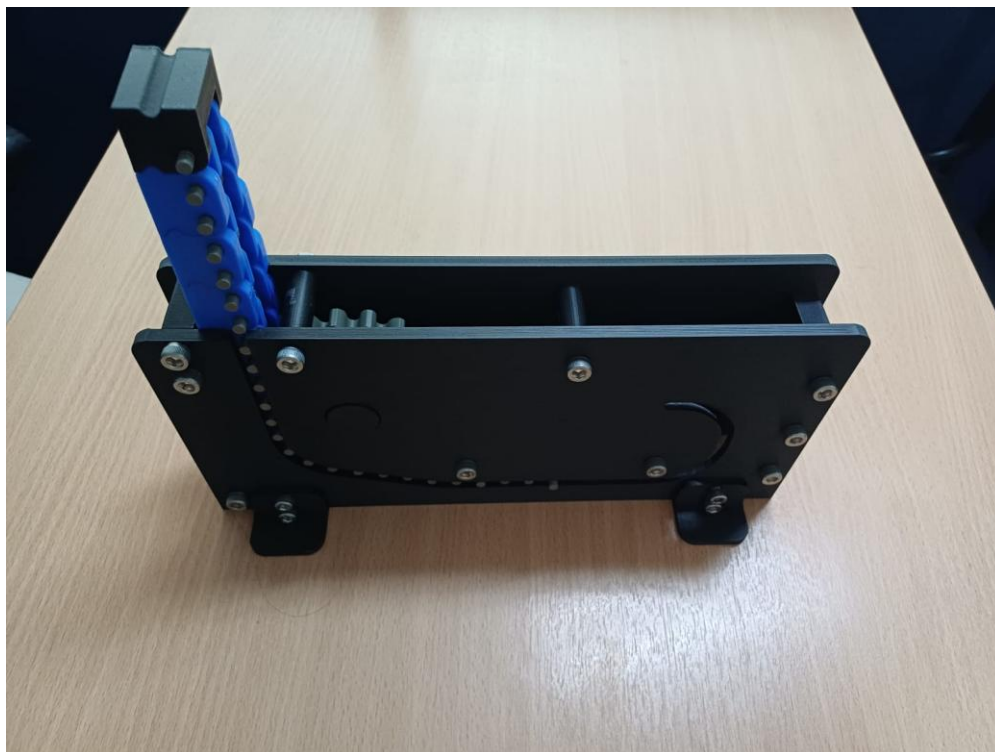


Fig. 4.21. *Carril y cadena ensamblada.*

4.25 Pruebas y validación

En esta sección se presentan las pruebas y la validación cinemática del anclaje de bajo perfil con cadena rígida, correspondientes al cumplimiento del objetivo específico 4. El propósito de estas pruebas es demostrar que el diseño mecánico propuesto funciona correctamente, que la cadena se desplaza de manera suave a lo largo del carril y que el acople entre eslabones y con el piñón garantiza la transmisión del movimiento sin atascos ni desplazamientos indeseados.

La Fig. 4.22 presenta una vista general de la cadena rígida instalada sobre el carril, en la que se aprecia la configuración de bajo perfil del mecanismo y su integración con la estructura de soporte.

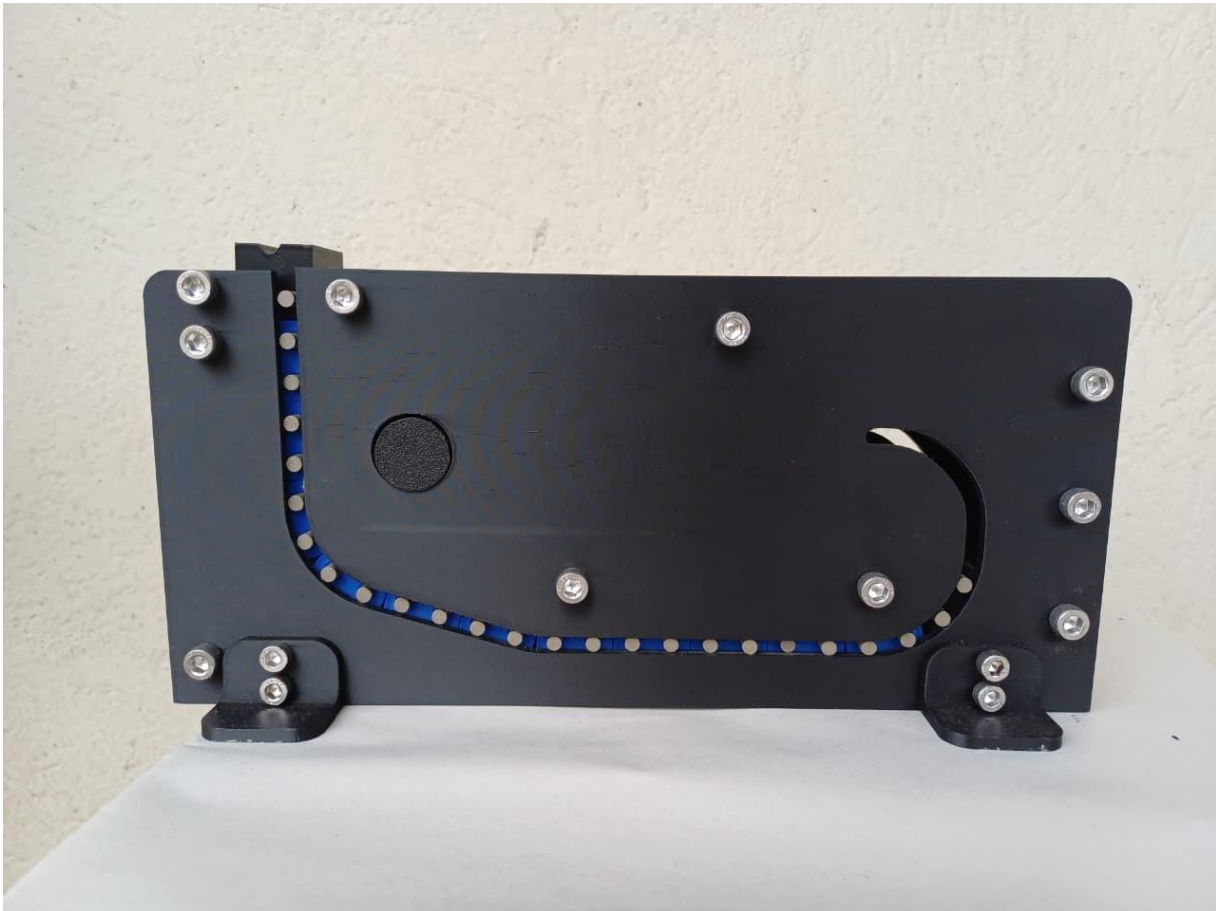


Fig. 4.22. Vista de la cadena retraída sobre el carril.

En la Fig. 4.23 se observa la cadena en su posición totalmente extendida, condición que corresponde al recorrido máximo del sistema durante el ascenso. Por otro lado, la Figura 4.25 muestra la cadena en su posición completamente retraída, lo que evidencia el correcto plegado de los eslabones dentro del carril y confirma que el mecanismo se mantiene dentro de la altura limitada establecida en el diseño.



Fig. 4.23. *Vista de la cadena completamente extendida.*

La Fig. 4.24 muestra un acercamiento del acople entre eslabones consecutivos, donde se aprecia cómo la ranura de un eslabón se engrana con el saliente del siguiente, asegurando el guiado longitudinal y evitando desplazamientos transversales durante el movimiento. Este detalle confirma que la geometría de los eslabones y la separación entre pasadores son adecuadas para garantizar un deslizamiento suave a lo largo de la guía.



Fig. 4.24. Vista del acoplamiento se los eslabones de la cadena.

Adicionalmente, en la Fig. 4.25 se presenta un acercamiento del acoplamiento de los pasadores con el piñón, donde se verifica que el perfil de los dientes y la posición de los pasadores permiten la transmisión del movimiento sin saltos ni interferencias. El funcionamiento completo del mecanismo puede observarse en el video de validación cinemática incluido en el Anexo A, donde se evidencia la transición entre las posiciones retraída y extendida de la cadena y la ausencia de atascos durante el ciclo de operación.

