



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

TEMA:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO
DE MODALIDAD VELOCIDAD DE ESCALADA DEPORTIVA”**

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

Línea de investigación: Diseño de prototipos

Autor:

Ronaldo Xavier Anguaya Isama

Director:

MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría

Asesor:

MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre

Ibarra, Octubre 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:	100485469-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Anguaya Isama Ronaldo Xavier		
DIRECCIÓN:	Imbabura, Otavalo, San Rafael		
EMAIL:	rxaguayai@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0968865230

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO DE MODALIDAD VELOCIDAD DE ESCALADA DEPORTIVA
AUTOR (ES):	Anguaya Isama Ronaldo Xavier
FECHA: DD/MM/AAAA	27/10/2025
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
DIRECTOR/ ASESOR:	Cosme Mejía / Fernando Valencia

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) 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 (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 27 días del mes de Octubre de 2025

EL AUTOR:

.....

Nombre: Ronaldo Xavier Anguaya Isama



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

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 27 de Octubre de 2025

MSc. COSME DAMIÁN MEJÍA ECHEVERRÍA

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).....

MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría
C.C.: 1002641288



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

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO DE MODALIDAD VELOCIDAD DE ESCALADA DEPORTIVA” elaborado por RONALDO XAVIER ANGUAYA ISAMA, 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).....

MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría
C.C.: 1002641288

f).....

MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre
C.C.: 1003188669

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi fortaleza, mi guía y sabiduría en este proceso de formación académica.

A mis padres, quienes con amor, sacrificio y apoyo incondicional me han acompañado en cada paso de mi vida. Me enseñaron que el esfuerzo, la perseverancia y la dedicación son pilares fundamentales para alcanzar los sueños.

A mis hermanos, por su apoyo y sus palabras de aliento en los momentos difíciles y por ser un ejemplo constante de superación. Su apoyo ha sido una fuente de motivación para alcanzar las metas con determinación.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte por haberme brindado la oportunidad de formarme como profesional.

Mi agradecimiento especial a mis compañeros y docentes, quienes, con su dedicación, paciencia compartieron sus conocimientos y me motivaron a seguir adelante.

Extiendo mi profundo agradecimiento a mi tutor de tesis, MSc. Cosme Mejía, y Asesor MSc. Fernando Valencia, por su guía, sus valiosas observaciones y su constante disposición para compartir sus conocimientos, elementos que fueron esenciales para culminar con éxito este trabajo.

RESUMEN

La presente investigación aborda el diseño y simulación de un sistema de entrenamiento alivianado para la modalidad de escalada de velocidad, con el objetivo de optimizar el rendimiento deportivo y además de evitar lesiones. Ante la ausencia de un equipo específico en la ciudad de Ibarra, se desarrolló una propuesta ingenieril basada en las investigaciones teóricas, revisión de dispositivos similares en el mercado local. La metodología incluyó fases de análisis de requerimientos del usuario, modelado 3D, simulación y validación mediante software de ingeniería. Se propusieron tres alternativas de solución, que se evaluaron mediante ponderación de criterios, seleccionando la opción que integra un motor eléctrico, poleas de alta resistencia, cuerda dinámica y un sistema de control basado en ESP32 con interfaz digital. El sistema proporcionará asistencia durante el ascenso del escalador, control de velocidad y fuerza aplicada, permitirá un entrenamiento personalizado y seguro. Este sistema está orientado a deportistas, entrenadores y centros de entrenamiento. Su implementación en investigaciones posteriores contribuirá al desarrollo del deporte en la localidad, elevando el nivel de competitividad de los atletas y además reduciendo la fatiga en la práctica de la escalada de velocidad.

Palabras clave: Sistema, entrenamiento, escalada, velocidad.

ABSTRACT

This research addresses the design and simulation of a lightweight training system for speed climbing, with the aim of optimizing athletic performance and preventing injuries. Given the lack of specific equipment in the city of Ibarra, an engineering proposal was developed based on theoretical research and a review of similar devices on the local market. The methodology included phases of user requirements analysis, 3D modeling, simulation, and validation using engineering software. Three alternative solutions were proposed, which were evaluated by weighting criteria, selecting the option that integrates an electric motor, high-strength pulleys, dynamic rope, and a control system based on ESP32 with a digital interface. The system will provide assistance during the climber's ascent, control of speed and force applied, and allow for personalized and safe training. This system is aimed at athletes, coaches, and training centers. Its implementation in further research will contribute to the development of the sport in the locality, raising the level of competitiveness of athletes and also reducing fatigue in speed climbing.

Keywords: System, training, climbing, speed.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	ii
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	iv
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
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	3
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	4
2.1 Antecedentes	4
2.2 Bases Teóricas	6
2.2.1 La escalada.....	6
2.2.2 Análisis del movimiento	6
2.2.3 Fundamentos fisiológicos de la escalada.....	8
2.2.4 Variables psicológicas	11
2.3 Modalidades	11
2.4 Sistemas de entrenamiento	12
2.5 Máquinas existentes en el mercado.....	14
2.6 Selección del software para la simulación	22
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO	23
3.1 Enfoque y tipos de investigación.....	23
3.2 Diseño de la Investigación.....	24

3.2.1	Fase 1: De terminación de los parámetros mínimos de diseño de los sistemas de escalada deportiva utilizados en la actualidad.	24
3.2.2	Fase 2: Diseño del sistema de entrenamiento alivianado de acuerdo con los parámetros establecidos.....	25
3.2.3	Fase 3: Simulación del sistema en software de ingeniería para determinar el su funcionamiento.....	26
3.2.4	Fase 4: Validación mediante simulación del sistema de entrenamiento alivianado de modalidad velocidad de escalada deportiva.....	26
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		27
4.1	Especificaciones del sistema a diseñar.....	27
4.1.1	Requerimientos del usuario / Ingeniero.....	27
4.2	Parámetros de diseño	28
4.2.1	Funcionamiento del sistema	29
4.3	Elección de alternativas de solución	32
4.3.1	Matriz morfológica	32
4.3.2	Alternativas de solución	33
4.3.3	Elección de la mejor solución	35
4.4	Diseño del sistema	37
4.4.1	Propuesta de solución	37
4.4.2	Diseño del sistema de entrenamiento	38
4.4.3	Descripción de los principales elementos que integran en la solución propuesta para el sistema de entrenamiento alivianado para escalada de velocidad.	45
4.4.4	Diseño estructural	53
4.4.5	Diseño eléctrico y electrónico	59
4.5	Simulación del sistema diseñado	69
4.5.1	Simulación del sistema propuesto	70
4.5.2	Simulación de la viga	70
4.6	Validación.....	76
4.6.1	Análisis de los resultados	76
CONCLUSIONES		78
RECOMENDACIONES		79
REFERENCIAS.....		80
ANEXOS		84
ANEXO A. Código ESP32		84

ANEXO B. Código de aplicación.....	88
ANEXO C. Planos.....	96
ANEXO D. Hoja de procesos	97
ANEXO E. Catálogos.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Contracciones musculares: a) contracción isométrica, b) contracción concéntrica, c)contracción excéntrica [19].	7
Fig. 2. Esquema de la distribución de la fuerza [23].	9
Fig. 3. Flexibilidad del atleta en la escalada [24].	10
Fig. 4. Suspensiones máximas con lastre [28]......	13
Fig. 5. Ejercicios de dominada [29]......	13
Fig. 6. Pendiente máxima de la curva fuerza - tiempo (RFD) [30].	14
Fig. 7. Ángulo de ascenso de la estación de escalada (Climbstation) hasta 45° [32]......	16
Fig. 8. Máquina de entrenamiento Quantum 1080 [34].	16
Fig. 9. Curva de fuerza-velocidad de un músculo [36].	17
Fig. 10. Máquina Laddermil-2 [37]......	18
Fig. 11. Máquina de escalada Treadwall Max 6/12 rotating wall [38]......	19
Fig. 12. Dispositivo 1080 sprint [40]......	20
Fig. 13. Un ejemplo de prueba 5-0-5 arranque en parada, comenzando hacia la máquina con una fuerza de tracción de 6kg(1A) y una fuerza de resistencia de 3kg(1B) [13].	21
Fig. 14. Demostración del tiempo y velocidad en tiempo real [13].	21
Fig. 15. Diagrama de flujo métodos de investigación utilizados	23
Fig. 16. Nivel cero del desglose de funciones del sistema de entrenamiento alivianado para escalada de velocidad.	29
Fig. 17. Nivel uno del desglose de funciones	30
Fig. 18. Nivel dos del desglose de funciones	31
Fig. 19. Propuestas de solución	33
Fig. 20. Solución planteada, diseño del sistema de entrenamiento para escalada de velocidad.....	38

Fig. 21. Anclaje de techo [45].	46
Fig. 22. Polea de 20kN [47].	47
Fig. 23. Cuerda dinámica de 9mm [49].	48
Fig. 24. Mosquetón con cierre de rosca [51].	49
Fig. 25. Módulo ESP 32 [52].	50
Fig. 26. Motor eléctrico de 3HP [54].	52
Fig. 27. Modelo CAD estructura del sistema de entrenamiento.	59
Fig. 28. Circuito eléctrico de potencia.	60
Fig. 29. Esquema de conexiones para potencia.	60
Fig. 30. Esquema lineal de monitoreo y control.	61
Fig. 31. Circuito electrónico de monitoreo y control.	61
Fig. 32. Esquema de conexiones para el sistema de monitoreo y control.	62
Fig. 33. Flujo de publicador-suscriptor (ESP32).	63
Fig. 34. Flujo del publicador-suscriptor (App).	63
Fig. 35. Diagrama de flujo de ESP32.	64
Fig. 36. Diagrama de flujo de aplicación.	64
Fig. 37. Aplicación de control	65
Fig. 38. Distribución de cargas en la estructura.	70
Fig. 39. Simulación de la viga	71
Fig. 40. Curva de convergencia cálculo analítico vs simulación en SolidWorks.	72
Fig. 41. Resultante de los desplazamientos	73
Fig. 42. Factor de seguridad de la estructura.	74
Fig. 43. Curva de convergencia de esfuerzos total (MPa).	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Representa el desplazamiento del centro de masa (COM), así como la distancia, la velocidad, la fuerza, el tiempo y la potencia para cada fase del 5-0-5 [13].	22
Tabla 2: Requerimientos del usuario	27
Tabla 3: Requerimientos del Ingeniero	28
Tabla 4: Funciones que se realiza en cada etapa	30
Tabla 5: Funciones y subfunciones	31
Tabla 6: Ponderación de parámetros más importantes del sistema	35
Tabla 7: Evaluación de las alternativas de solución con respecto a portabilidad	35
Tabla 8: Evaluación de las alternativas de solución con respecto a interfaz	36
Tabla 9: Evaluación de las alternativas de solución con respecto a mantenimiento	36
Tabla 10: Evaluación de las alternativas de solución con respecto a velocidad Max/min	36
Tabla 11: Evaluación de las alternativas de solución con respecto a sistema mecatrónico	36
Tabla 12: Evaluación de las alternativas de solución con respecto a límite de carga	37
Tabla 13: Evaluación de las alternativas de solución	37
Tabla 14: Especificaciones de la placa de anclaje	46
Tabla 15: Especificaciones de la polea	47
Tabla 16: Especificaciones de la cuerda	48
Tabla 17: Especificaciones del mosquetón	49
Tabla 18: Especificaciones del módulo ESP-32	50
Tabla 19: Especificaciones de la Tablet	51
Tabla 20: Especificaciones de motor eléctrico	52
Tabla 21: Costos de los componentes seleccionados y materiales empleados en el diseño 3D	68
Tabla 22: Resultados obtenidos de las simulaciones al llevar a una malla más fina	74
Tabla 23: Datos de entrada y condiciones	76
Tabla 24: Propiedades geométricas del perfil (40x40x1,2mm)	77

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Los primeros escaladores pueden ser considerados los científicos, que durante el siglo XVIII Y XIX, descubrieron gran parte de las montañas más importantes del mundo. Sin embargo, en la década de los 80 nace la escalada deportiva como se la conoce hoy en día [1].

En 1991 se celebró la primera competencia internacional de escalada en Frankfurt, Alemania. La competencia tuvo un número limitado de participantes. No obstante, en 2005 en Múnich la participación logró alcanzar hasta los 500 competidores de diferentes países [2].

Existen diversas modalidades que desafían la habilidad, fuerza y resistencia de los escaladores. Entre las diferentes modalidades, la escalada de velocidad ha surgido como una disciplina emocionante y altamente competitiva, en donde dos deportistas ascienden al mismo tiempo por un muro de 15m de altura con una ruta fija homologada. Los escaladores están sujetos en todo momento por un sistema de auto seguro de protección que está en la parte superior.

El entrenamiento para la escalada de velocidad requiere un enfoque minucioso y especializado. Los escaladores necesitan desarrollar una combinación única de velocidad, técnica y resistencia para alcanzar el éxito en esta modalidad [3].

Alrededor de 2/3 escaladores masculinos están propensos a sufrir una lesión crónica. Las tres áreas más lesionadas son dedos, hombros y codos, donde suceden el 80% de las lesiones [4].

Hasta la fecha, no se cuenta con un sistema de entrenamiento diseñado específicamente para esta modalidad de escalada de velocidad en la ciudad de Ibarra. Por lo tanto, se desea diseñar un sistema de entrenamiento alivianado para la escalada de velocidad, que aborde las demandas

específicas de esta modalidad y que permita a los escaladores alcanzar su máximo potencial en competiciones, entrenamientos y a si mismo minimizar las lesiones al practicar este tipo de deporte.

1.2 Objetivos

1.2.1 General

Desarrollar un sistema de entrenamiento alivianado de modalidad velocidad de escalada deportiva.

1.2.2 Específicos

- Determinar los parámetros mínimos de diseño de los sistemas de escalada deportiva utilizados en la actualidad.
- Diseñar el sistema de entrenamiento alivianado de acuerdo con los parámetros establecidos.
- Simular el sistema en un software de ingeniería para determinar el correcto funcionamiento del sistema diseñado.
- Validar mediante simulación el sistema de entrenamiento alivianado de modalidad velocidad de escalada deportiva.

1.3 Alcance y delimitación

La presente investigación se limita al análisis de las variables de un sistema de entrenamiento alivianado de escalada deportiva (modalidad velocidad), a partir de los datos recopilados se proponen diferentes alternativas de diseño y seleccionar la que más se ajuste a los requerimientos del sistema. Con la alternativa seleccionada se realizará el diseño del prototipo, el cual será validado mediante simulación con software de ingeniería. Una vez culminado el proceso de simulación se levantará toda la documentación del diseño para su futura construcción.

1.4 Justificación

Con base en la investigación se puede decir que los escaladores elite poseen una alta fuerza relativa a su peso corporal, por lo cual están propensos a lesiones en cualquier momento ya sea en entrenamiento o en competencia por lo que se plantea generar un sistema aliviado para el entrenamiento de esta modalidad de deporte.

El impacto de este trabajo en el futuro se notará en el sistema deportivo, ya que la escalada es un deporte que pone a prueba los límites del cuerpo humano, exigiendo en exceso a músculos, tendones y articulaciones. Aunque es un deporte desafiante, los escaladores, tanto novatos como profesionales, son susceptibles a ciertas lesiones.

Los beneficiarios del estudio serán los entrenadores, escaladores elite y los deportistas que están empezando en esta modalidad de escalada de velocidad en la ciudad de Ibarra, esta investigación contribuirá en el entrenamiento, en la preparación y mejorar el desempeño de cada deportista, que sean capaces de competir tanto provincial como interprovincial, o aún mejor en competencias internacionales.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

La escalada deportiva se remonta a principios del siglo XX, que fue evolucionando hacia las competiciones. Al principio los torneos se realizaban en la naturaleza, pero debido al impacto en el ambiente ocasionado en las montañas, optaron plantear el modelo de competición actual, como son las infraestructuras artificiales y a menudo en bases ya existentes [5].

La escalada deportiva es una actividad que está en auge. Esta creciente popularidad se evidenció con la inclusión de esta disciplina en los Juegos Olímpicos de Tokio 2020. Actualmente, ser un escalador profesional implica competir en el circuito tanto nacional como internacional en tres modalidades: Boulder, Dificultad y Velocidad [6].

Hasta el momento, no se ha realizado ningún estudio que analice los factores que influyen en el rendimiento dentro de esta disciplina, lo cual podría facilitar la preparación física de los atletas y simplificar el trabajo de los entrenadores [7].

Las competiciones de escalada deportiva se llevan a cabo en muros altos, generalmente de entre 12 y 18 metros de altura, que requieren de 20 a 50 movimientos con el objetivo de alcanzar la máxima dificultad posible [8].

El torneo involucra ascender por paredes artificiales usando las manos y los pies para alcanzar presas. En el torneo de escalada deportiva, para lograr un excelente rendimiento requiere de atributos físicos específicos, que abordan baja masa corporal, flexibilidad y músculos del antebrazo bien desarrollados [9].

La resistencia a la fuerza se define como la capacidad física para mantener un nivel constante de fuerza durante un gesto deportivo específico. Esta capacidad resulta ser fundamental

en muchos deportes, incluida la escalada deportiva; por lo tanto, un estudio teórico-práctico que contribuya a mejorar esta capacidad en la escalada permitirá optimizar la gestión del entrenamiento en esta disciplina [10].

La velocidad está más relacionada con la potencia, mientras que el bloque se enfoca en la fuerza máxima, y la dificultad implica resistencia. Sin embargo, la modalidad demanda altos niveles de fuerza relativa. Esto lleva a una preparación física que no solo aumenta la fuerza relativa, sino también mejora el rendimiento en la escalada [11].

Con el incremento de nuevos aficionados al deporte tanto de manera competitiva como recreativa, de la misma forma el número de lesiones ha aumentado en los últimos años. Si las lesiones son un factor limitante del rendimiento para aquellos deportistas, es conveniente marcar pautas para prevenir posibles lesiones producidas al practicar esta modalidad de deporte [12].

El 1080 Sprint es un equipo diseñado para el entrenamiento y evaluación de la resistencia en actividades como saltos (sprints), natación, y cambios de dirección. Además, este dispositivo mide potencia, fuerza, velocidad y aceleración con mucha precisión [13].

La capacidad del equipo permite a los atletas desarrollar la agilidad específica requerida en el deporte. Asimismo, ayuda a los entrenadores a identificar las diferencias entre la fuerza y potencia entre el lado derecho e izquierdo del cuerpo [13].

El betaCube, es una unidad de cámara-proyección auto calibrada con seguimiento 3D. El equipo permite la reproducción de videos a escala real y la creación de rutas de escalada mediante realidad aumentada. Detecta marcas para agarres de escalada, además dispone de un método automático para extraer planos de paredes de escalada artificial [14]. De esta manera el escalador puede optar por la mejor ruta de escalada y mejorar su tiempo al llegar a la cima.

2.2 Bases Teóricas

Las bases teóricas de este proyecto se centran en los conceptos fundamentales que sustentan la disciplina deportiva de la escalada. A continuación, se presenta una revisión de los principios clave y la evolución de esta actividad, que ha ganado popularidad considerable en los últimos años.

2.2.1 La escalada

Esta disciplina ha ganado considerable popularidad en los últimos años, especialmente después de los juegos Olímpicos. A principios fue como una actividad al aire libre y ha ido evolucionando hasta ser reconocida globalmente. En esta disciplina los deportistas se retan a sí mismos superando bloques y rutas con distintos niveles de dificultad [15].

Es un deporte multidisciplinario que consiste llegar a un punto más alto de una pared o ruta establecida con anterioridad, que puede ser una estructura artificial o natural. Esta actividad desafía tanto las habilidades físicas como mentales del escalador, quien realiza múltiples movimientos confiando en su desempeño y manteniendo la concentración durante la escalada [16], [17].

Esta disciplina tiene características únicas que lo distinguen significativamente de otros deportes. Estas diferencias incluyen en el rendimiento, lo que implica que los métodos y contenidos deben aplicarse de forma general respectivamente.

Posee un grado de dificultad particular dentro del área competitivo, lo que requiere un cuerpo bien formado. Esta disciplina demanda de los deportistas un alto rendimiento físico para lograr los resultados que se espera en las competencias [18].

2.2.2 Análisis del movimiento

La escalada es un deporte que conlleva a superar pistas verticales con mayor o menor inclinación utilizando su propio cuerpo. Para esto, es necesario realizar (a) contracciones

musculares isométricas , que se utilizan en reequilibrio y al agarrarse a las presas. También se requiere (b) contracciones musculares concéntricas, implica tirar al momento de trepar, ascender y desplazarse. Por último, en menor medida se necesitan (c) contracciones musculares excéntricas, que ocurren durante el descenso y acciones dinámicas (ver Fig. 1) [8].

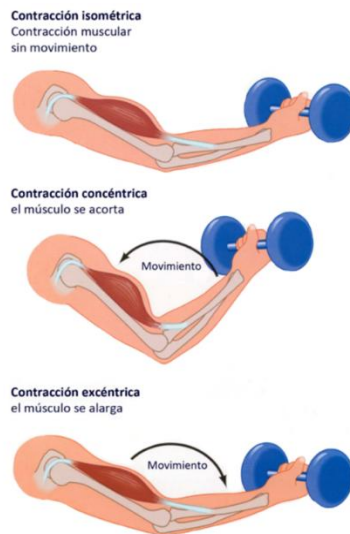


Fig. 1. Contracciones musculares: a) contracción isométrica, b) contracción concéntrica, c)contracción excéntrica [19].

Grupos musculares implicados

Los principales grupos musculares implicados en la escalada incluyen los flexores del codo, muñeca, dedos y dedos, así como la musculatura de la cadera, los plantares del tobillo y los extensores de rodilla. El rendimiento en este deporte se fundamenta, en gran medida, en las capacidades del antebrazo, especialmente la fuerza de los flexores de los dedos. Desarrollar una buena fuerza y resistencia en estos grupos musculares es decisivo para mantener un contacto constante con la pared y optimizar el progreso en la escalada [8].

2.2.3 Fundamentos fisiológicos de la escalada

La escalada se define como una actividad física compleja que demanda el desarrollo óptimo de habilidades motoras y psicológicas, además de una gran adaptabilidad en los procesos metabólicos. Numerosas investigaciones demuestran que la fuerza de los flexores del antebrazo y dedos, así como la tasa de desarrollo de la fuerza, son elementos esenciales para alcanzar un nivel élite en la escalada [20].

Expresión de la fuerza

La mayor resistencia que el deportista debe enfrentar proviene de su propio peso corporal, por lo tanto, la fuerza relativa, se define entre la fuerza máxima y la masa corporal lo que es de relevancia en la escalada [20].

En la escalada la fuerza-resistencia muscular, que es la capacidad de un deportista de poder mantener un esfuerzo muscular por un periodo de tiempo extenso determina uno de los factores principales del rendimiento [21].

Tipos de acciones:

Fase de progresión con contracciones musculares concéntricas.

Fase de reequilibrio que implica la ausencia de desplazamiento del centro de gravedad y se caracteriza por contracciones isométricas [1].

Fase de recuperación se busca adoptar posturas de reposo, con una mínima intervención muscular [1],[22].

Tipos de fuerza

Fuerza máxima: es la habilidad de ejercer un esfuerzo máximo contra una resistencia; en el caso de los escaladores, esto implica soportar el peso de su propio cuerpo.

Fuerza resistencia: es la habilidad de mantener un esfuerzo muscular durante un periodo prolongado, lo cual es crucial durante una ascensión, ya que se requieren esfuerzos intensos durante varios minutos.

La fuerza de velocidad: la capacidad del sistema neuromuscular para desplegar su potencial funcional y alcanzar altos niveles de fuerza en el menor tiempo posible. Esta capacidad debe diferenciarse según la magnitud de la fuerza necesaria en las acciones motoras, las cuales varían en sus demandas de fuerza y velocidad para cada escalador [23]. En la Fig. 2. Se representa en un esquema la distribución de la fuerza.

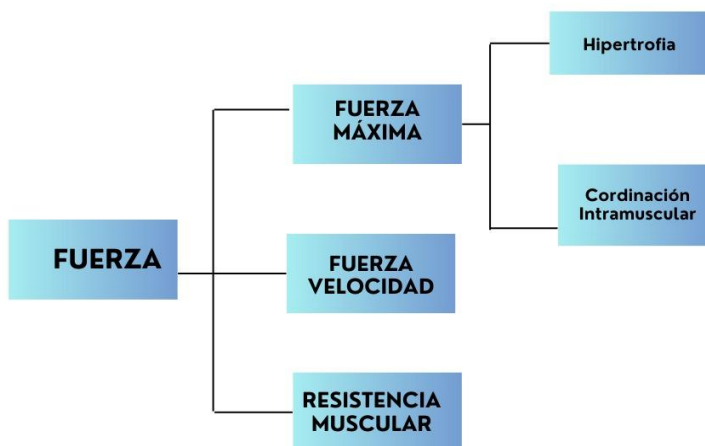


Fig. 2. Esquema de la distribución de la fuerza [23].

Flexibilidad

Se ha determinado que la flexibilidad es muy importante en la escalada deportiva, que es una cualidad física que puede ser medida y cuantificada. Existen diversos métodos para evaluar la flexibilidad, siendo una de las más comunes la prueba de sentado y alcanzar (Sit and Reach). Esta prueba mide la capacidad de flexión del tronco y elongación de la musculatura isquiosural, se realiza con un cajón especial o flexómetro y se expresa en centímetros [8].

En el ascenso en una ruta de escalada, el centro de gravedad del cuerpo debe mantenerse muy cerca a la pared mientras los pies se desplazan, esto requiere una abducción y rotación externa extrema de la cadera. Así mismo, los movimientos en los que un pie se eleva hasta la altura de la cadera o incluso más, mientras que el otro permanece por debajo, lo que demanda un considerable grado de flexibilidad en la parte inferior del cuerpo (ver Fig. 3) [8].



Fig. 3. Flexibilidad del atleta en la escalada [24].

2.2.4 Variables psicológicas

A diferencia de otros deportes el factor psicológico en la escalada es determinante. Esta ciencia es muy importante debido a que, al encontrarse con distintos tipos de miedo e inseguridades al enfrentarse a grandes alturas o también por las dificultades específicas que tiene este deporte [25].

Características que tienen los deportistas élite: alta motivación, autoconfianza, control de ansiedad, estrés, se sienten relajados, llenos de energía, mantienen la situación bajo control, y tienen altos grados de determinación y compromiso [17].

El nivel de ansiedad al momento de la competición se ha identificado como variables cruciales que predicen el rendimiento. La ansiedad puede afectar el rendimiento atlético [25].

La ansiedad se define como la respuesta natural del cuerpo al medio ambiente, es decir prepara al cuerpo para reaccionar. Otro aspecto importante de la capacidad psicológica es la visualización, que es crear una simulación detallada de las acciones a realizar [17], [25].

2.3 Modalidades

Entre las distintas modalidades cada una de ellas requieren habilidades propias. Modalidades de competición: de primero, boulder, escalada de velocidad, y la escalada en hielo [26].

Escalada de primero: el participante lleva una cuerda atada a su arnés, mientras que su asegurador se encarga del resto. A medida que asciende por la ruta el escalador debe ir asegurando su cuerda a las cintas exprés que están fijadas a lo largo de la ruta hasta llegar a la cadena que marca el final del recorrido [27].

Escala de velocidad: los competidores están asegurados desde la parte superior en top-rope. El ascenso siempre es en la misma ruta, cuya dificultad de esta modalidad ronda el grado 6b

y mide 15m de altura. El objetivo es completar la ruta en el menor tiempo posible. Esta modalidad fusiona la fuerza y rapidez [27].

La escalada en bloque o boulder: se distingue por su dificultad, tanto en términos físicos como técnicos. Es el desafío en su forma más pura, llevando la dificultad al límite. En esencia, consiste en tomar la sección más exigente de una vía y omitir el resto [27].

Se practica en rocas, cuevas de poca altura o en las partes bajas de las paredes. También la forma más común de entrenar es en rocódromos para escaladores debido a su comodidad [27]. Dado que la altura es limitada no se utilizan cuerdas; en su lugar, se emplea una colchoneta para amortiguar la caída del escalador. Demanda altos niveles de fuerza y movimientos dinámicos [26].

La escalada en hielo: comparten técnicas similares y utilizan herramientas básicas como los piolets. La principal diferencia radica en la exposición al riesgo, el método de seguridad y en el entorno en la cual se realiza. Se llevan a cabo en superficies de hielo o nieve. Se intenta replicar las estructuras de hielo con paneles de madera y diferentes obstáculos componen la ruta [25].

2.4 Sistemas de entrenamiento

En esta disciplina la fuerza y la resistencia de la parte superior del cuerpo son factores que predicen el rendimiento en la escalada. La optimización de la práctica de fuerza puede enfocarse en mejorar: la fuerza de agarre, la fuerza de tracción, la fuerza isométrica, la potencia y fuerza explosiva [11].

Para mejorar la máxima fuerza de agarre se utiliza el entrenamiento por suspensiones, esto puede incluir suspensiones en cantos grandes con lastre, en cantos mínimos sin lastre, o intermitentes (ver Fig. 4) [11].



Fig. 4. Suspensiones máximas con lastre [28].

La fuerza de tracción, equivalente a la dominada, que destaca la importancia de traccionar con los brazos. Controlar la intensidad a través de la velocidad de ejecución es el mejor método para el rendimiento, ya que también permite gestionar la fatiga mediante la disminución de la velocidad (ver Fig. 5) [11].



Fig. 5. Ejercicios de dominada [29].

En lo que respecta a la fuerza isométrica, esta se manifiesta en la escalada en forma de bloqueos. Las mejoras con respecto al entrenamiento isométrico ocurren únicamente en el ángulo específico que se trabaja. Se puede entrenar mediante el método isométrico (contracción-

relajación-contracción, con cargas máximas). La tasa de desarrollo de fuerza (RFD), es la cantidad de fuerza generada por unidad de tiempo y está relacionada con la curva fuerza-tiempo (F-t), conocida como la fuerza explosiva (ver Fig. 6) [11].

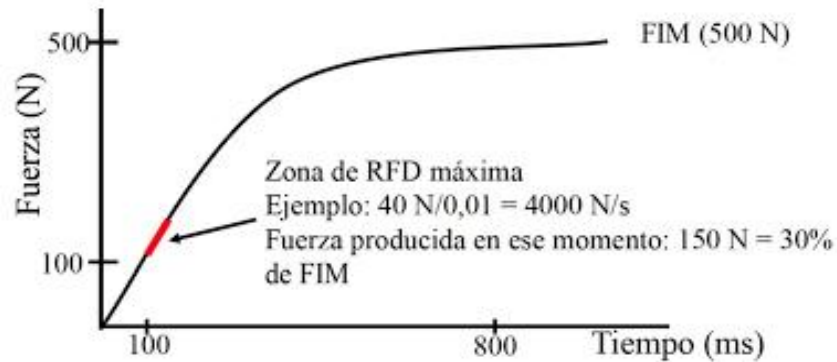


Fig. 6. Pendiente máxima de la curva fuerza - tiempo (RFD) [30].

2.5 Máquinas existentes en el mercado

Se describen las máquinas de escalada y equipos de entrenamiento existentes en el mercado, cada una de las máquinas ofrecen un enfoque distinto en el entrenamiento de escalada, desde la simulación completa del deporte hasta el fortalecimiento muscular específico.

Estación de escalada (Climbstation)

En la Fig. 7. Se observa un dispositivo eléctrico que utiliza la energía generada por el calor. La energía es esencial para regular la velocidad de rotación y los actuadores lineales que ajustan la inclinación. La electrónica KERS asegura un movimiento fluido en diversos ángulos, manejando eficazmente los niveles de fricción. Esto crea una experiencia similar a la de un mecanismo motorizado, brindando una sensación agradable [31].

Seguridad: utiliza del peso del escalar para iniciar el movimiento de rotación mejora la seguridad, asegurando que la pared se detenga cuando no haya escalada activa [31].

Inicio automático: Con esta máquina, se facilita la implementación de una función de inicio automático seguro, eliminando la necesidad de presionar botones manualmente. La pared detecta el peso del escalador e inicia automáticamente el programa preseleccionado por el propietario, sin que el usuario interponga [31].