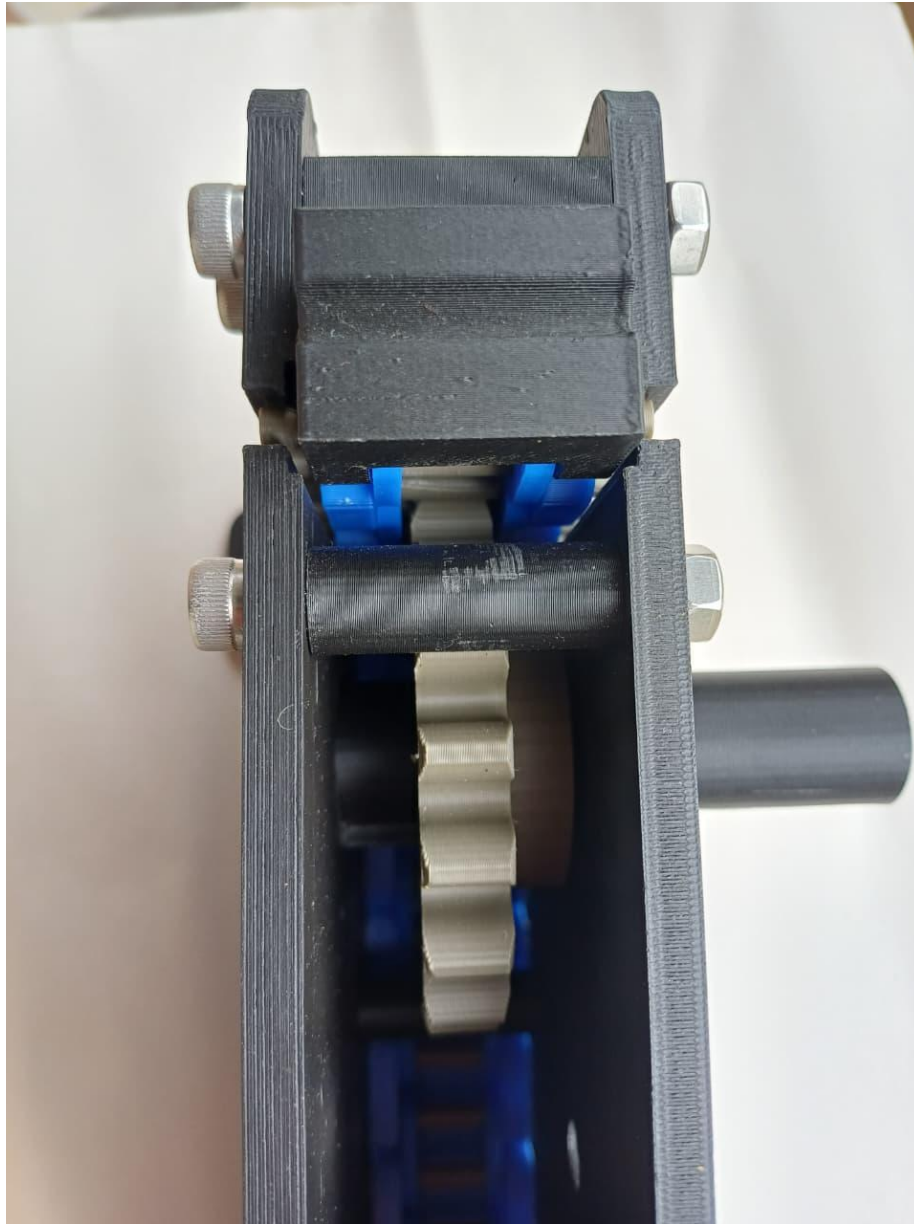


Fig. 4.25. *Vista del acoplamiento del pasador de la cadena con el piñón.*

4.26 Costos estimados

4.26.1 Costo estimado del prototipo en impresión 3D:

En la tabla 4.10 se muestran los costos de fabricación de las piezas utilizando impresión 3D en lugar de acero. Esta elección permite verificar la funcionalidad y cinemática de la cadena una vez ensamblada.

Tabla 4.10. Tabla de costos de fabricación de la pieza impresa en 3D.

Elemento	Cantidad	Descripción	Costo unitario (USD)	Total (USD)
Impresión 3D	1	6 horas de impresión (material incluido)	18	18
Perno Allen	10	(6×50×1)	0,17	1,7
Perno Allen	8	(5×12×8)	0,11	0,85
Tuerca	10	(6×1)	0,045	0,45
Transporte	1	Costo indirecto de traslado	1	1
Total, aproximado				22

El costo total es \$22. Este valor incluye la impresión 3D, los tornillos, las tuercas y el gasto de transporte. La impresión 3D reduce los costos y facilita la producción en la etapa del prototipado.

4.26.2 Costo estimado del dispositivo:

Esta tabla 4.11 presenta los costos estimados de la fabricación del dispositivo en acero, considerando cada uno de sus componentes principales.

Tabla 4.11. Costos estimados de los componentes

Elemento	Cantidad	Costo unitario (USD)	Total (USD)
Terminal	1	17,5	17,5
Eslabón	12	15	180
Juntas	24	5	120
Pasador	25	4	100
Anillo de retención	50	0,25	12,5
Piñón	1	20	20
Patitas de soporte	4	5	20
Placa de carril	2	20	40
Bocines/separadores	6	5	30
Motorreductor	1	136,40	136,40
Caja reductora	1	115,30	115,30
Sistema eléctrico	1	30	30
Total, aproximado			821,70

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se determinaron los requerimientos de diseño del anclaje de bajo perfil, estableciendo como condiciones principales una altura máxima inferior a 20 cm, una capacidad de carga superior a 3000 N y la alimentación eléctrica desde la toma de 12 V del vehículo. Estos parámetros guiaron el desarrollo geométrico, estructural y funcional del sistema.

El diseño del anclaje de bajo perfil con cadena rígida no solo cumple con los requerimientos de altura y capacidad de carga establecidos en el proyecto, sino que mantiene la altura total del mecanismo por debajo de los 20 cm definidos como restricción de diseño. En comparación con las bases desarrolladas por Conterón [1], y posteriormente optimizadas por Sánchez [2], las cuales se ubicaban en el interior del vehículo y reducían de forma apreciable la altura libre disponible, la solución propuesta se instala por debajo del chasis y funciona de manera independiente a la grúa. Esta configuración libera espacio en el interior del vehículo y mejora la movilidad del usuario y de los dispositivos de apoyo.

Las simulaciones realizadas confirman que el sistema mantiene un factor de seguridad adecuado y presenta desplazamientos mínimos en las condiciones de carga analizadas, lo que garantiza la estabilidad estructural del conjunto y valida el diseño del anclaje de bajo perfil. Estos resultados evidencian que la utilización de una cadena rígida, guiada por un carril de baja altura, es una solución conveniente para lograr un anclaje compacto que se ubique por debajo del vehículo sin comprometer la capacidad de carga. En consecuencia, se cumple el objetivo específico relacionado con el diseño y verificación estructural del anclaje, demostrando que la configuración propuesta permite alcanzar la baja altura requerida manteniendo la seguridad y la rigidez del sistema.

La impresión 3D permite fabricar el prototipo de manera rápida y económica, con un costo total de \$22, lo que demuestra su viabilidad en la etapa de prototipado.

Las pruebas cinemáticas realizadas validan el funcionamiento del mecanismo, demostrando que la cadena rígida y el piñón transmiten el movimiento sin deformaciones significativas a lo largo de todo el recorrido. Además, se verifica que el ancho de la ranura del carril es el adecuado para permitir un deslizamiento suave de la cadena, sin bloqueos ni roces excesivos. Las extensiones de los pasadores resultan indispensables para guiar la cadena dentro del carril, asegurando su apoyo continuo sobre la superficie de contacto. De igual manera, el acople entre eslabones se comporta de forma correcta, evitando desplazamientos transversales y manteniendo la alineación del conjunto. En conjunto, estos resultados confirman que la geometría propuesta para la cadena rígida y su guía es funcional y conveniente para la aplicación de anclaje de baja altura.

El sistema eléctrico se alimenta desde la toma del vehículo, lo que asegura compatibilidad y facilidad de instalación; además, presenta una configuración sencilla y fácil de implementar.

Recomendaciones

Asegurar fondos para construir el dispositivo con acero.

El prototipo se fabricará en acero mediante mecanizado CNC, con el fin de validar el diseño en aplicaciones definitivas.

Realizar pruebas de fatiga y desgaste para garantizar la durabilidad del sistema bajo condiciones reales de operación.

Optimizar el diseño del piñón y de los eslabones para reducir el peso sin comprometer la resistencia estructural.

Incorporar sistemas adicionales de protección eléctrica para mejorar la seguridad del circuito.

Evaluar la integración de sensores y sistemas de control electrónico con el propósito de automatizar el funcionamiento del anclaje.