Control de velocidad adaptativo y velocidad máxima mejorada: El innovador diseño de la estación de escalada incluye un control de velocidad adaptativo, ajustando su ritmo para igualar la velocidad del escalador. Esto asegura el rendimiento óptimo tanto para escaladores ligeros como pesados. Con un aumento del 40%, la versión mejorada de la máquina alcanza una velocidad máxima de 25m/min [31].

Eficiencia energética: opera con un consumo mínimo de energía de 24V/2 A, a una reducción significativa en comparación con el requisito anterior de 230v/10 A. Este ahorro energético supera el 90% en comparación con la primera generación y versión impulsada por motor, contribuyendo más sostenible y económica [31].

Compatibilidad y portabilidad universales: La estación de escalada (Climbstation KERS) funciona de manera eficiente en todo el mundo, utilizando cualquier tipo de enchufe o un paquete de baterías para uso prolongado, lo que hace ideal para organizar eventos [31].

Variedad de desafíos: gracias a dos potentes actuadores lineales, la pared se inclina suavemente entre 10° y 45°, ofreciendo un reto significativo incluso para los escaladores más exigentes y hábiles (ver Fig. 7) [31].

Monitorea resultados: velocidad, distancia, tiempo, ángulo actual, nivel de dificultad y consumo de calorías [31].

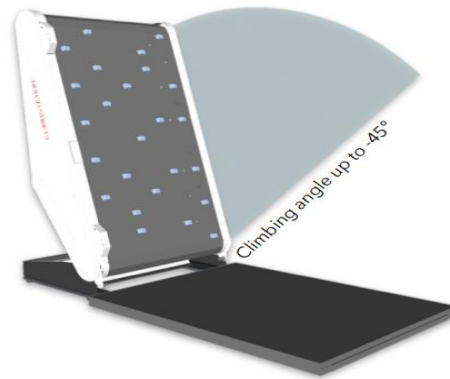


Fig. 7. Ángulo de ascenso de la estación de escalada (Climbstation) hasta 45° [32].

Sistema de entrenamiento y rehabilitación (1080 Quantum)

Es un sistema de entrenamiento y evaluación de rendimiento. El nivel de resistencia y la rapidez son controladas por un motor eléctrico. Ofrece una capacidad única para gestionar de manera segura además la resistencia y la rapidez durante la fase concéntrica y excéntrica, mientras se mide la potencia y la fuerza en todo el periodo de movimiento. De este modo, la modalidad y la intensidad del entrenamiento pueden ajustarse de acuerdo con las necesidades individuales del atleta y su patrón de movimiento. Todos los controles se acceden y operan a través de una interfaz de pantalla táctil fácil de usar [33]. En la Fig. 8. Se identifica la máquina Quantum 1080.



Fig. 8. Máquina de entrenamiento Quantum 1080 [34].

La versatilidad y precisión sin igual para evaluar y desarrollar fuerza, rapidez, potencia y aceleración. Se pueden realizar una amplia gama de ejercicios y pruebas funcionales, además ofrece la resistencia ideal en ejercicios y hace que sean adaptables a los requerimientos de los deportistas [35].

Permite una sobrecarga excéntrica real y supera la de los volantes y otras masas estáticas. Impulso excéntrico: ofrece cargas altas durante la fase excéntrica, permitiendo contracciones excéntricas supramáximas de manera segura. En la Fig. 9, se puede observar la gráfica de curva fuerza- velocidad de un músculo [36].

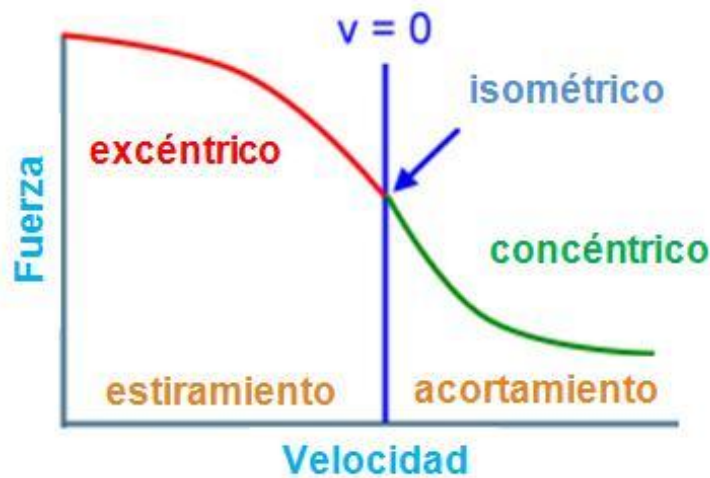


Fig. 9. Curva de fuerza-velocidad de un músculo [36].

Laddermil-2

Permite a los deportistas un entrenamiento vertical con movimientos intuitivos y accesibles. Su operación es sencilla, realiza ejercicios de cuerpo completo único y desafiante. El giro de la escalera depende del peso del escalador, sin necesidad de motores eléctricos. Una palanca permite ajustar fácilmente la resistencia para controlar la velocidad del escalador. Tiene un sistema de

parada automática que detiene la escalera al momento de que los pies del escalador llegan al peldaño inferior [37].

El ángulo de esta máquina se puede ajustar al requerimiento del usuario y se cambia de manera rápida usando una segunda palanca. Cuenta con una pantalla que registra el tiempo y la distancia cuantifica el entrenamiento, con distintas opciones para establecer objetivos de entrenamiento (ver Fig. 10) [37].

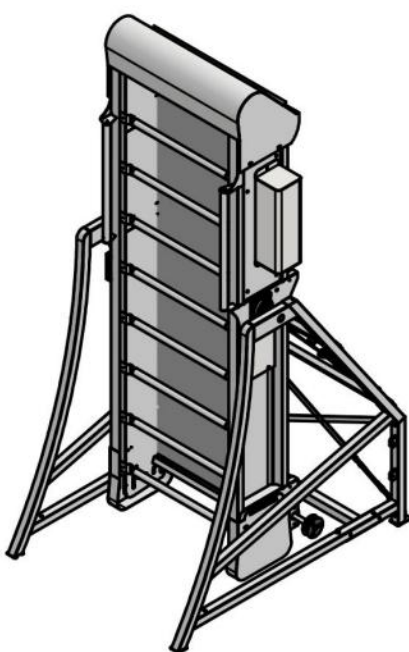


Fig. 10. Máquina Laddermil-2 [37].

Treadwall Max6/12 rotating wall

Proporciona la intensidad del marco Max en espacios con techos más bajos. Tiene una generosa superficie de escalada de 6pies (1,83m) de ancho por 8 pies (2,44m) de alto, fomentando el movimiento lateral como ascendente [38].

La rotación de la pared es impulsada por el peso del escalador, sin utilizar motores. El ángulo de la superficie se ajusta mediante una palanca en el lado izquierdo, mientras que una

segunda palanca en el lado derecho regula la velocidad para adaptarse al usuario. Un mecanismo de parada automática adapta el movimiento de la pared a los movimientos del escalador, deteniéndose suavemente cuando los pies llegan a la parte inferior (ver Fig. 11) [38].

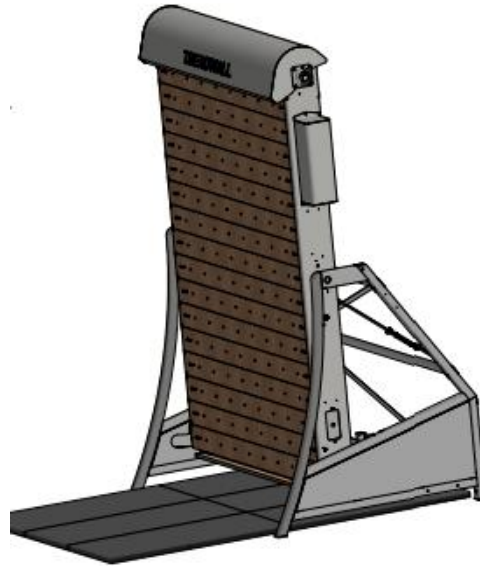


Fig. 11. Máquina de escalada Treadwall Max 6/12 rotating wall [38].

Dispositivo que analiza los parámetros de rendimiento en ejercicios dinámicos – (1080 Sprint)

En la Fig. 12. Se aprecia la máquina 1080 sprint, un dispositivo avanzado diseñado para la captura y análisis de parámetros de rendimiento en ejercicios dinámicos. Este equipo facilita la visualización de datos detallados y lo que permite una comprensión completa de cada componente implicado en movimientos de cambios de dirección. Su capacidad para proporcionar datos precisos optimiza los programas de entrenamiento, al permitir la exposición a niveles de carga óptimos que maximizan los resultados del atleta [39].



Fig. 12. Dispositivo 1080 sprint [40].

Entrenar cambios de dirección sin resistencias o asistencia adicional puede ser subóptimo para los atletas, y de manera similar ocurre al aplicar cargas de manera rudimentaria durante un giro o desaceleración con una cuerda elástica o un chaleco con peso, no siempre garantiza la precisión necesaria para un entrenamiento eficaz [39].

La máquina supera estas limitaciones al ofrecer una carga direccional ajustada con precisión. Esto implica que cada vector de movimiento o dirección específica dentro de un patrón de cambio de dirección puede ser configurado con niveles de carga únicos y personalizados. Dicha funcionalidad permite a los entrenadores y preparadores físicos determinar y aplicar una carga óptima y progresiva, ajustándola de manera precisa tras cada nueva evaluación o prueba de rendimiento del atleta [40]. En la Fig. 13. Presenta un ejemplo de prueba de arranque en parada tipo 5-0-5, demostrando una de las aplicaciones de este sistema [13].

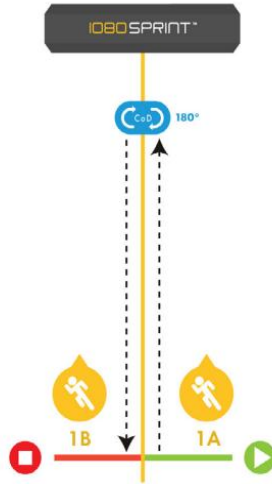


Fig. 13. Un ejemplo de prueba 5-0-5 arranque en parada, comenzando hacia la máquina con una fuerza de tracción de 6kg (1A) y una fuerza de resistencia de 3kg (1B) [13].

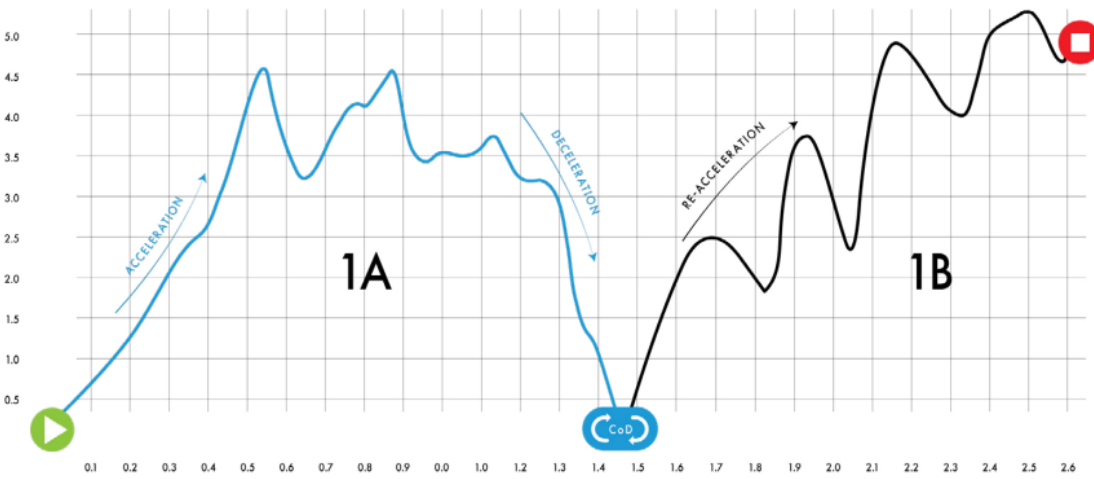


Fig. 14. Demostración del tiempo y velocidad en tiempo real [13].

Tabla 1: Representa el desplazamiento del centro de masa (COM), así como la distancia, la velocidad, la fuerza, el tiempo y la potencia para cada fase del 5-0-5 [13].

Tiempo total	Distancia total cubierta	Fase	Distancia	Fase de tiempo	Velocidad (promedio)	Fuerza (promedio)	Potencia (promedio)	Ajustes de resistencia
		1A	4,06M	1,47s	2,76 m/s	20,4N	47W	6 kg Asistido
2.62s	8.1m	1B	4,04M	1,14s	3,54m/s	46,4N	169W	3 kg Resistido

En la Tabla 1 se puede apreciar la velocidad en un periodo de tiempo. Los resultados demuestran el tiempo y la distancia totales en tiempo real [39].

2.6 Selección del software para la simulación

SolidWorks, es un software de diseño mecánico. El software emplea un entorno visual, ofreciendo un funcionamiento bastante simple y fácil de usar, lo que facilita la rápida elaboración de modelos tridimensionales de dibujos y ensamblajes. Es un modelo basado en parámetros, lo que implica que utiliza medidas y vínculos para llevar a cabo acciones que se almacenan dentro del modelo. Esto permite generar diversas variaciones de un diseño sin gran dificultad [41].

SolidWorks Simulation es un conjunto de herramientas integradas en el Software que permite probar visualmente el diseño CAD utilizando el análisis de elementos finitos (FEA) para predecir el comportamiento físico real de un producto. Básicamente, simula el comportamiento del diseño bajo diferentes condiciones como cargas, fuerza y temperaturas, esto se lo realiza antes de construir el prototipo físico [42].

Se selecciona SolidWorks debido a que es un recurso fácil de usar, con herramientas y funciones muy potentes tanto de diseño como de simulación.

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque y tipos de investigación

El presente trabajo de integración curricular se desarrolla desde el enfoque ingenieril desde una investigación aplicada, para llevar a cabo el diseño del sistema de entrenamiento alivianado se consideró distintos modelos investigativos que facilitan a definir los parámetros de diseño en la escalada deportiva.

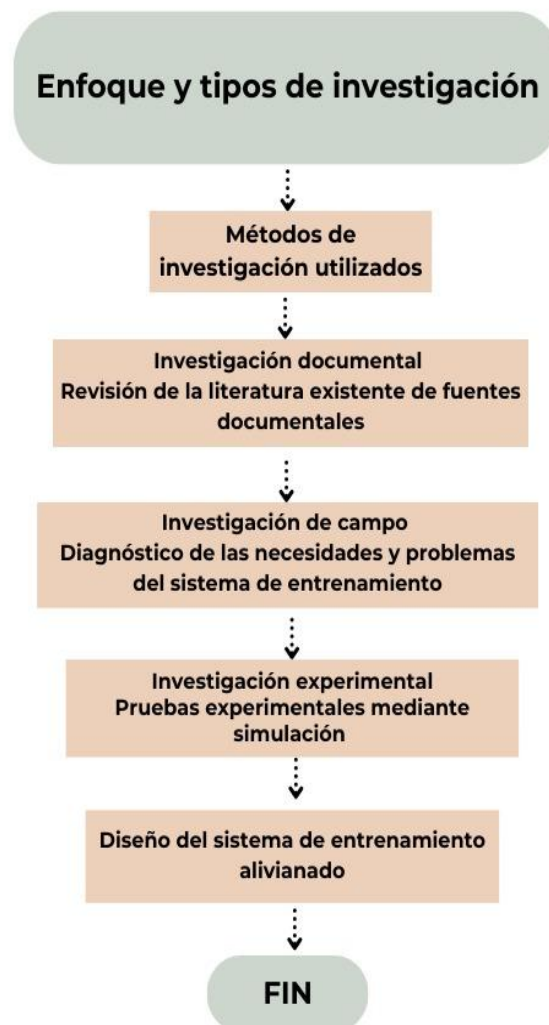


Fig. 15. Diagrama de flujo métodos de investigación utilizados

Métodos de investigación utilizados.

Investigación documental: Revisión de literatura existente sobre sistemas de entrenamiento alivianado para escalada deportiva, incluyendo análisis de diseños, métodos de entrenamiento, resultados y efectividad [43].

Investigación de campo: Mediante esta investigación se pretende recopilar datos reales y estudiarlas, además manipular las variables. Permite obtener nuevos conocimientos en el campo de los deportistas de esta modalidad de escalada, también se diagnosticará las necesidades y problemas con el propósito de aplicar dicho conocimiento a la realización del sistema de entrenamiento de escalada deportiva [43].

Investigación experimental: Mediante el diseño del sistema se realizará distintas pruebas experimentales mediante simulación con la finalidad de verificar el comportamiento y el funcionamiento del sistema [43].

3.2 Diseño de la Investigación

En el presente apartado se describe las actividades y las etapas de diseño del sistema de entrenamiento alivianado, detallando cómo cada fase se realizará para cumplir con los objetivos específicos.

3.2.1 Fase 1: De terminación de los parámetros mínimos de diseño de los sistemas de escalada deportiva utilizados en la actualidad.

Actividad 1.1: Investigación acerca de los sistemas de entrenamiento de escalada deportiva. En esta etapa se recopila información, principalmente de los diferentes sistemas de escalada deportiva existentes en el mercado, en los cuales se detalle las funcionalidad y construcción.

Actividad 1.2: Análisis de las tendencias y avances tecnológicos aplicados en los entrenamientos de escalada deportiva. Se pretende identificar las diferentes tecnologías aplicadas en los entrenamientos de la escalada y de otros deportes, con el fin de tener una idea clara de lo que se realizará.

Actividad 1.3: Especificaciones del sistema a diseñar; se determinan las características del sistema, los requisitos que deben cumplirse para lograr la función principal del dispositivo.

3.2.2 Fase 2: Diseño del sistema de entrenamiento alivianado de acuerdo con los parámetros establecidos.

Actividad 2.1: Propuesta de alternativas de solución; en base a la investigación realizada se proponen diferentes soluciones de tal manera que cumpla con los requerimientos y características necesarios para su funcionamiento.

Actividad 2.2: Selección de la mejor solución; Una vez que se realiza la evaluación de las propuestas de solución, se procede a seleccionar la que mejor se adapte a la realización del diseño.

Actividad 2.3: Modelado 3D de cada uno de los componentes del sistema. Empleando un software CAD se representan cada una de las piezas que conforman el sistema. Posteriormente, se realiza el ensamblaje de los componentes.

Actividad 2.4: Desarrollo de planos mecánicos del sistema; Se realiza la documentación de los planos de cada una de las piezas no comerciales del sistema diseñado, dibujos de conjunto armado e isometría en explosión; de acuerdo con las normas de dibujo establecidas.

3.2.3 Fase 3: Simulación del sistema en software de ingeniería para determinar el su funcionamiento.

Actividad 3.1: Selección del software adecuado para la simulación; Se realiza la selección del software que mejor se adapte para llevar a cabo la respectiva simulación del sistema diseñado.

Actividad 3.2: Simulación del sistema propuesto en software de ingeniería; Establecimiento de las condiciones de operación.

Actividad 3.3: Ejecución de la simulación y análisis de los resultados obtenidos. Una vez llevada a cabo la simulación, se realiza el análisis del sistema para verificar la funcionalidad.

3.2.4 Fase 4: Validación mediante simulación del sistema de entrenamiento alivianado de modalidad velocidad de escalada deportiva.

Actividad 4.1: Realización de pruebas mediante simulación; Se realizan las respectivas pruebas de simulación mediante software para verificar que el sistema diseñado funcione de la manera que se desea.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

A partir de la investigación y la entrevista con especialistas, se determinaron los parámetros necesarios para el desarrollo del diseño del sistema. En este sentido, se considera el objetivo propuesto y las necesidades de los usuarios; enfocando la atención en el cumplimiento de criterios y limitaciones que soporten la solución más adecuada.

4.1 Especificaciones del sistema a diseñar

Se detallan los requisitos funcionales, restricciones del sistema y además los requisitos de interfaz por parte del usuario e ingeniero, para llevar a cabo el diseño del sistema de entrenamiento alivianado para escalada de velocidad.

4.1.1 Requerimientos del usuario / Ingeniero

En la Tabla 2, se define los distintos requisitos del usuario que especifican la demanda y aspiraciones del cliente.

Tabla 2: Requerimientos del usuario

Especificaciones	Descripción
Peso de la máquina	La máquina debe ser estable de modo que se encuentre en el piso y no se eleve.
Cuerda dinámica	La cuerda debe ser fina y con la longitud acoplada a la pista.
Dimensiones de la máquina	La máquina debe ser 650mm*450mm*400mm
Velocidad rápida y constante	La velocidad a la que se debe recoger la cuerda debe asemejarse a velocidad de subida (3m/s) y constante al mismo tiempo.
Anclaje con arnés	La cuerda debe tener anclaje para acoplarse al arnés de seguridad del escalador.

Sistema de poleas	El sistema se basa en tener poleas ancladas en la parte superior de la pista.
Capacidad de carga ajustable	La máquina debe tener una interfaz en la que se pueda modificar la capacidad de carga.

En la Tabla 3, se muestran las exigencias técnicas por parte del Ingeniero.

Tabla 3: Requerimientos del Ingeniero

Especificaciones	Descripción
Portabilidad	La máquina debe ser transportable.
Interfaz de usuario	Sencilla y fácil de operar.
Mantenimiento	Debe permitir el mantenimiento sencillo y periódico.
Seguridad	Debe soportar el peso de la persona en donde exista la mayor carga aplicada.
Velocidad máxima y mínima	La velocidad máxima y mínima a la que la máquina puede trabajar.
Sistema Eléctrico	La máquina funciona con 110V/220V.
Carga máxima de la máquina	Corresponde a la máxima capacidad de carga de la máquina. Se estima un usuario de 100 kg de peso.

4.2 Parámetros de diseño

En esta sección se define y analiza los parámetros de diseño esenciales que guían el desarrollo del sistema de entrenamiento alivianado. La selección de estos elementos es muy importante para

asegurar que el sistema cumpla con los objetivos, debe ser funcional y adaptado a las necesidades del usuario.

4.2.1 Funcionamiento del sistema

Mediante la matriz QFD, se configuran los parámetros esenciales para la creación de un sistema de entrenamiento alivianado. El reto principal consiste en diseñar un sistema que simplifique los entrenamientos y disminuya la carga del atleta.

Se realiza una clasificación funcional detallado del sistema para tratar este problema. En el nivel 0, se muestra la operación global del sistema que se muestra en la (Fig.16). En este nivel se detalla cómo este brinda la ayuda requerida para reducir el peso al usuario.

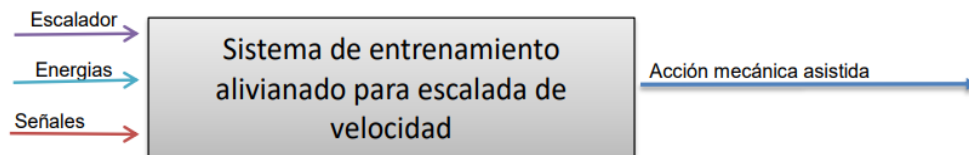


Fig. 16. Nivel cero del desglose de funciones del sistema de entrenamiento alivianado para escalada de velocidad.

El procedimiento representado en la (Fig. 17), corresponde al primer nivel y se estructura en cuatro fases fundamentales. La fase inicial es la preparación del atleta, seguida por la fase de seguridad. La tercera etapa es la subida y finalmente, la cuarta etapa es el descenso. En la Tabla 4 se describe la función detallada de cada una de las etapas mostradas en la Fig. 17.

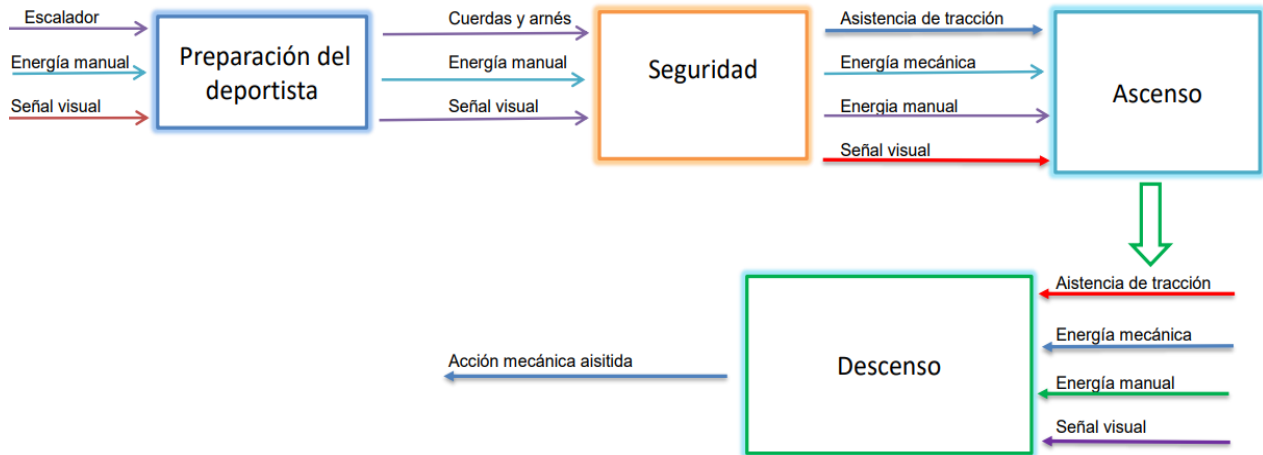


Fig. 17. Nivel uno del desglose de funciones

Tabla 4: Funciones que se realiza en cada etapa

Función	Descripción
Preparación del deportista	El área donde se encuentra la pared de escalada, en donde se ubica al deportista para empezar con el entrenamiento.
Seguridad	Se colocan los implementos de seguridad más importantes (arnés, la cuerda, dispositivos de aseguramiento).
Ascenso	Se usa la ayuda mecánica, para simplificar la subida del escalador.
Descenso	Interviene la línea de seguridad con un dispositivo que ayuda a bajar de forma segura y controlada.

El esquema del segundo nivel mostrado en la (Fig. 18), especifica las funciones secundarias para realizar de manera sencilla las funciones primarias en el sistema de entrenamiento alivianado para la escala de velocidad.

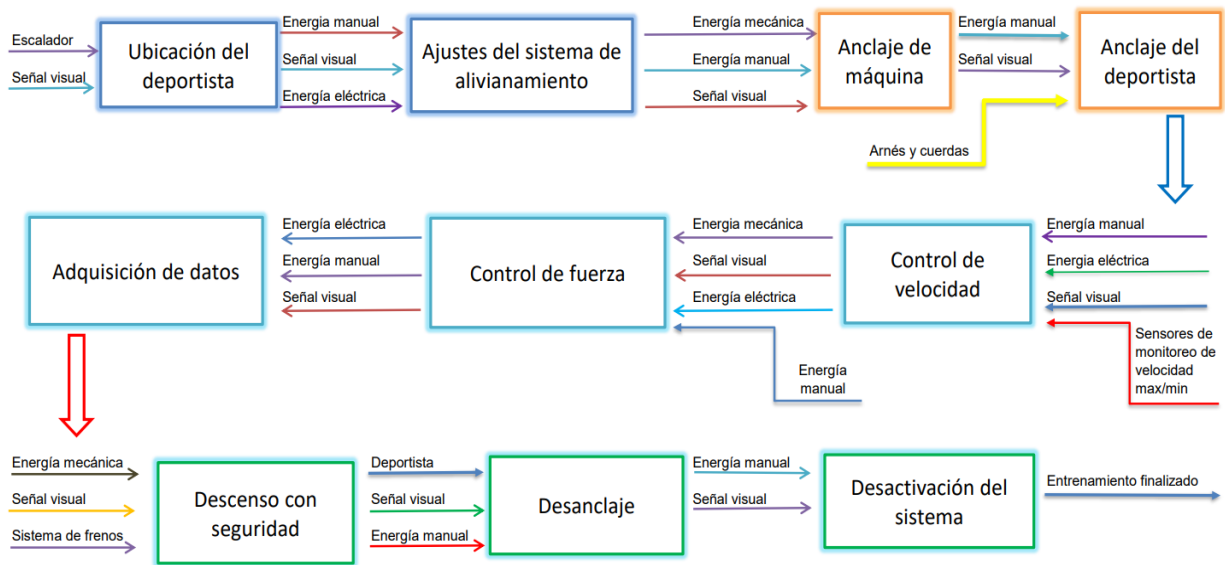


Fig. 18. Nivel dos del desglose de funciones

Estos esquemas permiten estructurar la investigación para detallar el proceso de funcionamiento de cada módulo del sistema, lo que permite entender cada proceso de entrenamiento y también la interacción de sus componentes. La Tabla 5 detalla cada una de las funciones y subfunciones representadas en la Fig. 18.

Tabla 5: Funciones y subfunciones

Función	Subfunción	Descripción
Preparación del deportista	Ubicación del deportista	Se sitúa al atleta en la pista de escalada y revisa que el sistema este en óptimas condiciones de funcionamiento antes de empezar con el entrenamiento.
	Ajustes del sistema de alivianamiento	

Seguridad	Anclaje de máquina Anclaje del deportista	La máquina se ancla al piso en las bases mediante pernos que tiene la estructura para una mejor estabilidad y el anclaje del usuario se lo realiza mediante una cuerda sujeta a un mosquetón de rosca.
Ascenso	Adquisición de datos Control de velocidad Control de fuerza	Mediante el sistema de control se recopilan los datos obtenidos durante el entrenamiento. Se controla la velocidad y el tiempo de subida a la que el escalador asciende con la asistencia mecánica.
Descenso	Descenso con seguridad Des anclaje Desactivación del sistema.	Una vez que se finalice la rutina el usuario desciende, y se empieza a retirar los elementos de seguridad empleados y finalmente se desactiva el sistema para mayor seguridad.

4.3 Elección de alternativas de solución

Mediante la matriz morfológica se seleccionan diferentes componentes que integran cada una de las alternativas de solución, una vez seleccionada se describen cada alternativa de solución para determinar cuál alternativa se acopla a los requerimientos del usuario.

4.3.1 Matriz morfológica

Esta matriz se utilizó para explorar las diferentes opciones de diseño. Se detallan las alternativas viables para cada parámetro, lo que facilita la combinación de elementos para generar diferentes propuestas de solución. El objetivo es identificar las combinaciones más prometedoras que cumplan con los requisitos del diseño para luego evaluar y seleccionar la mejor (ver Fig. 19).

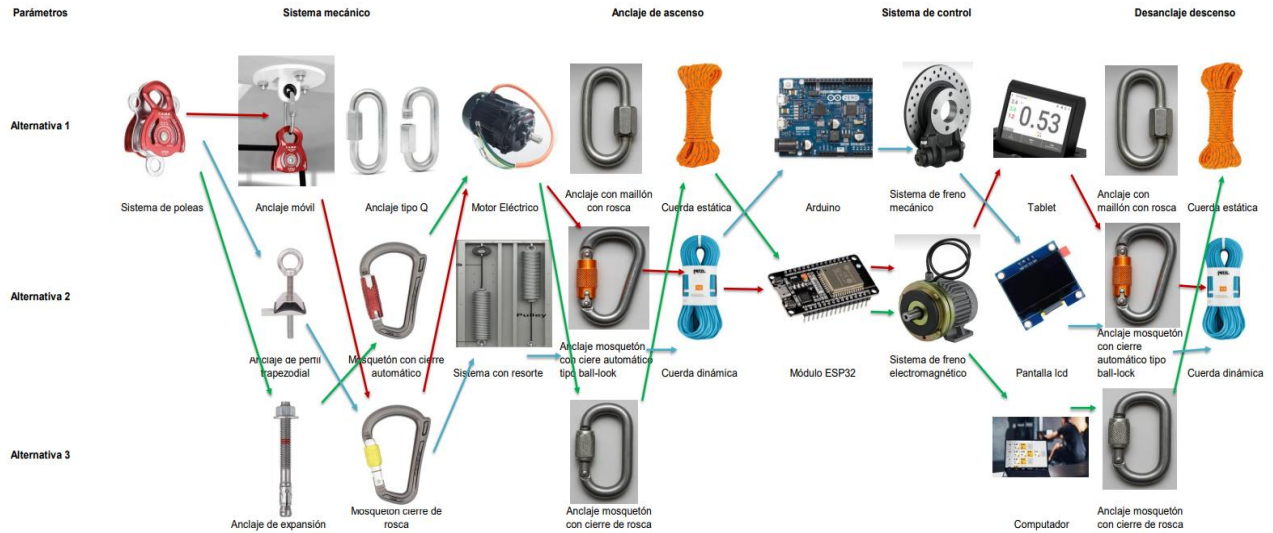


Fig. 19. Propuestas de solución

4.3.2 Alternativas de solución

A partir de la matriz morfológica, se identificaron y se describieron tres propuestas de diseño que representan las combinaciones más viables y prometedoras. Cada alternativa se centra en un enfoque tecnológico y de distintos componentes, lo que permite evaluar diferentes niveles de complejidad, costo y funcionalidad.