Bibliografía

- [1] E. Conteron, Diseño y construcción de una base portátil para un dispositivo para traslado de personas con discapacidad motriz entre sillas de ruedas y automoviles, Ibarra: UTN, 2016.
- [2] J. Sanchez, Dispositivo mejorado para traslado de personas con discapacidad motriz entre sillas de ruedas y automoviles: Base, Ibarra: UTN, 2018.
- [3] Q'Straint, «Q'Straint,» [En línea]. Available: <https://www.qstraint.com/slide-n-click/>. [Último acceso: 10 Noviembre 2024].
- [4] Nuevo Talleres CODA, «Nuevos Talleres CODA,» [En línea]. Available: <https://nuevostallerescodacom/producto/sistema-retencion-anclaje-tran-rs-ue/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2024].
- [5] TraceParts S.A., «TraceParts,» [En línea]. [Último acceso: 5 Noviembre 2024].
- [6] E. Marmon, S. Nordin y J. B. Johansson, «DISPOSITIF DE SÉCURITÉ POUR FAUTEUIL ROULANT». Patente EP1747386B1, 23 Diciembre 2009.
- [7] R. B. MacGregor, «Wheelchair securement device». Oficina de Patentes y Marcas de EE. UU. Patente US9150034B2, 6 Octubre 2015.
- [8] Y. Ding, «Wheelchair fixing device». Oficina Nacional de Propiedad Intelectual de China Patente CN109268460B, 7 Febrero 2020.
- [9] T. C. CO., «Unidad de cadena de acoplamiento». España Patente 2 759 580, 12 Octubre 2012.
- [10] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Shigley's Mechanical Engineering Design, 10th ed., New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [11] Todo para la industria, «Todo para la Industria,» Definición de un Motorreductor y Cómo Funciona, [En línea]. Available: <https://todoparalaindustria.com/blogs/blog/definicion-de-un-motorreductor-y-como-funciona>.
- [12] Metal Zenith, «Metal Zenith,» Austenitic Manganese Steel (Hadfield): Properties & Key Applications, 17 Mayo 2025. [En línea]. Available: <https://metalzenith.com/es/blogs/steel-properties/austenitic-manganese-steel-hadfield-properties-key-applications>. [Último acceso: 22 Junio 2025].
- [13] Y. I. Technology, «AliExpress,» 2 Noviembre 2025. [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/1005008632020036.html#nav-specification>.
- [14] R. p. Nema43, «AliExpress,» 2 Noviembre 2025. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/1005008755526640.html?spm=a2g0o.productlist.main.9.5c5bUZnnUZnnkw&algo_pvid=a02a0995-923b-40b4-838a-d3f99b821165&algo_exp_id=a02a0995-923b-40b4-838a-d3f99b821165-

8&pdp_ext_f=%7B%22order%22%3A%22%22%2C%22eval%22%3A%221%22%2C.

- [15] Shoptronica, «Shoptronica,» Interruptor de palanca ON-OFF-ON 10A 12V, 2022. [En línea]. Available: <https://www.shoptronica.com/interruptores-palanca-y-dip-switch/2367-interruptor-de-palanca-on-off-on-10a-12v-0689593941831.html>. [Último acceso: 27 Junio 2025].
- [16] Bussmann, «Amazon,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/Paquete-fusibles-cartucho-amperios-Micro/dp/B0CWKHDD7C?th=1>. [Último acceso: 26 Junio 2025].
- [17] Vistronica, «Vistronica,» Controlador PWM de velocidad de motor DC 12V-40V 10A, 2025. [En línea]. Available: https://www.vistronica.com/robotica/controlador-pwm-de-velocidad-de-motor-dc-12v-40v-10a-detail.html?utm_source=chatgpt.com. [Último acceso: 23 Julio 2025].

ANEXOS

Anexo A: Video explicativo del dispositivo.

[TESIS - DAVID PATIÑO.mp4](#)

Anexo B: Ficha técnica del acero

Industeel CREUSABRO® M Wear Resistant Steel

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Carbon Steel](#); [High Carbon Steel](#)

Material Description: CREUSABRO® M is a high Manganese, fully austenitic, quench annealed, non magnetic, work-hardening steel with an exceptionally high level of wear resistance when subjected to work-hardening by shock or high impact pressure in service. The main characteristics is a superior wear resistance: Severe wear on the surface has a work-hardening effect on the austenitic structure of this steel. This, when combined with the level of carbon in accordance with the international standards, leads to an increase in hardness from 200BHN (in as delivered plates) up to an in-service hardness of at least 600BHN. This work-hardening capability renews itself through out in-service life. The underlayers not work-hardened maintain an excellent resistance to shock and a very high ductility.

Information provided by manufacturer.

Key Words: AFNOR Z120M12, EURONORM X120Mn12, WERKSTOFF Nbr W1.3401, OTHER STANDARD "HADFIELD", ASTM A128 Grade B2

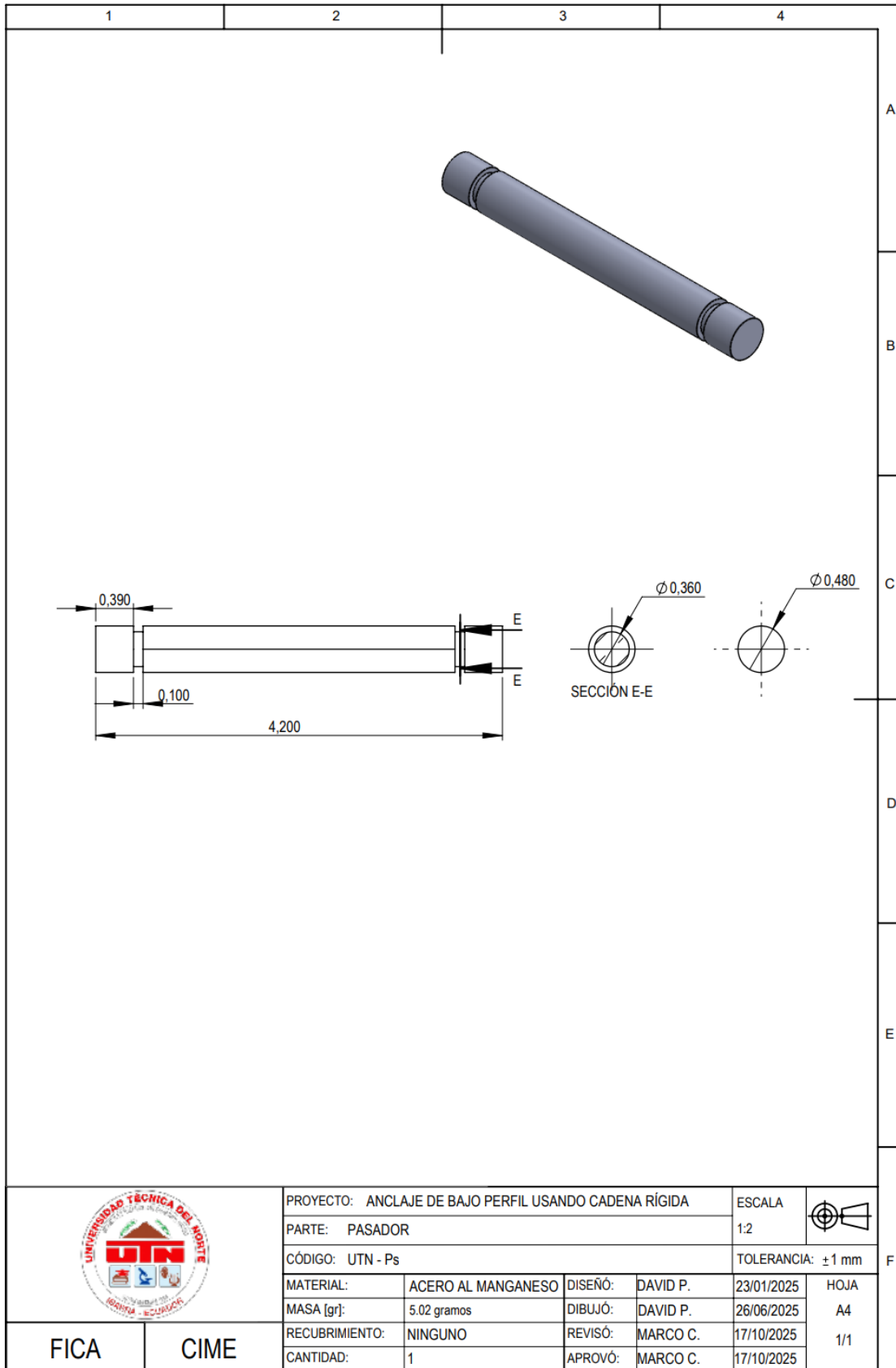
Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	>= 600	>= 600	Typical