Alternativa 1

Este sistema presenta un diseño en el que la polea se ubica en la parte superior, se usa un anclaje móvil equipado con un mosquetón cierre de rosca que proporciona seguridad durante el ascenso y descenso. Este sistema incorpora un motor eléctrico de alta potencia que ayudará a alivianar el peso del escalador. Para el control preciso el motor integra un sistema de freno para mayor seguridad. La máquina estará anclada al piso mediante pernos en los 4 puntos (patas) de la estructura. En cuanto a seguridad, el sistema emplea un mosquetón con cierre automático junto con

una cuerda dinámica que es ideal para este tipo de deporte. El sistema de control está basado en un módulo ESP32 con una Tablet que brinda al usuario facilidad de interacción.

Alternativa 2

El sistema de asistencia emplea poleas con anclaje de perfil trapezoidal, proporcionando una estructura sólida. Para la conexión se emplea un mosquetón cierre de rosca, que garantiza una sujeción segura. El mecanismo de aligeramiento se basa en el uso de resortes calibrados los cuales asisten al escalador durante el ascenso. Este sistema se ancla directamente a la pared con el anclaje trapezoidal seguidamente con el mosquetón de cierre de rosca. La sujeción al escalador se la realiza con un mosquetón de cierre automático complementado con una cuerda dinámica, ideal para brindar mayor seguridad. El sistema de control está constituido por una placa Arduino acoplada a una pantalla LCD, permitiendo una supervisión básica pero funcional del sistema. Este sistema implementa un sistema de freno mecánico.

Alternativa 3

Esta propuesta de asistencia se basa en un sistema que utiliza poleas acoplada con un anclaje de expansión, lo que permite una fijación segura a estructuras sólidas. La conexión y anclaje de la máquina se realiza entre componentes un mosquetón con cierre automático de manipulación rápida, y además el anclaje de expansión al piso. El sistema de tracción está impulsado por un motor eléctrico de alto rendimiento que aliviana el peso del escalador, este mismo motor incorpora un sistema de frenado de precisión. Para la sujeción del escalador se emplea un mosquetón con cierre automático complementado con una cuerda estática que aporta estabilidad. El sistema de control está conformado por un módulo ESP32 junto con una computadora, que ofrece una mejor interacción con el usuario.

4.3.3 Elección de la mejor solución

En esta sección se presenta el proceso de selección de la solución más viable y adecuada para el proyecto. Para garantizar una decisión objetiva y fundamentada, se realiza una evaluación cuantitativa de las alternativas a partir de la ponderación de los parámetros más importantes del sistema.

Evaluación de las alternativas en base a datos

Tabla 6: Ponderación de parámetros más importantes del sistema

Criterios ponderados	Portabilidad	Interfaz	Mantenimiento	Velocidad máx./min	Sistema mecatrónico	Límite de carga	$\Sigma+1$	Ponderación
Portabilidad		0,5	0,5	1	0,5	0,50	4	0,18
Interfaz	0,5		0	1	0	0	2,5	0,11
Mantenimiento	0,5	1		1	0,5	0	4	0,18
Velocidad máx./min	0	0	0		0	0,5	1,5	0,07
Sistema mecatrónico	0,5	1	1	1		0,5	5	0,23
Límite de carga	0,5	1	1	1	0,5		5	0,23
Total							22	1,00

Sistema mecatrónico=Límite de carga>Mantenimiento>Portabilidad>Interfaz>Velocidad máx./min

Tabla 7: Evaluación de las alternativas de solución con respecto a portabilidad

Portabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0,5	2,5	0,42
Alternativa 2	0		0	1	0,17
Alternativa 3	0,5	1		2,5	0,42
Total				6	1,00

$$a1 = a3 > a2$$

Tabla 8: Evaluación de las alternativas de solución con respecto a interfaz

Interfaz	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,60
Alternativa 2	0		0	1	0,20
Alternativa 3	0	0		1	0,20
Total				5	1,00

$$a1 > a2 = a3$$

Tabla 9: Evaluación de las alternativas de solución con respecto a mantenimiento

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0,5	2,5	0,42
Alternativa 2	0		0	1	0,17
Alternativa 3	0,5	1		2,5	0,42
Total				6	1,00

$$a1 = a3 > a2$$

Tabla 10: Evaluación de las alternativas de solución con respecto a velocidad Max/min

Velocidad máx./min	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0,5	2,5	0,42
Alternativa 2	0		0	1	0,17
Alternativa 3	0,5	1		2,5	0,42
Total				6	1,00

$$a1 = a3 > a2$$

Tabla 11: Evaluación de las alternativas de solución con respecto a sistema mecatrónico

Sistema mecatrónico	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1	2,5	0,42
Alternativa 2	0,5		1	2,5	0,42
Alternativa 3	0	0		1	0,17
Total				6	1,00

$$a1 = a2 > a3$$

Tabla 12: Evaluación de las alternativas de solución con respecto a límite de carga

Límite de carga	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0,5	2,5	0,42
Alternativa 2	0		0	1	0,17
Alternativa 3	0,5	1		2,5	0,42
Total				6	1,00

$$a1 = a3 > a2$$

Tabla 13: Evaluación de las alternativas de solución

Conclusiones	Portabilidad	Interfaz	Mantenimiento	Velocidad máx./min	Sistema mecatrónico	Límite de carga	Σ	Ponderación
Alternativa 1	0,08	0,07	0,08	0,03	0,09	0,09469697	0,44	1
Alternativa 2	0,03	0,02	0,03	0,01	0,09	0,03787879	0,23	3
Alternativa 3	0,08	0,02	0,08	0,03	0,04	0,09469697	0,34	2
Total							1	

Una vez que se obtuvieron los datos de las 3 alternativas de solución que se muestran en la tabla 13, se analiza y se determina que la mejor solución es la alternativa 1, ya que cumple con los criterios propuestos.

4.4 Diseño del sistema

Se describe el diseño funcional del sistema, traduciendo los requisitos y parámetros definidos en secciones previas en una solución técnica. Se detallan los componentes principales, lo cual es fundamental para el desarrollo del sistema.

4.4.1 Propuesta de solución

Se presenta la solución para el diseño del sistema de entrenamiento aliviado para escalada de velocidad. Esta solución incorpora componentes fundamentales y se realizan los cálculos previos a la selección de los elementos que conforman el sistema.

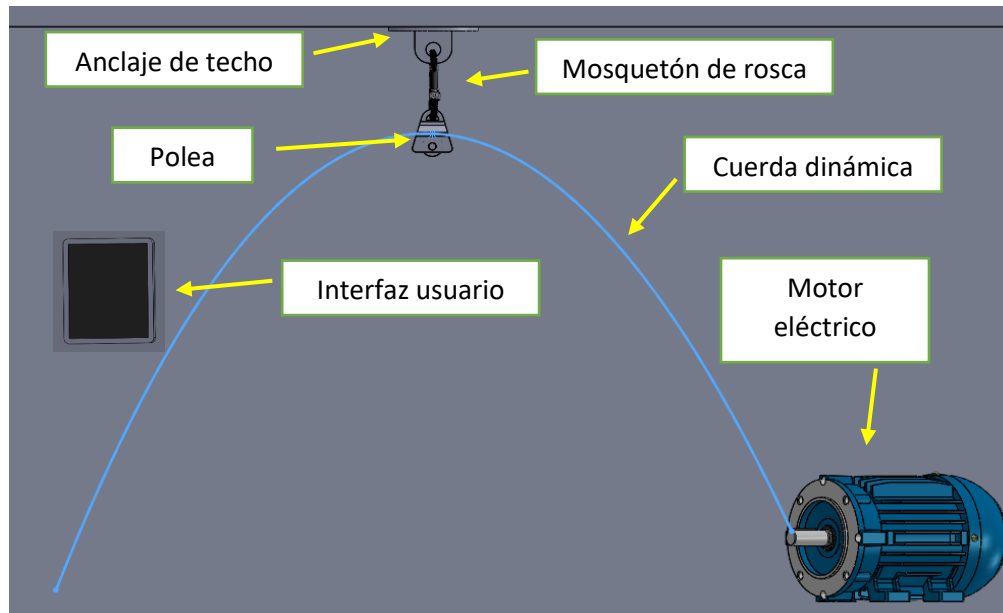


Fig. 20. Solución planteada, diseño del sistema de entrenamiento para escalada de velocidad.

4.4.2 Diseño del sistema de entrenamiento

Cálculos de los elementos que componen el sistema

Cálculos para la cuerda

Consideraciones iniciales:

Masa del escalador: 100 kg

Gravedad: $9,81\text{m/s}^2$

Cálculo del peso estático del escalador, (ver Ecuación 1):

$$P_{\text{escalador}} = 100 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 981 \text{ N} \quad (1)$$

Carga efectiva (50% del peso) que el sistema debe levantar, (ver Ecuación 2):

$$0,50 * 981 = 490,5\text{N}$$

$$T_{operación} = \frac{\text{carga efectiva a levantar}}{2(\text{ventaja mecánica } 2:1)} = \frac{490,5N}{2} = 245,25 N \quad (2)$$

Cálculo de la fuerza de seguridad, (ver Ecuación 3):

$$F_{seg} = F_{choque} = 8,5 kN \quad (3)$$

Cálculos para la polea

Parámetros:

Masa del escalador: 100 kg

Gravedad: 9,81m/s²

Alivianamiento: 50%

Cálculo de la fuerza de operación sobre la polea, (ver Ecuación 4):

$$F_{op} = 0,50 * (m * g) = 0,50 * \left(100kg * \frac{9,81m}{s^2}\right) = 0,50 * 981 N \quad (4)$$

$$F_{op} = 490,5 N = 0,4905 kN$$

Fuerza de seguridad: La polea soporta la suma de las tensiones máximas en ambos ramales de la cuerda en caso de caída, (ver Ecuación 5):

$$F_{polea_{seguridad}} = 2 * F_{choque} = 2 * 8,5 kN = 17 kN \quad (5)$$

Verificación, el valor de mínimo 20 kN es el cual una polea estandarizada puede soportar para para cualquier aplicación de deportes de escalada : $17 kN < 20 kN$.

Cálculo del factor de seguridad, (ver Ecuación 6):

$$FS_{polea} = \frac{\text{Capacidad de la polea}}{\text{Fuerza maxima en caso de caída}} = \frac{20 kN}{17 kN} = 1,18 \quad (6)$$

Cálculos para el anclaje móvil

Se obtiene el resultante de la ecuación 2:

$$F_{anclaje_op} = T_{operación} = 0,245 \text{ kN}$$

Cálculo de la fuerza de seguridad, (ver Ecuación 7):

$$F_{anclaje_seg} = F_{choque} = 8,5 \text{ kN} \quad (7)$$

El anclaje de alta calidad soporta 25 kN para aplicaciones de seguridad, y se considera para aplicaciones de escalada un mínimo de 15 kN.

$$8,5 \text{ kN} < 15 \text{ kN}$$

Cálculo del factor de seguridad, (ver Ecuación 8):

$$FS_{anclaje} = \frac{\text{resistencia nominal del anclaje}}{\text{fuerza de seguridad}} = \frac{15 \text{ kN}}{8,5 \text{ kN}} = 1,76 \quad (8)$$

Cálculos para el mosquetón

Fuerza de operación sobre el mosquetón, (ver Ecuación 9):

$$F_{mos_op} = T_{operación} = 0,245 \text{ kN} \quad (9)$$

Fuerza de seguridad se obtenido de la ecuación:

$$F_{seg} = 8,5 \text{ kN}$$

Verificación: los mosquetones estandarizados soportan cargas mínimas 20 kN hasta cargas máximas de 40 kN y se toma el valor un valor intermedio de 25 kN para aplicaciones de escalada.

$$\text{Verificación: } 8,5 \text{ kN} < 25 \text{ kN}$$

Cálculo del factor de seguridad, (ver Ecuación 10):

$$FS_{\text{mosquetón}} = \frac{\text{resistencia nominal longitudinal del mosquetón}}{\text{fuerza de seguridad}} = \frac{25 \text{ kN}}{8,5 \text{ kN}} = 2,94 \quad (10)$$

Cálculos para determinar la potencia necesaria del motor

Para diseñar el sistema que deseamos es importante definir el peso máximo del usuario, ya que mediante esto se puede definir la carga máxima del sistema.

El peso máximo del usuario de 100 kg, esto incluye la mayoría de usuarios adultos y situaciones dinámicas modernas. Además, se considerará gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$), altura de la pared (15m), tiempo de subida de acuerdo al récord mundial de escala de velocidad (4,64s), con una asistencia del 50%.

Cálculo de peso total, (ver Ecuación 11):

$$F_{\text{peso}} = 100 * 9,81 = 981 \text{ N} \quad (11)$$

Cálculo de Asistencia del 50%, (ver Ecuación 12):

$$F_{\text{asistencia}} = 0,5 * 981 = 490,5 \text{ N} \quad (12)$$

Cálculo de la velocidad de subida, (ver Ecuación 13):

$$v = \frac{h}{t} \quad (13)$$

$$v = \frac{15}{4,64} \approx 3,2328 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se calcula la potencia mecánica del motor con la siguiente fórmula, (ver Ecuación 14):

$$P = F * v \quad (14)$$

$$P = 490,5 * 3,2328 \approx 1,59 \text{ kW}$$

En caso de que el motor y la transmisión no sea del 100% eficiente entonces se considera un rango de (80-90%) y la potencia requerida sería mayor.

Cálculo de la potencia eléctrica requerida (85% eficiencia), (ver Ecuación 15):

$$P_{eléctrica} = \frac{1,59}{0,85} \approx 1,87 \text{ kW} \quad (15)$$

Convirtiendo a caballos de fuerza (HP):

$$1,87 \text{ kW} * 1,341 = 2,51 \text{ HP}$$

Por lo tanto, es necesario seleccionar un motor comercial de 3 HP para el sistema . En el mercado nacional Ecuador, estos motores están diseñados para operar con una frecuencia de red eléctrica (60Hz) y se caracterizan por una velocidad de rotación de 1200RPM, la cual corresponde a un motor de 6 polos. El diámetro del eje, es una especificación principal para la transmisión, es comúnmente de 22 mm en este tipo de equipos.

Cálculo para determinar la velocidad de subida deseada

El objetivo es alcanzar la velocidad de subida de 3,23 m/s a una altura de 15m.

Definimos la rotación angular del tambor para lograr la velocidad de 3,23m/s, (ver Ecuación 16):

$$v = \omega * r \rightarrow \omega = \frac{v}{r} \quad (16)$$

RPM necesarios para calcular el tambor, (ver Ecuación 17):

$$\omega = \frac{2\pi * RPM}{60} \quad (17)$$

Sustituyendo en la ecuación 16 se obtiene:

$$v = \frac{2\pi * RPM}{60} * R \rightarrow RPM = \frac{v * 60}{2\pi * r}$$

Para cumplir con la velocidad de subida de 3,23 m/s, existen varios tamaños de tambor comerciales. Se realizarán los cálculos con un radio promedio de entre los tambores comerciales y existentes (radio 80mm).