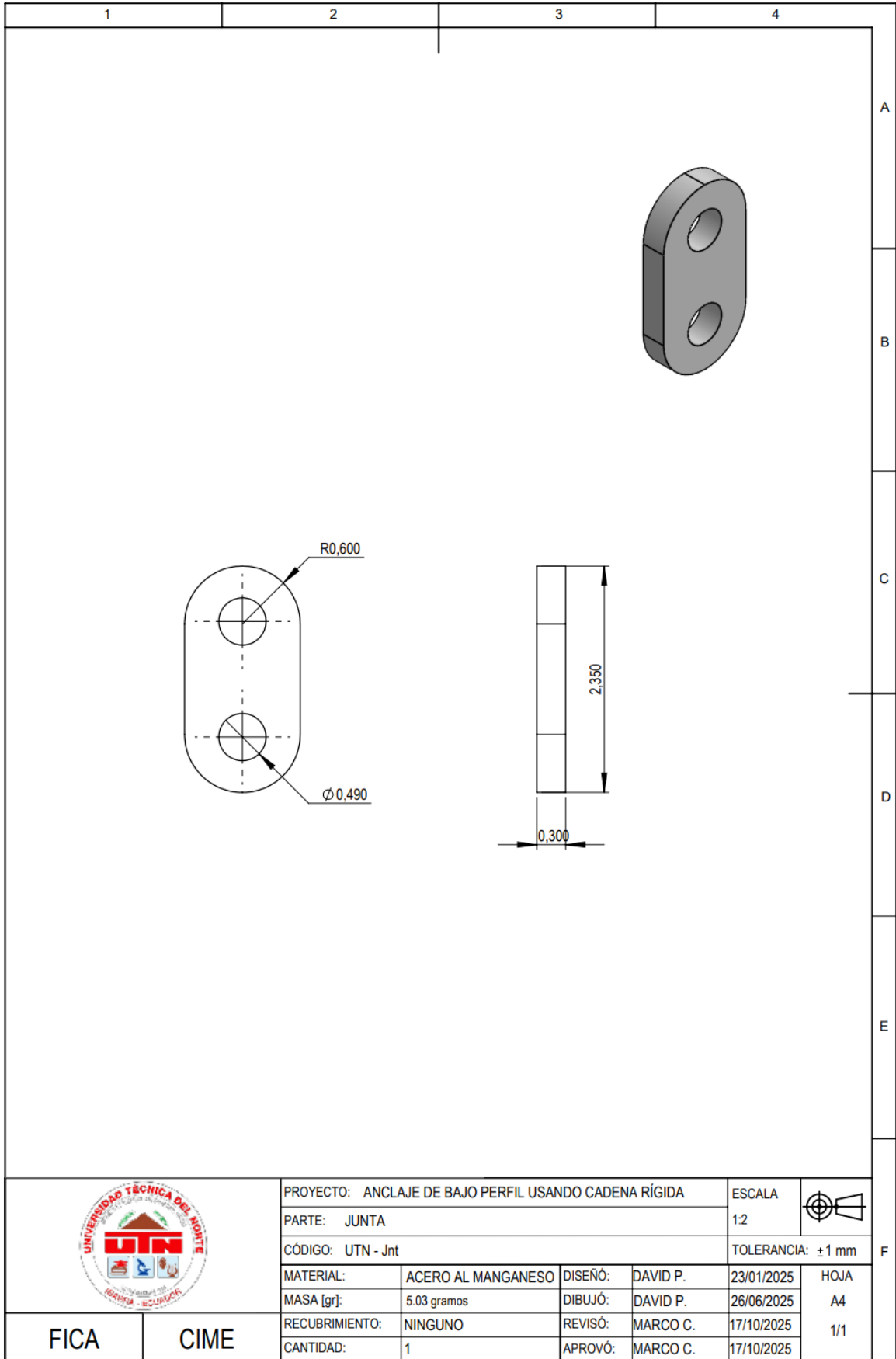
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	1.15 %	1.15 %	
Iron, Fe	85.448 - 85.45 %	85.448 - 85.45 %	As remainder
Manganese, Mn	13 %	13 %	
Silicon, Si	0.40 %	0.40 %	
Sulfur, S	<= 0.0020 %	<= 0.0020 %	

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

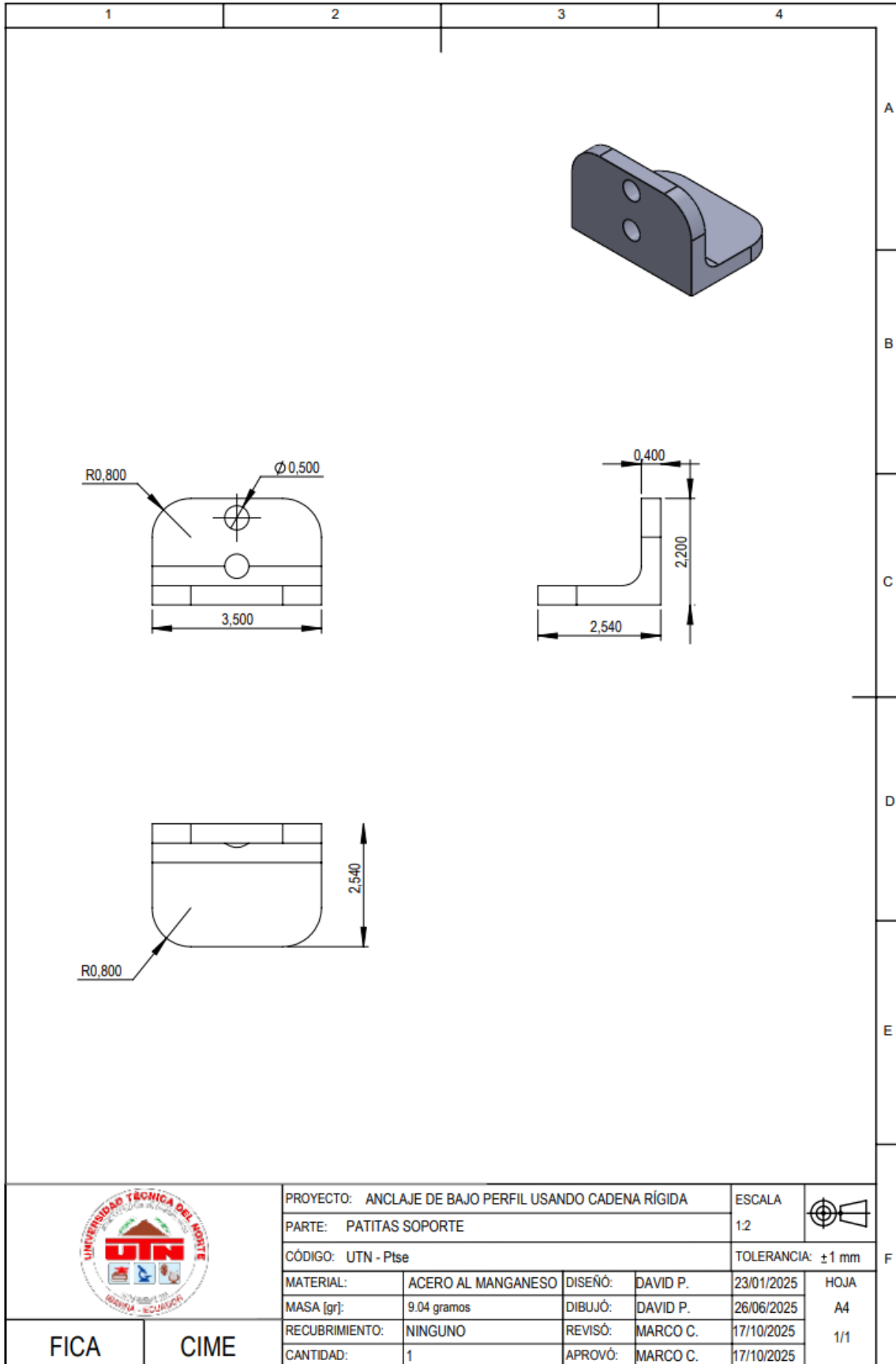
Anexo C: Planos del dispositivo (Pasador)



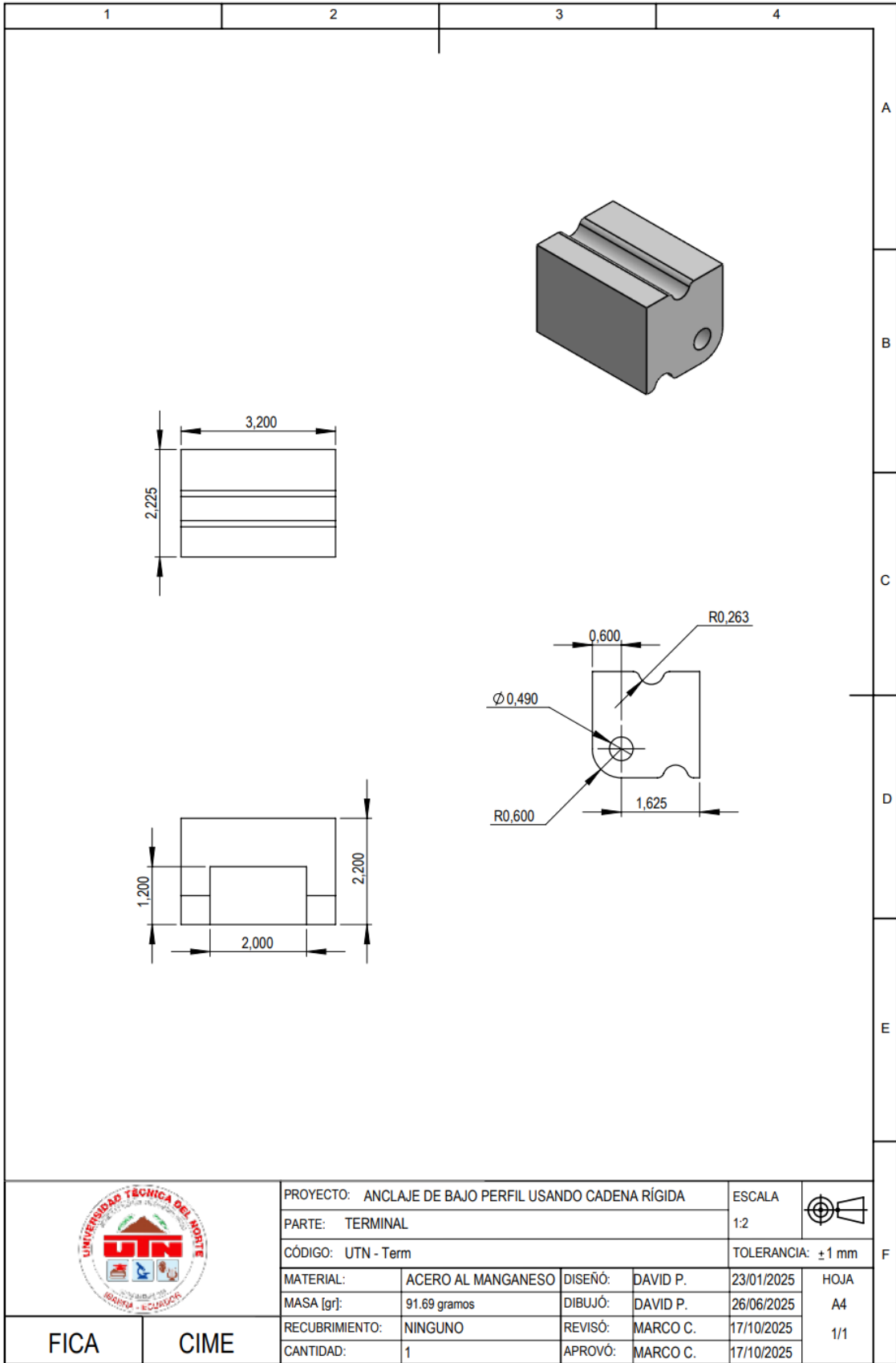
Anexo D: Planos del dispositivo (Junta)



Anexo E: Planos del dispositivo (Patitas soporte)



Anexo F: Planos del dispositivo (Terminal)

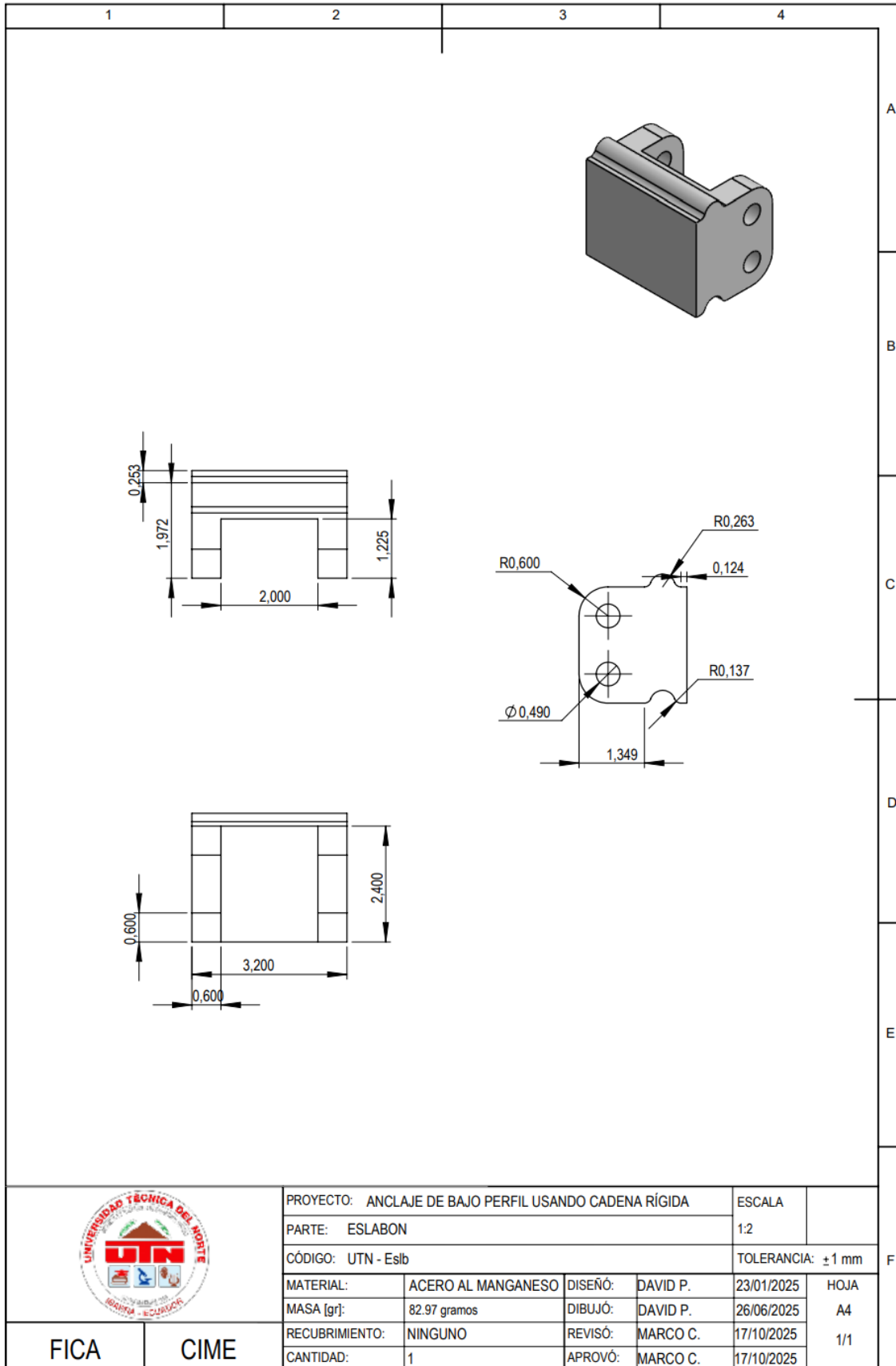


PROYECTO: ANCLAJE DE BAJO PERFIL USANDO CADENA RÍGIDA				ESCALA	
PARTE: TERMINAL				1:2	
CÓDIGO: UTN - Term				TOLERANCIA: ± 1 mm	
MATERIAL:	ACERO AL MANGANESO	DISEÑO:	DAVID P.	23/01/2025	HOJA
MASA [gr]:	91.69 gramos	DIBUJÓ:	DAVID P.	26/06/2025	A4
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MARCO C.	17/10/2025	1/1
CANTIDAD:	1	APROVÓ:	MARCO C.	17/10/2025	