Cálculo de RPM necesarias en el tambor, (ver Ecuación 18):

$$RPM = \frac{v * 60}{\pi * D} = \frac{3,23 * 60}{\pi * 0,160} = 385,55RPM \quad (18)$$

Se determina que es necesario una caja reductora con relación de transmisión de 3:1, que están disponibles en mercado (ver Ecuación 19):

$$Relación\ de\ transmisión = \frac{RPM_{motor}}{RPM_{tambor}} = 3:1 \quad (19)$$

Dado que las cuerdas comerciales parten de un diámetro mínimo de 9 mm y es considerando que en los entrenamientos se busca aligerar la carga mediante el uso de una cuerda de menor diámetro, se elige este valor como referencia para los cálculos.

Para almacenar la cantidad de cuerda necesaria sin enredos ni sobrepuestos, se selecciona una longitud de tambor de 200mm.

Se calcula las vueltas necesarias por capa, (ver Ecuación 20):

$$Vueltas\ por\ capa = \frac{Longitud\ del\ tambor}{Diámetro\ de\ la\ cuerda} = \frac{200}{9} = 22 \quad (20)$$

Para cada capa:

Capa 1: 10,64m

Capa 2: 11,25m

Capa 3:11,88m

Con 3 capas de 22 vueltas por capa, se almacenaría más de 30 metros de cuerda que es suficiente para los requerimientos del sistema.

Una vez realizados los cálculos correspondientes, se describe de manera general el sistema de entrenamiento alivianado para escalada de velocidad.

Sistema de asistencia

Motor eléctrico de alta eficiencia y torque que proporciona fuerza y tracción controlada para alivianar el peso del escalador. Además de la incorporación de un freno en si misma con el cual se controla la velocidad de subida.

Control electrónico

El sistema de control electrónico está integrado por un módulo ESP32, el cual actuará como unidad central de procesamiento. Este módulo se encargará de la adquisición de datos provenientes de sensores y de la gestión del motor del sistema.

Para la transferencia de datos y la interacción con el usuario, se implementará una conexión inalámbrica mediante WI-FI hacia una interfaz alojada en una Tablet. Esta interfaz permitirá al usuario seleccionar el nivel de asistencia deseado para el entrenamiento, así como visualizar en tiempo real parámetros críticos como el tiempo, la velocidad y la carga aplicada.

Seguridad

La implementación de medidas de seguridad es importante para garantizar la integridad física de los usuarios del sistema. Para ello se incorporan los siguientes componentes esenciales:

Mosquetón de cierre automático: Este elemento es de aleación de aluminio que tiene una fuerza de rotura de 25kN, se empleará para el anclaje seguro de la cuerda al arnés de seguridad del escalador. Su mecanismo de cierre automático minimizará el riesgo de apertura accidental, proporcionando una conexión fiable y robusta.

Polea LIXADA: elemento fijo con rodamiento, de aluminio, canal de 10-12mm, lo que es ideal para cuerdas dinámicas. Con una resistencia a la rotura de 20kN.

Anclaje de techo: Indispensable para soportar las cargas de los elementos de seguridad y al usuario.

Cuerda dinámica de 9mm: De muy buena resistencia con una fuerza de choque de 8,5kN, de material poliamida ideal para absorber la energía de una caída, reduciendo la fuerza de impacto sobre el deportista.

A continuación, se detallan los elementos seleccionados que conformaran el sistema de entrenamiento alivianado de escaldad de velocidad.

4.4.3 Descripción de los principales elementos que integran en la solución propuesta para el sistema de entrenamiento alivianado para escalada de velocidad.

Anclaje de techo para Aéreos

Para garantizar la seguridad y fiabilidad de anclaje en el techo que está destinado a la práctica de deportes aéreos, el componente principal de sujeción ha sido seleccionado considerando la normativa europea de equipos de protección individual. Para la selección de este componente se basó en la UNE-EN795:2012, norma que establece los requisitos y métodos de ensayo para dispositivos de anclaje utilizados en sistemas de protección contra caídas. Esta placa se clasifica como un anclaje clase A1 [44].

Este anclaje es una robusta placa de acero galvanizado sin soldaduras, el cual se desea emplear para anclar mediante un mosquetón de rosca a la polea. Este elemento tiene refuerzo de silicona en el ojal de anclaje del mosquetón, para minimizar el desgaste, además proporciona el factor de seguridad necesario para absorber las cargas dinámicas generadas en movimientos o impactos súbitos, que son mucho mayores que el peso corporal. (ver Fig. 21) [45].



Fig. 21. Anclaje de techo [45].

Tabla 14: Especificaciones de la placa de anclaje

Características	Descripción
Diámetro de la placa	12cm
Diámetro de los agujeros	1cm
Espesor de la placa	6mm
Material	Acero galvanizado

Polea de escalada de carga móvil

La polea de escalada de carga móvil es un componente mecánico esencial para la gestión de fuerzas y la optimización del movimiento de la cuerda. La polea LIXADA que se selecciona está diseñada y fabricada en conformidad con la norma UNE-EN12278:2007, esta norma especifica las características que debe cumplir las poleas para garantizar su correcto funcionamiento y la seguridad de los usuarios [46].

De instalación fácil y rápida. Todos los bordes son amigables con la cuerda, lo que permite la fijación directa que minimiza el volumen y maximiza la versatilidad. Con una tasa de resistencia a la rotura de 20kN, este valor indica la carga máxima que puede soportar a lo largo de su eje principal de aplicación de fuerza. Este elemento se indica en la (Fig. 22) [47].



Fig. 22. Polea de 20kN [47].

Tabla 15: Especificaciones de la polea

Características	Descripción
Material	7075 aleación de aluminio
Fuerza de rotura	20kN
Diámetro de la cuerda	12mm
Peso	120g

Cuerda Dinámica 9mm

Para este sistema, la cuerda dinámica es un componente crítico que demanda un cumplimiento riguroso de las normativas de seguridad. La cuerda seleccionada está diseñada y

certificada bajo la norma UNE-EN892:2013+A1:2017, que establece los requisitos de seguridad y métodos de ensayo para cuerdas dinámicas usadas en alpinismo y escalada [48].

Para el sistema, donde los movimientos dinámicos son constantes, la capacidad de la cuerda es muy importante, este elemento proporcionará una amortiguación esencial y evitando la transmisión de fuerzas excesivas. Esta cuerda tiene una excelente resistencia, es especialmente adaptada para una utilización intensiva o diaria, además proporciona una excelente sujeción con la mano y una manejabilidad constante en el tiempo (ver Fig. 23) [49].



Fig. 23. Cuerda dinámica de 9mm [49].

Tabla 16: Especificaciones de la cuerda

Características	Descripción
Diámetro	9mm
Tipo de cuerda	CE EN 892 y UIAA
Peso por metro	54g
Alargamiento estático	7,6%
Alargamiento dinámico	34%
Fuerza de choque	8,5 kN
Material	Poliamida
Número de caídas factor	1,77:5

Mosquetón 991

Como conector esencial dentro del sistema de entrenamiento alivianado el mosquetón seleccionado está certificado bajo la norma UNE-EN12275:2013, establece los requisitos que debe cumplir los mosquetones utilizados en actividades como el alpinismo y escalada. Está fabricado en aluminio forjado, ofrece un sistema de rosca en su gatillo, lo cual es fundamental para prevenir aperturas accidentales y asegurar una conexión fiable entre los componentes del sistema [50].

Este componente es ideal para este tipo de entrenamientos, de uso sencillo, además tiene alta resistencia estática, ofreciendo un margen de seguridad amplio. (ver Fig. 24) [51].



Fig. 24. Mosquetón con cierre de rosca [51].

Tabla 17: Especificaciones del mosquetón

Características	Descripción
Abertura	22.5mm
Material	Aleación de aluminio
Peso	74,6gr
Resistencia estática	25 kN

Módulo ESP32

El controlador principal del sistema se basa en el módulo ESP-32, su uso está orientado para IoT sin embargo se puede aplicar en muchas áreas, ya que tiene una característica de rendimiento muy altas como procesador. Este microcontrolador es el encargado de leer los datos del sensor y enviarlo a la Tablet en donde se reflejará la información que se obtiene al momento del entrenamiento.

La selección de este módulo se justifica por su equilibrio entre la capacidad de procesamiento, conectividad inalámbrica, lo cual es una solución robusta para la implementación de un sistema de control y monitoreo (ver Fig. 25) [52].



Fig. 25. Módulo ESP 32 [52].

Tabla 18: Especificaciones del módulo ESP-32

Características	Descripción
Pines	38 pines
Conector	Tipo C
Memoria RAM	240MHz
Corriente	Inferior a 5 uA
Velocidad	80 MHz a 240MHz

Conectividad

Wi-fi y Bluetooth

Compatibilidad

Arduino IDE, Micro Python, Visual Studio Code

Tablet

La elección de la Tablet como interfaz del sistema se fundamenta en la capacidad que ofrece, una interacción intuitiva y ágil mediante su pantalla táctil, facilitando la navegación y la entrada de datos. La portabilidad y lo ligero que es este dispositivo es una ventaja económica frente a soluciones basadas en computadoras portátiles. Su diseño compacto y robusto lo hace ideal para ser utilizada en el entorno de entrenamientos, donde la adquisición de datos y la visualización en tiempo real son fundamentales [53].

Tabla 19: Especificaciones de la Tablet

Características	Descripción
Potabilidad	Muy ligera
Precio	Menor que un computador
Funcionalidad	Múltiples aplicaciones
Unidad de disco	Disco sólido para mejor rendimiento
Conectividad	Wi-Fi y Bluetooth

Motor eléctrico

El elemento motriz principal encargado de proporcionar la fuerza necesaria para el sistema de alivianamiento. Este es un motor eléctrico WEG de 3 caballos de fuerza (HP), equivalente a 2.23 kilovatios (kW). Incluye freno que es clave para el control preciso del movimiento y la seguridad. La elección de esta potencia es ideal para el sistema, que permite generar la velocidad

y el par necesario para poder alivianar el peso del escalador, garantizando el ascenso del atleta. Este tipo de motor puede operar en configuraciones trifásicas o monofásicas lo que facilita su integración en distintas infraestructuras eléctricas. (ver Fig. 26) [54].



Fig. 26. Motor eléctrico de 3HP [54].

La selección del motor es de acuerdo a la capacidad para proveer la potencia requerida de manera eficiente, y además de su facilidad de operación. En el ANEXO E, se muestran los datos eléctricos del motor.

Tabla 20: Especificaciones de motor eléctrico

Características	Descripción
Frecuencia	60/50 Hz
Tensión	230/460/380 V
Número de polos	6
Diámetro de eje	22 mm
Rotación síncrona	1200 rpm
Potencia	3HP
Fijación	Con pies

4.4.4 Diseño estructural

El diseño estructural del prototipo se basa en una serie de parámetros clave para garantizar la seguridad y funcionalidad del sistema. Estos parámetros incluyen la capacidad de carga máxima que debe soportar, la resistencia del material y la estabilidad de la estructura.

Análisis estructural

Parámetros:

Carga máxima aplicada hacia arriba: 1000N

4 fuerzas puntuales de $F_v = 137,5N$ aplicadas hacia abajo en las patas del motor, sobre la estructura.

El perfil estructural 40x40x1,2mm fue elegido, por la disponibilidad en el mercado nacional, y además ofrece alta resistencia y rigidez para soportar cargas. Es ligero y económico, el acabado galvanizado lo hace resistente a la corrosión.

Perfil estructural: tubo cuadrado 40x40x1.2mm elegido para realizar los siguientes cálculos:

Calidad del material: SAE J 403 1008

Acabado: Acero negro y galvanizado

Propiedades geométricas del perfil:

Lado exterior: $b = h = 40mm$

Espesor de pared: $t = 1.2mm$

Lado interior: $b_i = h_i = 40 - 2 * 1,2 = 37,6mm$

Cálculo del área de sección transversal (A), (ver Ecuación 21):

Para un tubo cuadrado hueco, el área se calcula:

$$A = b^2 - b_1^2$$
$$A = 40^2 - 37,6^2 = 186,24mm^2$$
(21)

Momento de inercia de área (I) respecto al eje centroidal – sección cuadrada, (ver Ecuación 22):

$$I_x = I_y = \frac{b^4 - b_i^4}{12}$$
$$I_x = \frac{40^4 - 37,6^4}{12} = 46773,56mm^4$$
(22)

Cálculo del módulo de sección elástica (S), (ver Ecuación 23):

$$S = \frac{I}{c} \text{ donde } c = \frac{b}{2} = 20mm$$

Obteniendo lo siguiente:

(23)

$$S = \frac{46773,56}{20} = 2338,678mm^3$$

Cálculo del radio de giro (i),(ver Ecuación 24):

El radio de giro se usa en análisis de pandeo, y se define como:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$
$$i = \sqrt{\frac{46773,56mm^4}{186,24mm^2}} = 15,85mm$$
(24)

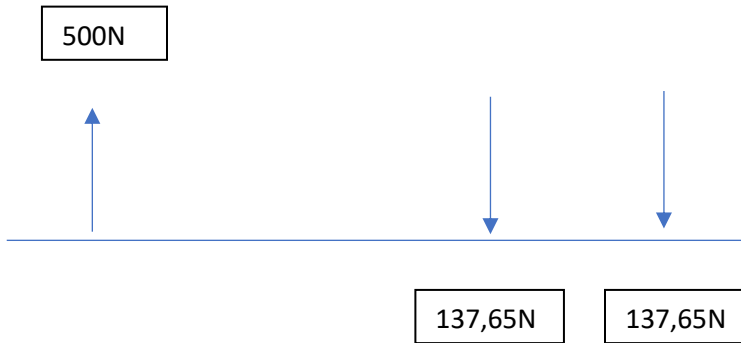
Propiedades del material (SAE 1008):

Módulo de elasticidad(E): $200 \times 10^3 MPa$ (200GPa)

Límite de fluencia (σ_y): 310MPa

Límite de cortante (τ_y): $0,5 * \sigma_y = 155MPa$

Diagrama de cuerpo libre (DCL) estructura



Estudio en una viga aplicando las siguientes cargas:

2 fuerzas puntuales de $F_v = 137,5N$ aplicadas hacia abajo en las patas del motor

Se calcula la carga vertical total de la viga (hacia abajo), (ver Ecuación 25):

$$F_{v,total} = 2 * 137,5N = 275N \quad (25)$$

Dado que las cargas aplicadas en las bases del motor se distribuyen de manera no uniforme, para obtener un cálculo con precisión en un punto se asume el valor de 73 N, este valor fue seleccionado como superior a la mitad de la carga de 137,5N, lo que permite cubrir los escenarios donde la concentración de esfuerzos puede ser más crítico.

La carga neta que causa flexión en un punto de la viga es:

$$P = 73N$$

Carga aplicada hacia arriba: $F_h = 1000N$ en el eje del motor.

Carga neta vertical calculada, (ver Ecuación 26):

$$F_{net,v} = 1000N(arriba) - 500N(abajo) = 450N(hacia\ arriba) \quad (26)$$

Flexión y cortante en miembros horizontales

Luz horizontal crítica: $L = 570mm$

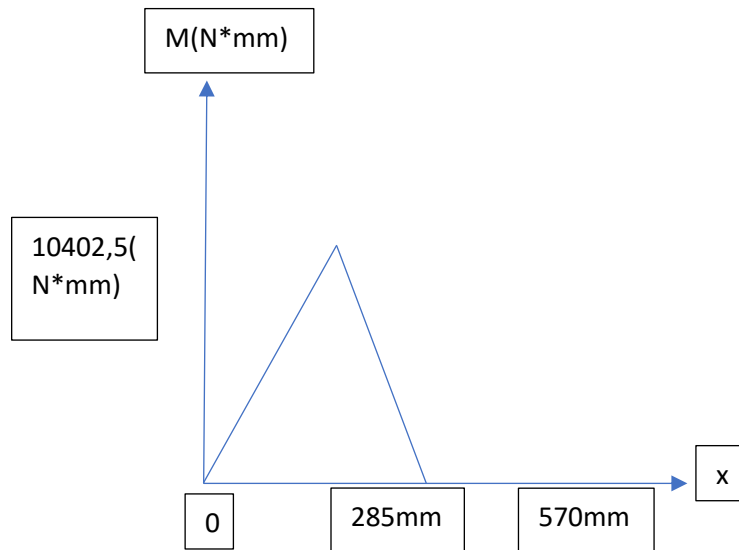
Fuerza puntual: 500N

Momento flector máximo (M_{max})

El momento flector máximo ocurre en el centro:

$$\frac{P * L}{4} = \frac{73N * 570mm}{4} = 10402,5 N * mm$$

Diagrama de momento flector



Esfuerzo por flexión ($\sigma_{flexión}$)

Usando el módulo de sección elástica $S = 2338,678mm^3$ obtenido de la ecuación 23, calculamos:

$$\sigma_{flexión} = \frac{M_{max}}{S} = \frac{10402,5 * mm}{2338,678mm^3} = 4,448MPa \quad (27)$$

Cálculo de la deformación por flexión ($\delta_{flexión}$), (ver Ecuación 28):

$$\delta_{flexión} = \frac{P * L^3}{48 * E * I} \quad (28)$$

La longitud de la viga estudiada es de 570 mm.