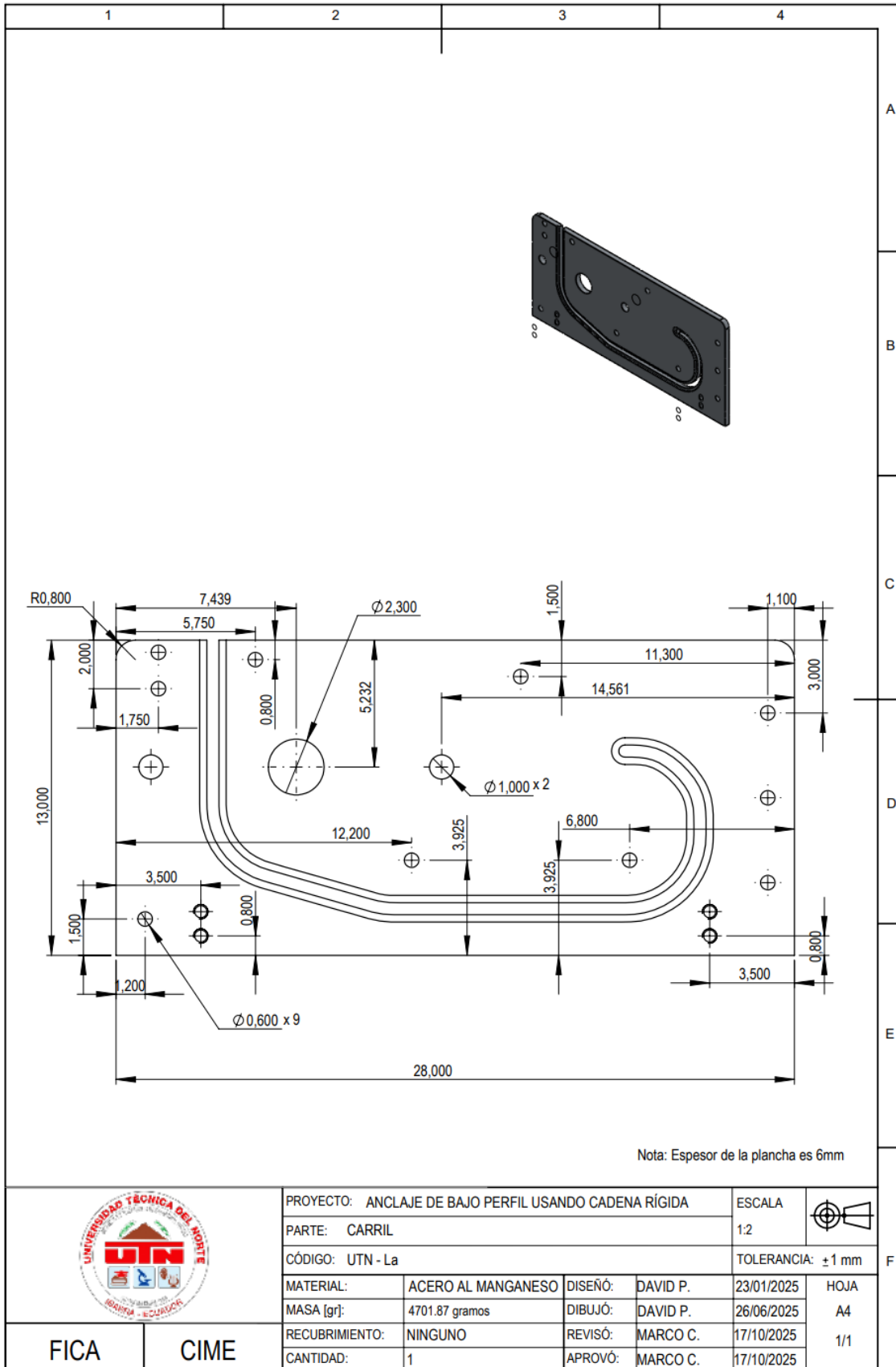
FICA

CIME

Anexo G: Planos del dispositivo (Eslabón)



Anexo H: Planos del dispositivo (Carril estructura)



Nota: Espesor de la plancha es 6mm

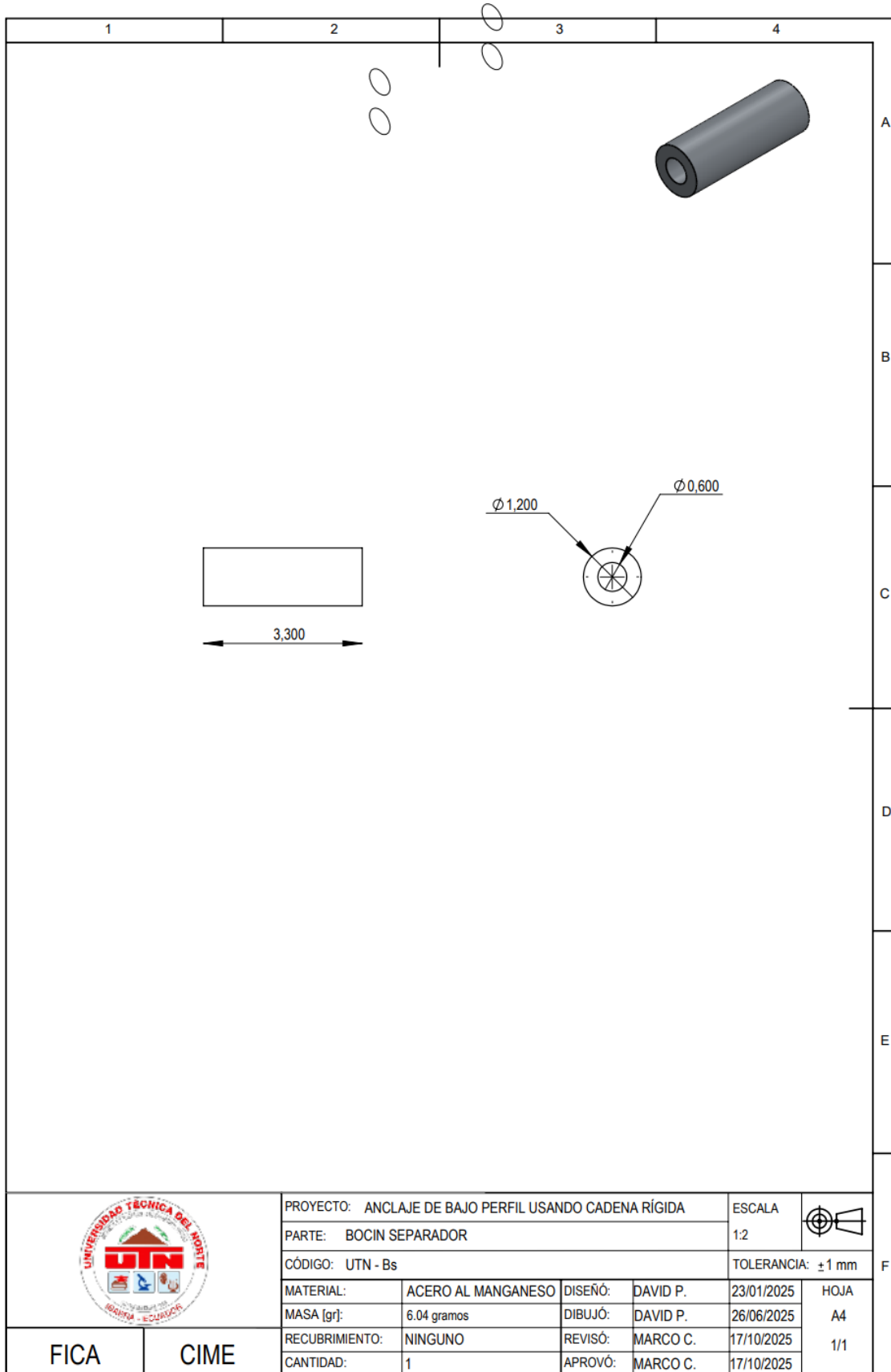


PROYECTO: ANCLAJE DE BAJO PERFIL USANDO CADENA RÍGIDA		ESCALA	
PARTE: CARRIL		1:2	
CÓDIGO: UTN - La		TOLERANCIA: ±1 mm	
MATERIAL:	ACERO AL MANGANESO	DISEÑO:	DAVID P.
MASA [gr]:	4701.87 gramos	DIBUJÓ:	DAVID P.
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MARCO C.
CANTIDAD:	1	APROVÓ:	MARCO C.
		23/01/2025	HOJA
		26/06/2025	A4
		17/10/2025	1/1
		17/10/2025	

FICA

CIME

Anexo I: Planos del dispositivo (Bocín separador)