Módulo de elasticidad : 200000 MPa

Momento de inercia: $I = 46773,56mm^4$ obtenida en la ecuación 22.

Sustituyendo obtenemos:

$$\delta_{flexión} = \frac{73N * (570mm)^3}{48 * 200000MPa * 46773,56mm^4} = 0,030mm$$

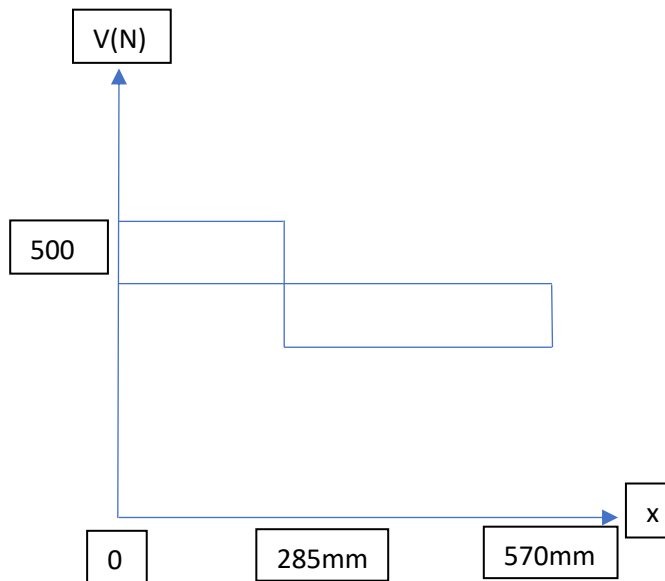
Fuerza cortante máxima (V_{max})

$$V_{max} = \frac{P}{2} = \frac{73N}{2} = 36,5N$$

Cálculo del esfuerzo cortante ($\tau_{cortante}$), (ver Ecuación 29):

$$\tau_{cortante} = \frac{V_{max}}{A} = \frac{36,5N}{186,24mm^2} = 0,1959MPa \quad (29)$$

Diagrama de fuerza cortante



Verificación de esfuerzos combinado (Von Mises), (ver Ecuación 30):

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{flexión}^2 + 3\tau_{cortante}^2} = \sqrt{(4,448\text{MPa})^2 + 3(0,1959\text{MPa})^2} = 4,46\text{ MPa} \quad (30)$$

Factor de seguridad en la viga:

$$FS = 18,45$$

Diseño CAD

Se realiza el diseño CAD en SolidWorks, obteniendo la estructura con las dimensiones adecuadas que soportará el motor y elementos adicionales que lo componen. Dimensiones de la estructura: 650mm x 450mm x 400mm (ver Fig. 27). Los planos CAD de la estructura general se encuentran en ANEXO C.

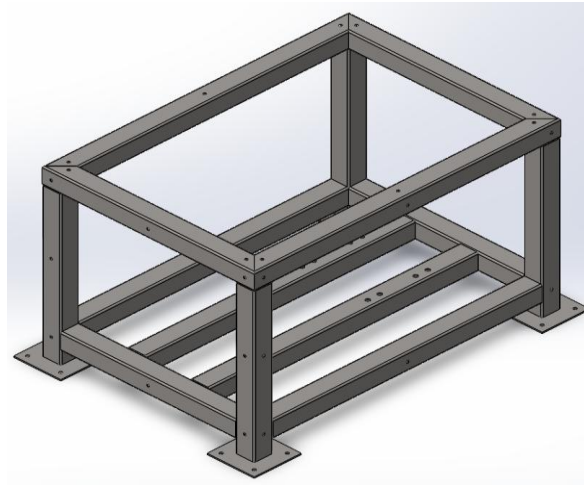


Fig. 27. Modelo CAD estructura del sistema de entrenamiento.

4.4.5 Diseño eléctrico y electrónico

Se presenta la interconexión entre varios componentes clave, permitiendo controlar un motor mediante un microcontrolador ESP32, este sistema permite apagar y encender un motor de alta potencia de forma segura, usando un microcontrolador para la automatización, un relé y un contactor para manejar la potencia del motor, y fusibles termomagnéticos para proteger todo el circuito.

Circuito eléctrico del sistema de control para un motor trifásico, utilizando el microcontrolador EPS32 y un módulo de relé y el esquema de conexiones (ver Fig. 28 y Fig. 29)

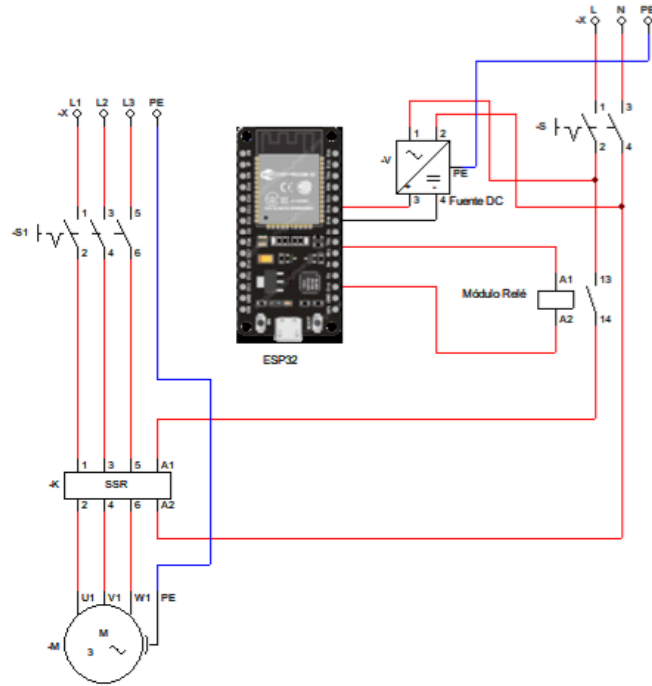


Fig. 28. Circuito eléctrico de potencia.

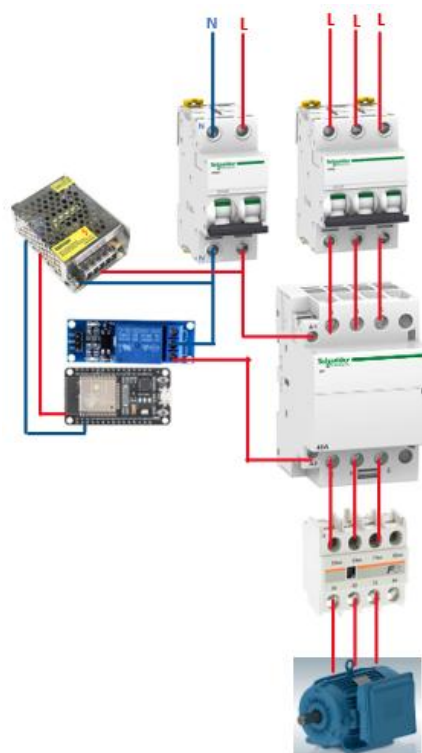


Fig. 29. Esquema de conexiones para potencia.

Monitoreo y control

El esquema representa un sistema que utiliza el microcontrolador ESP32 para monitorear una entrada de un sensor y controlar un dispositivo de salida, se usa una fuente DC 5v, módulo relé el microcontrolador ESP32 y un sensor FC03 (ver Fig. 30).

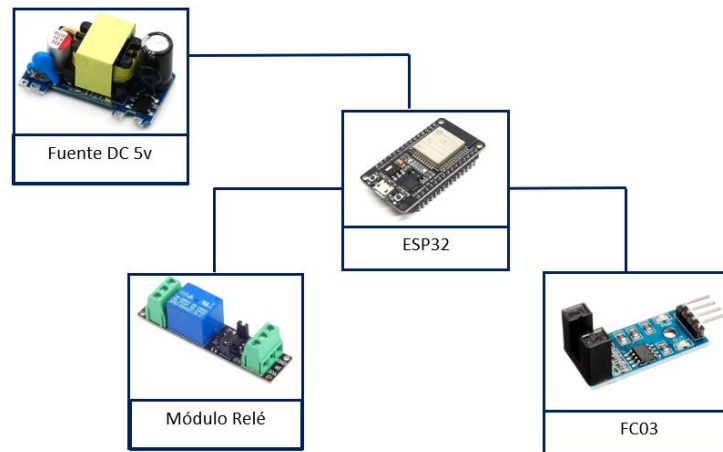


Fig. 30. Esquema lineal de monitoreo y control.

Circuito diseñado para que el microcontrolador ESP32, al recibir una señal del sensor FC03, envíe una señal al módulo relé para que este active o desactive el dispositivo, además se presenta el esquema de conexiones del circuito de monitoreo y control (ver Fig. 31 y Fig.32).

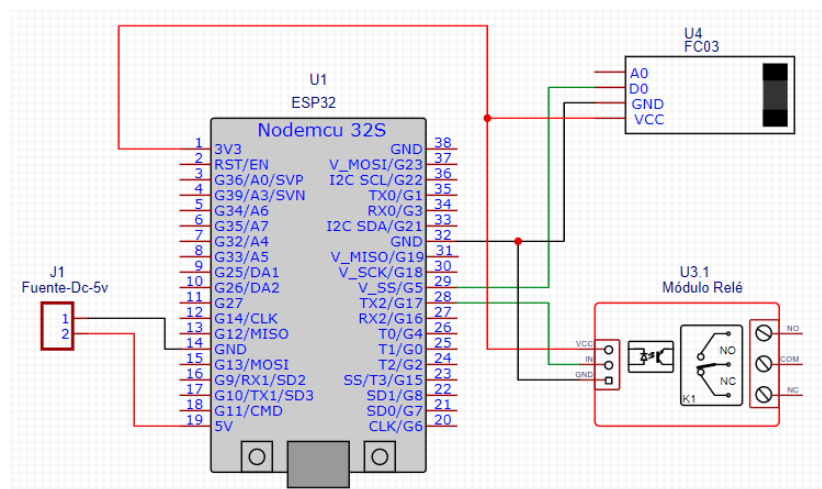


Fig. 31. Circuito electrónico de monitoreo y control.

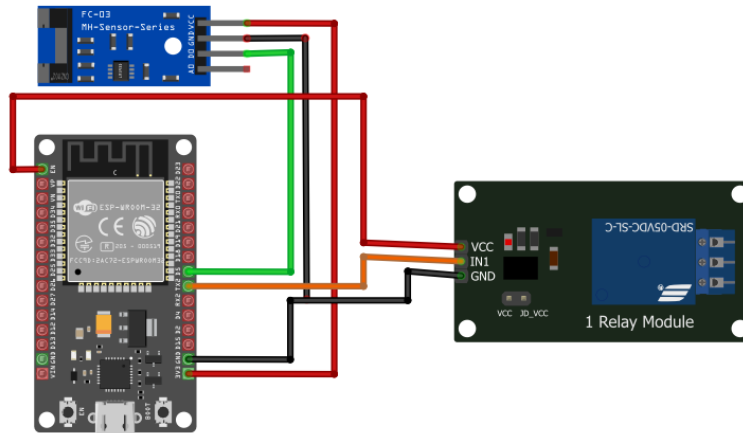


Fig. 32. Esquema de conexiones para el sistema de monitoreo y control.

Aplicación de control

Comunicación MQTT.

Para la etapa de monitoreo y control del sistema de entrenamiento, se desarrolló una aplicación que utiliza una conexión basada en un servicio público en la nube. Este servicio nos permite acceder a un servidor gratuito empleando el protocolo MQTT.

El protocolo MQTT funciona bajo un modelo de publicadores y suscriptores. El publicador es el encargado de enviar mensajes a un canal o topic específico, pudiendo transmitir tantos mensajes como sea necesario de forma indefinida. Por su parte, el suscriptor actúa como receptor, manteniéndose a la escucha de las publicaciones en dicho canal para procesar la información recibida.

En este proyecto, se creó el canal “Valor/RPM_MOTOR”, donde el ESP32 publica los valores de RPM obtenidos por el sensor. La aplicación se suscribe a este canal para recibir y mostrar las lecturas en un widget de la interfaz.

Para el control de encendido y apagado del motor, la aplicación envía el mensaje “ON” o “OFF” al canal “SEA_CONTROL_MOTOR”, al cual el ESP32 está suscrito. De esta forma, el microcontrolador interpreta las órdenes recibidas y ejecuta la acción correspondiente, el código para el microcontrolador ESP32 se encuentra en ANEXO A.

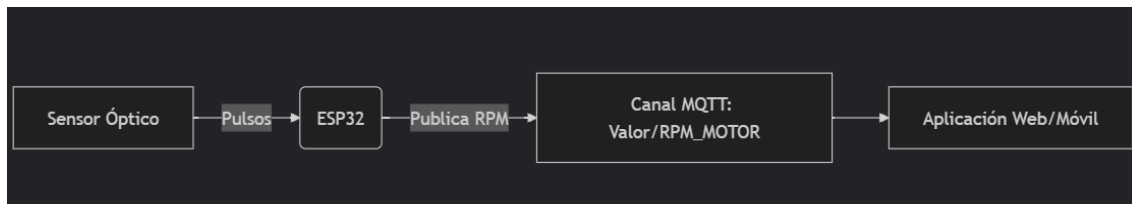


Fig. 33. Flujo de publicador-suscriptor (ESP32).

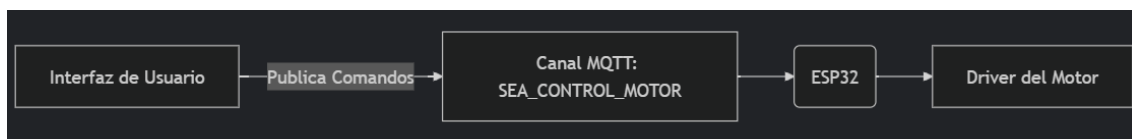


Fig. 34. Flujo del publicador-suscriptor (App).

Diagramas de flujo.

Para una mejor organización de las tareas asignadas a cada componente del sistema de monitoreo y control, se desarrollaron de forma independiente los diagramas de flujo correspondientes al microcontrolador y a la aplicación (ver Fig. 35 y Fig. 36).

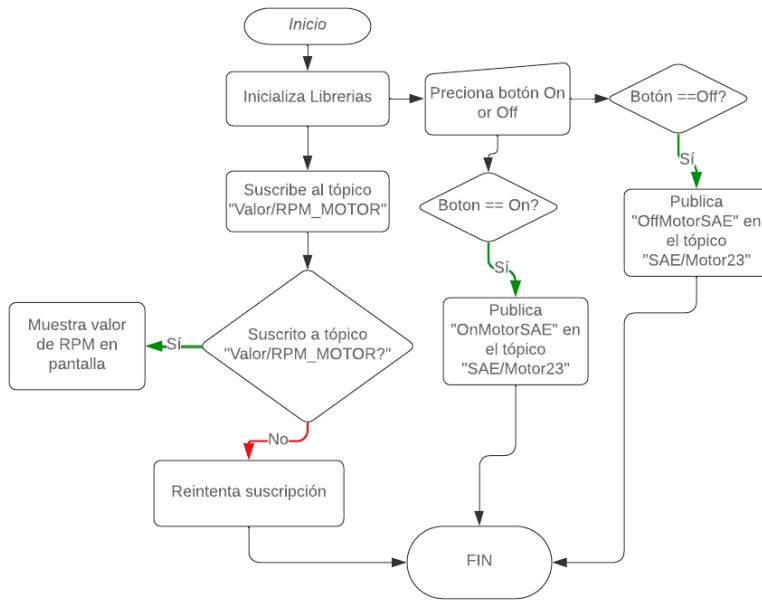


Fig. 35. Diagrama de flujo de ESP32.