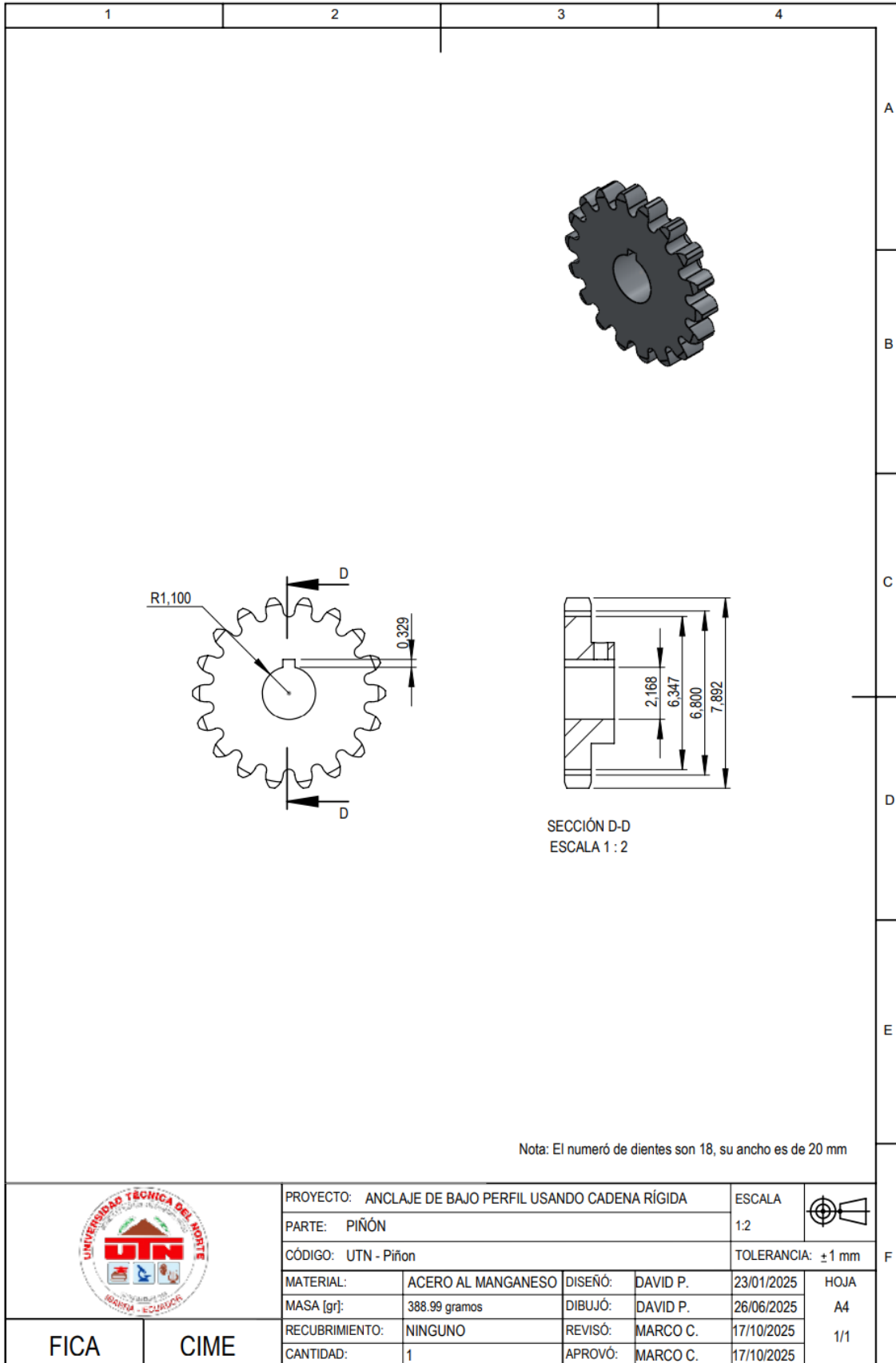


PROYECTO: ANCLAJE DE BAJO PERFIL USANDO CADENA RÍGIDA		ESCALA			
PARTE: BOCIN SEPARADOR		1:2			
CÓDIGO: UTN - Bs		TOLERANCIA: ±1 mm			
MATERIAL:	ACERO AL MANGANESO	DISEÑO:	DAVID P.	23/01/2025	HOJA A4 1/1
MASA [gr]:	6.04 gramos	DIBUJÓ:	DAVID P.	26/06/2025	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MARCO C.	17/10/2025	
CANTIDAD:	1	APROVÓ:	MARCO C.	17/10/2025	

FICA

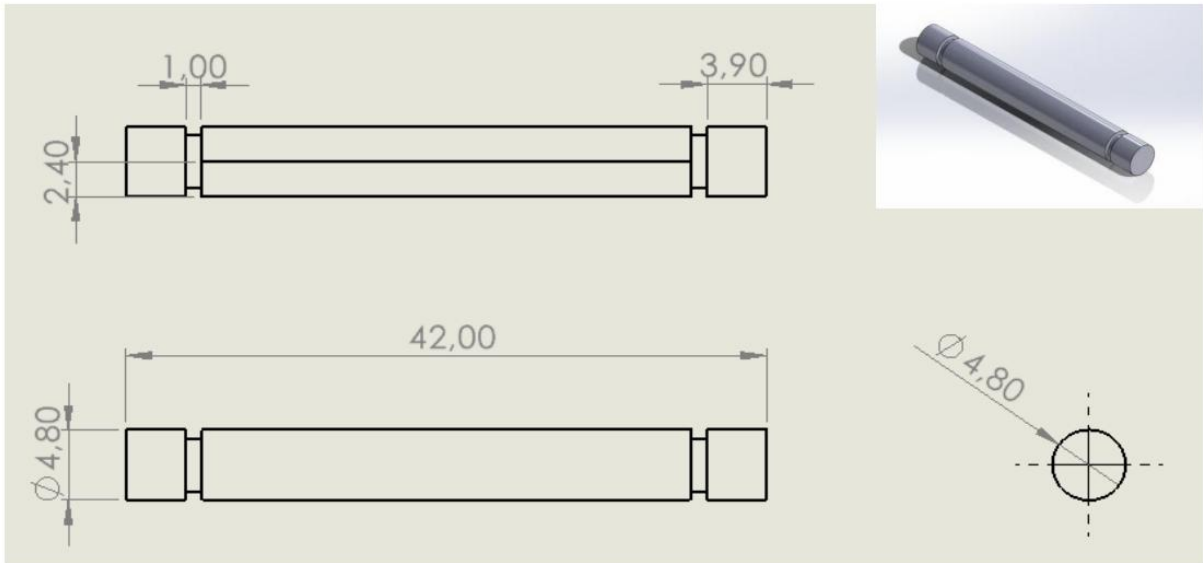
CIME

Anexo J: Planos del dispositivo (Piñón)



Anexo K: Hojas de procesos del dispositivo (Pasador)

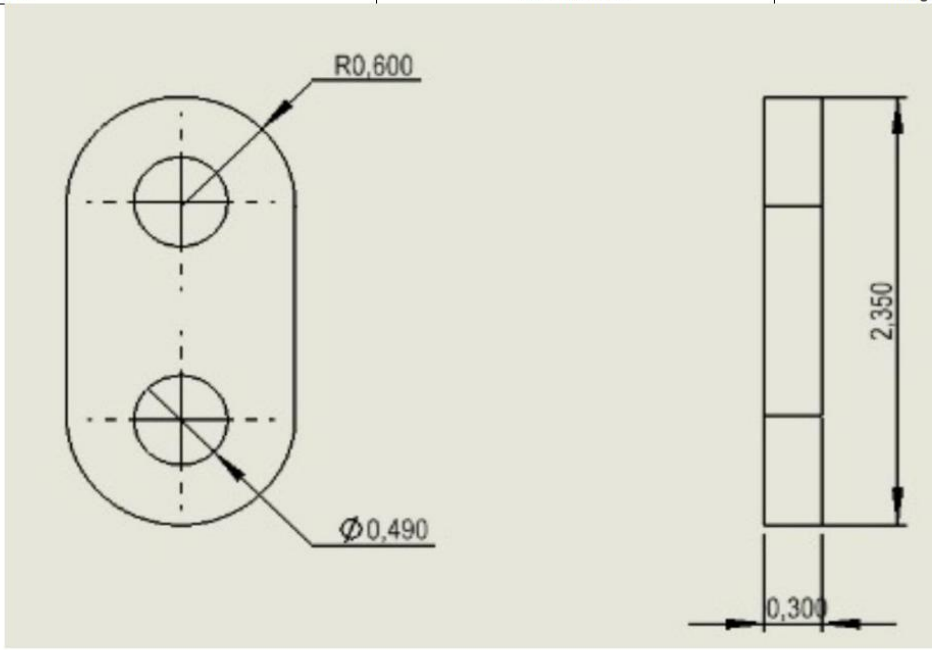
Proyecto	Anclaje de bajo perfil usando cadena rígida	Plano Nro.	1	Tra. Nro	1	Fecha:	10/11/2025
Pieza	Pasador			Hoja:	1		
Material	Acero al manganeso	Dimensiones en bruto	6mm diámetro x 45 mm largo				
Realizado por: David Patiño,		Observaciones:	Ninguna				



Fase	Subfase	Operación	Denominación	Croquis	Herramientas/ control/ indicaciones	N (rpm)	Va (mm/min)	t (min)
1. Configuración inicial	1. Preparación	1	Montar barra de Ø6mm en mandril sobresaliendo.		Equipo de torno CNC, barra de acero al manganeso en bruto.			5
		2	Tomar origen de la pieza.					
2. Mecanizado sobre cara A	1. Refrentar cara A	1	Ejecutar el refrentado manualmente (Cara A).		Equipo de torno CNC, barra de acero al manganeso.	1200	100	10
		2	Verificar que la pieza esté centrada correctamente.					
3. Mecanizado en lado B	1. Referencia Z0	1	Sin mover la referencia del eje Z, se configura la definición del 0 pieza		Equipo de torno CNC, barra de acero al manganeso.			2
		2	Verificar la coordenada guardada					
	2. Cilindrado	1	Ejecutar el código ya configurado con paso y eje para avanzar en el eje x.		Equipo de torno CNC, barra de acero al manganeso, micrómetro.	1500	100	15
		2	Parar husillo					
3		Verificar medida con micrómetro						
4. Ranurado	1. Selección de herramienta	1	Cambio de herramienta mediante código		Equipo de torno CNC, barra de acero al manganeso, herramienta de ranurado.			5
		2	Se hace una inspección visual del movimiento de la herramienta					
	2. Operación final	1	Ejecutar el código de ranurado.		Equipo de torno CNC, barra de acero al manganeso, micrómetro.	1800	120	10
		2	Verificar medida con micrómetro					
		3	Retirar pieza de torno					
								47
					Tiempo total			

Anexo L: Hojas de procesos del dispositivo (Junta)

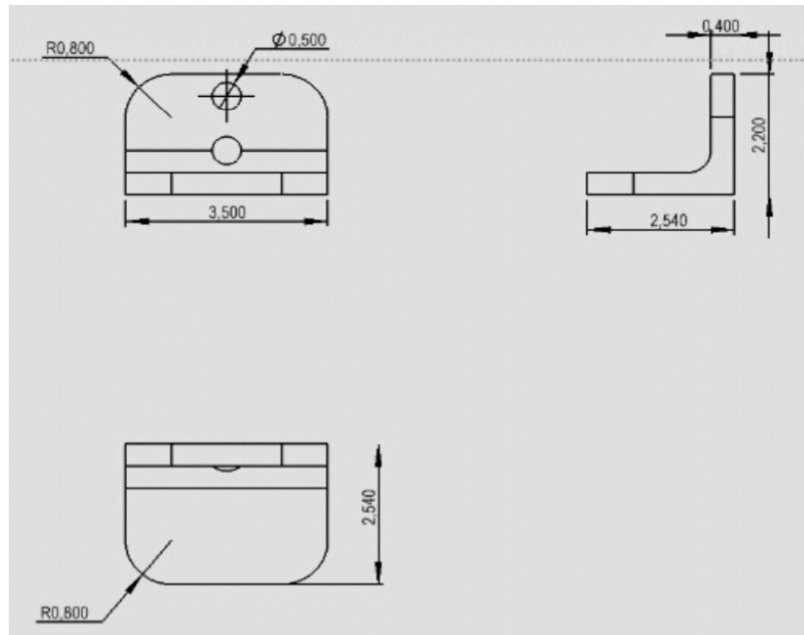
Proyecto	Anclaje de bajo perfil usando cadena rígida	Plano Nro.	2	Tra. Nro	2	Fecha:	10/11/2025
Pieza	Junta			Hoja:	2		
Material	Acero al manganeso	Dimensiones en bruto	Lámina de 2.35x2.35mm y espesor 0.09"				
Realizado por: David Patiño,		Observaciones:			Ninguna		



Fase	Subfase	Operación	Denominación	Croquis	Herramientas/ control/ indicaciones	N (rpm)	Va (mm/min)	t (min)
1. Corte de Plancha	1. Preparación	1	Cortar lámina a medida para optimizar material.		Tijeras o Cizalla para metal, Calibrador			5
		2	Verificar medidas usando vernier pie de rey					
2. Troquelado	1. Refrentar cara A	1	Fijar plancha en prensa troqueladora.		Troquel de Corte, Anillos de Go/No-Go			5
		2	Troquelar pieza completa.					
3. Acabado opcional	1. Referencia Z0	1	Limpiar rebabas.		Lija fina de pulidora			3
		2	Revisar acabado final					
4. Verificación	1. Selección de herramienta	1	Verificar dimensiones usando herramientas de medición		Pie de Rey, Anillos de Go/No-Go			2
		2	Análisis de calidad superficial					
					Tiempo total			15

Anexo M: Hoja de procesos del dispositivo (Patitas soporte)

Proyecto	Anclaje de bajo perfil usando cadena rígida	Plano Nro.	3	Tra. Nro	3	Fecha: 10/11/2025
Pieza	Patitas de soporte			Hoja:	3	
Material	Acero al manganeso	Dimensiones en bruto	Placa de 2,54"x3,5" con espesor de 0.25"			
Realizado por:	David Patiño,	Observaciones:	Ninguna			



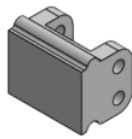
Fase	Subfase	Operación	Denominación	Croquis	Herramientas/ control/ indicaciones	N (rpm)	Va (mm/min)	t (min)
1. Configuración inicial	1. Preparación	1	Cortar placa a dimensiones externas.		Equipo de torno CNC, barra de Prensa, Mordazas Paralelas al manganeso en bruto.			3
		2	Verificar medidas usando vernier pie de rey					
2. Mecanizado de contorno	1. Fresado	1	Sujetar pieza en mesa de trabajo.		Fresa de Radio R0.800, Fresadora CNC.			8
		2	Fresar radios R0.800 en las 4 esquinas.					
3. Taladrado	1. Referencia	1	Colocar la pieza sujeta a la base del banco de taladro con mordazas.		Lijadora o Lima, Aire Comprimido y Brocas, Plantilla de Taladro			5
		2	Configurar las rpm del taladro para evitar desgaste del material y herramienta					
4. Acabado	1. Selección de herramienta	1	Eliminar rebabas y limpiar pieza		Lijadora o Lima, Aire Comprimido			5
		2	Controla el evitar bordes cortante.					
	2. Verificación final	1	Se hace una inspección visual del estado de la pieza		Equipo de Calibrador, Galiba R0.800			4
		2	Verificar medida con micrómetro					
					Tiempo total			25

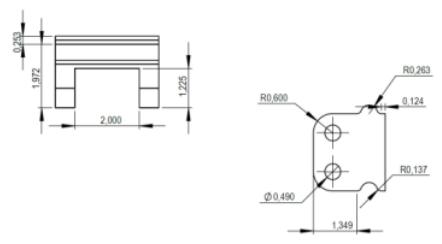
Anexo N: Hoja de procesos del dispositivo (Terminal)

Proyecto	Ancilaje de bajo perfil usando cadena rígida		Plano Nro.	1	Tra. Nro	1	Fecha:	10/11/2025
Pieza	Terminal				Hoja:	4		
Material	Acero al manganeso		Dimensiones en bruto	5mm x 5mm				
Realizado por: David Patiño,			Observaciones:			Ninguna		
Fase	Subfase	Operación	Denominación	Croquis	Herramientas/ control/ indicaciones	N (rpm)	Va (mm/min)	t (min)
1. Preparación	1. Preparación	1	Montar barra en mordaza		Fresadora CNC, mordaza			5
2. Referencia	1. Referenciar cara A	2	Referenciar caras X, Y, Z		Sistema de palpado CNC			3
3. Corte inicial	1. Referencia Z0	1	Fresado para llevar a 5x5 mm		Fresa plana Ø10 mm	2500	180	8
					Fresa de ranurar Ø3 mm	3000	200	6
4. Ranurado	1. Selección de herramienta	1	Fresado ranura 3.2 mm		Broca Ø4 mm	1800	120	4
					Fresa plana Ø10 mm	2500	180	5
5. Taladrado	Perforar un agujero pasante de 4mm	1	Taladrado en posición indicada		Broca Ø4 mm	1800	200	5
6. Acabado	Mejorar la superficie de la cara	2	Refrentado y verificación final		Fresa plana Ø10 mm	2000	180	
Tiempo total								41

Anexo O: Hoja de procesos del dispositivo (Eslabón)

Proyecto	Aclaje de bajo perfil usando cadena rígida	Plano Nro.	1	Tra. Nro	1	Fecha:	10/11/2025
Pieza	Eslabon			Hoja:	5		
Material	Acero al manganeso	Dimensiones en bruto	5mm x 5mm				
Realizado por:	David Patiño,	Observaciones:	Ninguna				





Fase	Subfase	Operación	Denominación	Croquis	Herramientas/control/ indicaciones	N (rpm)	Va (mm/min)	t (min)
1. Preparación	Sujetar la pieza en cnc	1	Montar bloque en mordaza y verificar sujeción		Fresadora CNC, mordaza, liquido refrigerante			8
			Limpiar superficie y aplicar refrigerante					
2. Referencia	Alinear pieza	2	Referenciar caras X, Y, Z con palpador		Cepillo, liquido refrigerante			2
			Ajustar coordenadas en control CNC					
3. Mecanizado inicial	Obtener dimensiones básicas	1	Fresado para llevar a medidas generales		Panel CNC			6
			Verificar medidas con calibrador		Fresa de ranurar Ø8 mm			2
4. Ranurado	Crear ranura superior	1	Fresado ranura 0.253"		Fresa plana Ø16 mm			5
			Verificar profundidad con micrómetro		Calibrador Vernier			3
5. Taladrado	Perforar agujeros Ø0.490"	1	Taladrado en posición indicada		Fresa de acabado Ø10 mm			5
			Cambio de herramienta y verificación					
6. Contorneado	Generar radios y forma exterior	2	Fresado contomo con radios internos		Fresa plana Ø16 mm			8
			Verificar radios con galgas					
7. Acabado	Mejorar superficie y tolerancias	1	Refrentado y verificación final		Paño, calibrador Vernier			8
			Limpieza y control dimensional final					
					Tiempo total			47

Anexo P: Hoja de procesos del dispositivo (Carril estructura)