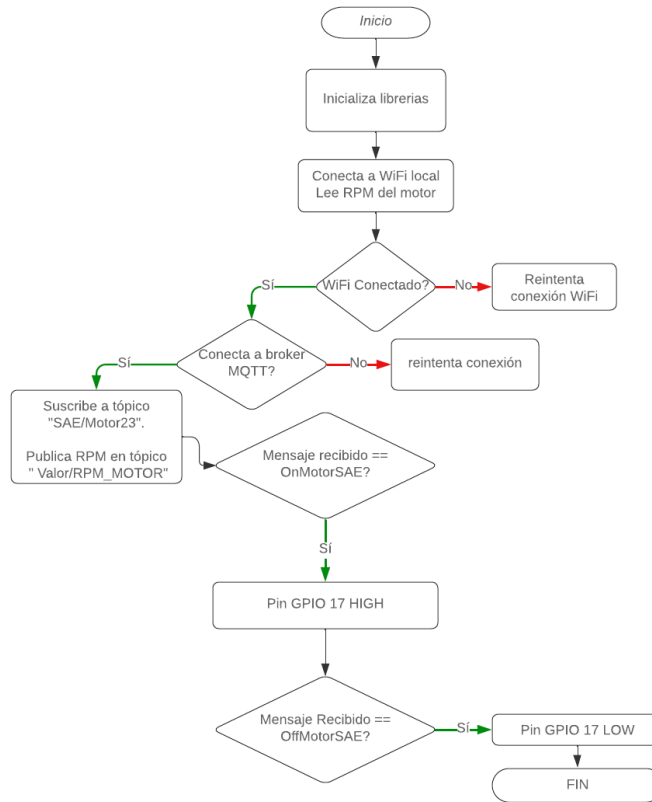


Fig. 36. Diagrama de flujo de aplicación.

Programación de Aplicación:

La aplicación fue desarrollada en Python utilizando la librería Flet, la cual permite crear interfaces gráficas (GUI) más atractivas, robustas y con una mejor organización de los widgets.

Para la comunicación mediante el protocolo MQTT, se empleó la librería paho.mqtt, que facilita la conexión con el servidor MQTT mediante la asignación de las credenciales del usuario.

Además, la aplicación permite ajustar la carga aplicada al sistema de entrenamiento mediante una slider, así como configurar los parámetros de velocidad de subida y tiempo de subida. También cuenta con botones para encender o apagar el motor, (ver Fig. 44) el código de la aplicación se encuentra en el ANEXO B.



Fig. 37. Aplicación de control

Análisis de costos

Mediante este análisis se determina el costo de los materiales y componentes que integran el sistema de entrenamiento alivianado, se basa en el diseño 3D, prototipo en SolidWorks, materiales que se emplean de acuerdo a las dimensiones del modelo 3D, precio unitario de cada elemento.

Materiales a costear:

Tubo estructural 40x40x1,2mm

Laminas galvanizadas de 1mm de espesor (para cubrir la estructura)

Cálculos

Tubo cuadrado estructural 40x40x1,2mm

Precio unitario: \$11,50 los 6 metros

$$\text{Precio por metro: } \frac{11,50}{6} = \$ \frac{1,92}{\text{metro}}$$

Longitudes de los segmentos:

$$\text{Soportes verticales (columnas): } 4 \text{ tubos} * \frac{360\text{mm}}{\text{tubo}} = 1440\text{mm}$$

$$\text{Marco parte superior: } 2 \text{ tubos} * \frac{650\text{mm}}{\text{tubo}} = 1300\text{mm}$$

$$\text{Marco parte superior: } 2 \text{ tubos} * \frac{450\text{mm}}{\text{tubo}} = 900\text{mm}$$

$$\text{Soportes inferiores: } 4 \text{ tubos} * \frac{570\text{mm}}{\text{tubo}} = 2280\text{mm}$$

$$\text{Soportes inferiores: } 2 \text{ tubos} * \frac{370\text{mm}}{\text{tubo}} = 740\text{mm}$$

Soporte para el tambor: 390mm

$$\text{Longitud total, en metros} = \frac{7,050\text{mm}}{1000} = 7,05\text{metros}$$

$$\text{Costo total del tubo: } 7,050 \text{ metros} * \frac{\$1,92}{\text{metro}} = \$13,54$$

Laminas galvanizadas (1mm de espesor)

Dimensión plancha estándar: 1220mm * 2440mm

Precio: \$30,87

Cálculos

Área de la plancha estándar

$$1,22\text{m} * 2,44\text{m} = 2,9768\text{m}^2$$

Precio por metro cuadrado

$$\frac{\$30,87}{2,9768\text{m}^2} = \frac{\$10,37}{\text{m}^2}$$

Dimensiones de las tapas de la estructura

Tapa Superior: 634mm x 434mm

Tapas Frontal y Posterior (2 unidades): 634mm x 354mm (cada una)

Tapas Laterales (2 unidades): 434mm x 354mm (cada una)

Cálculo del área total de láminas

$$\text{Área tapa superior} = 0,634\text{m} * 0,434\text{m} = 0,275156\text{m}^2$$

$$\text{Área tapa frontal/posterior} = 2 * (0,634\text{m} * 0,354\text{m}) = 0,448632\text{m}^2$$

$$\text{Área tapa laterales} = 2 * (0,434m * 0,354m) = 0,307272m^2$$

$$\text{Área total} = 1,03106m^2$$

Estimación de costo de la lámina galvanizada a medida con margen de corte.

Área de plancha con margen:

Considerando el desperdicio de corte y pequeñas variaciones se usa un 7,5% de margen de seguridad.

$$1,03106m^2 * (1 + 0,075) = 1,1088995m^2 \text{redondeando} = 1,11m^2$$

Costo estimado si se compra a medida

$$1,1m^2 * \frac{\$10,37}{m^2} = \$11,51$$

Tabla 21: Costos de los componentes seleccionados y materiales empleados en el diseño 3D

Nombre	Cantidad/Unidad	Precio Unitario	Subtotal(\$)
Anclaje de techo para aéreos	1 unidad	\$34,90	34,90
Polea LIXADA 20kN	1 unidad	\$13,29	13,29
Cuerda dinámica (9mm)	1 unidad	\$101,00	101,00
Mosquetón 991	1 unidad	\$16,70	16,70
Módulo ESP32	1 unidad	\$12,00	12,00
Tablet	1 unidad	\$110,00	110,00
Motor WEG	1 unidad	\$550,00	550,00
Tubo estructural 40x40x1,2mm	7.050metros	\$1.92/m	13.54
Laminas de galvanizadas (1mm)	1plancha	\$3.67/m	30,87
Bases 100x100x3mm	4 unidades	\$2.50/kg	2,36

Tubo Redondo diámetro 100mm*5mm espesor(tambor)	1 unidad	\$7,00	7,00
Perfil redondo macizo (eje del tambor)	1 unidad	\$2,50	2,50
Lámina de 3mm de espesor(tambor)	2 unidades	\$2.50/kg	4,00
Chumacera	1 unidad	\$15,00	15,00
Tornillos M5	42 unidades	\$0,12	5,04
Pernos M8	33 unidades	\$0,45	14,85
Contactador de 3 polos	1 unidad	\$23,00	23,00
Termomagnético 3X20A	1 unidad	\$18,00	18,00
Terminales	25 unidades	\$6,00	6,00
Modulo relé	1 unidad	\$3,00	3,00
Sensor FC03	1 unidad	\$4,00	4,00
Fuente AC/DC 5V	1 unidad	\$22,00	22,00
Total General			\$1009,050

Este análisis de costos de materiales proyecta un costo estimado de \$1009,050 USD. Este valor proporciona una base económica sólida para la evaluación del diseño, en lo que podemos identificar los componentes más costosos, y además evaluar la posible optimización de los materiales como se identifica en la plancha galvanizada, si se pudiese adquirir las dimensiones necesarias evitamos tener desperdicio de material adquirido.

4.5 Simulación del sistema diseñado

Se describe el proceso de simulación en SolidWorks del prototipo diseñado para validar su funcionamiento. Mediante la simulación se busca verificar que el diseño cumple con los requisitos

de carga establecidos, permitiendo identificar posibles fallos y optimizar la solución para garantizar su viabilidad.

4.5.1 Simulación del sistema propuesto

En la Fig. 38. Se demuestra la configuración inicial antes de iniciar el estudio de simulación. Se han establecido varias cargas de fuerza, aplicada en el ensamblaje específicamente en el motor, en las 4 bases, se aplican cargas de (137.5N) en cada base y además se aplica una carga en el eje del motor de (1000N). Y las restricciones que se colocan como(fijo) lo que mantienen en su lugar para poder realizar el análisis de elementos finitos (ver Fig. 38).

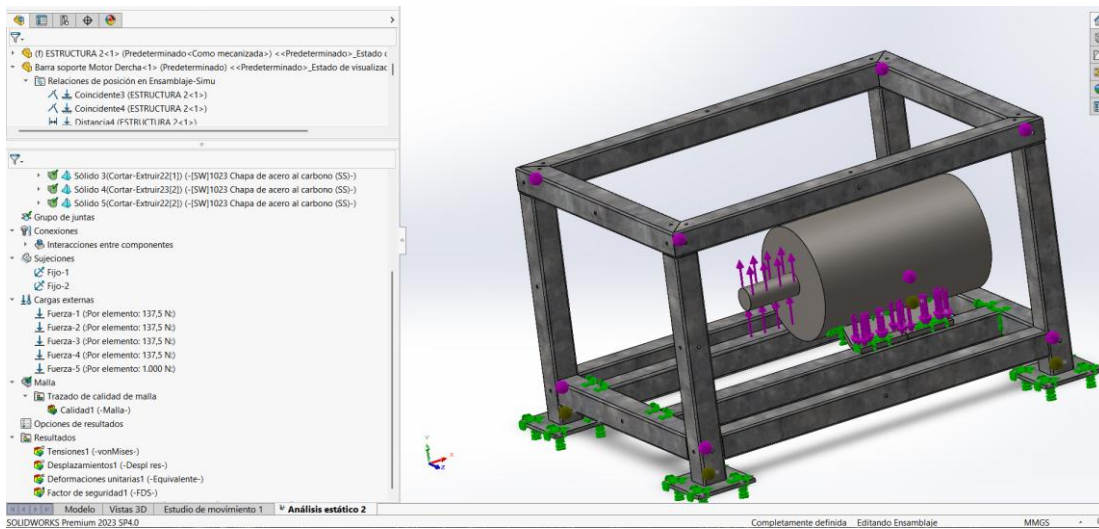


Fig. 38. Distribución de cargas en la estructura.

4.5.2 Simulación de la viga

En la figura 39, se observa la distribución de los esfuerzos de Von Mises en la viga. Este análisis estático indica el valor máximo de esfuerzo se alcanza en el nodo 96,272 con 4,7 MPa. Esta zona corresponde al punto mayor de concentración de tensión, que se ubica en la parte donde se aplicaron las cargas (zona de los pernos más crítica). En el resto de la viga, los esfuerzos se mantienen por debajo de 3 MPa, lo que demuestra que la estructura es capaz de soportar las cargas.

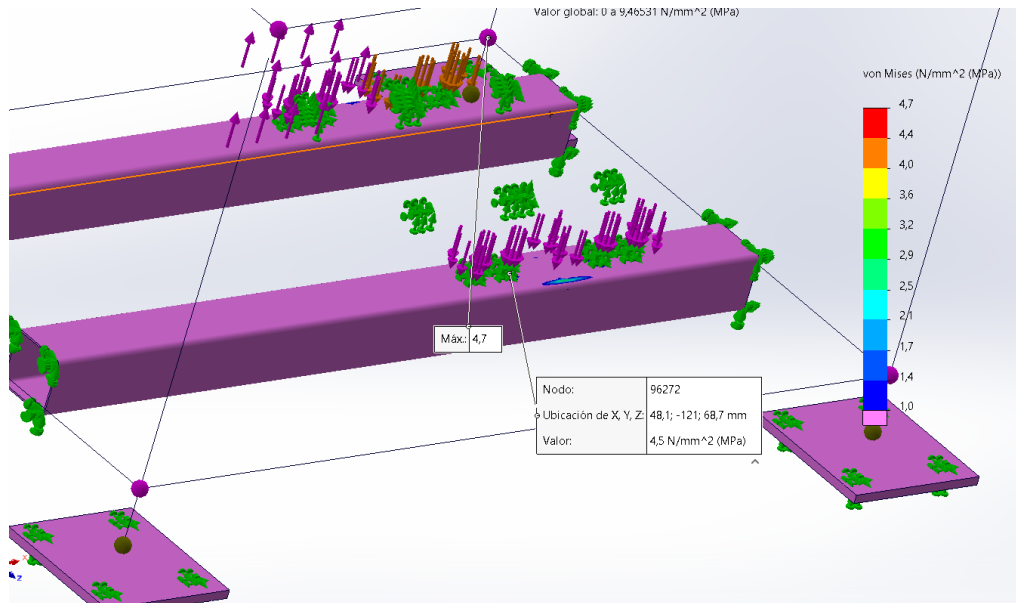


Fig. 39. Simulación de la viga

Curva de convergencia de esfuerzos (MPa)

En la siguiente gráfica, se puede observar la curva de convergencia que compara los resultados de un cálculo analítico con una simulación de elementos finitos en SolidWorks. La curva naranja horizontal representa el cálculo analítico, que es la solución y se mantiene constante en un esfuerzo máximo de 4,46 MPa, valor que se espera alcanzar con la simulación.

La curva azul indica los resultados de la simulación a medida que se incrementa el número de elementos comienza a converger, el esfuerzo máximo calculado se aproxima al valor analítico. Al final de la curva el esfuerzo de la simulación se estabiliza alrededor de 4,7 MPa valor muy cercano al resultado analítico de 4,46 MPa (ver Fig. 40).

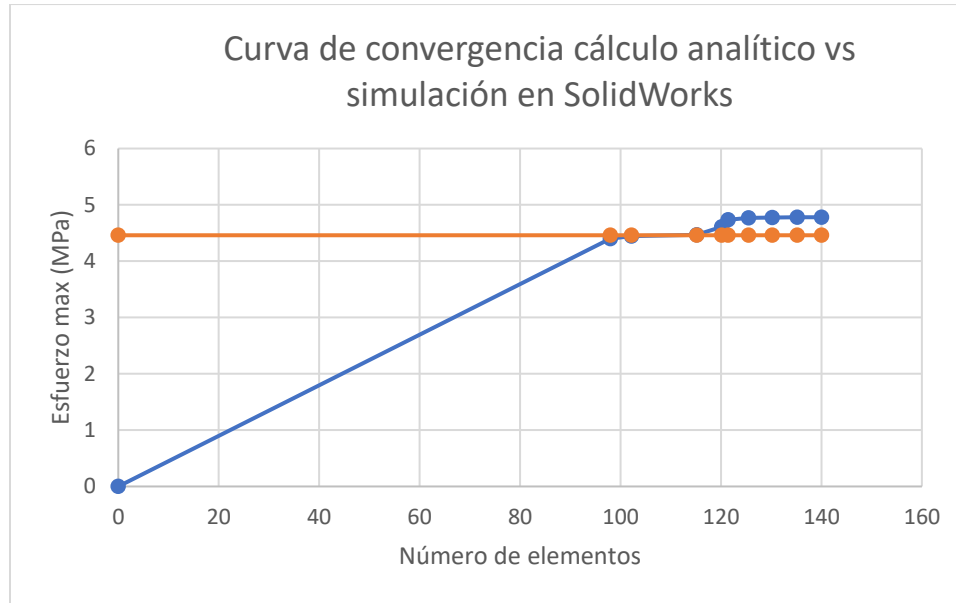


Fig. 40. Curva de convergencia cálculo analítico vs simulación en SolidWorks

La validación se lleva a cabo mediante la comparación de los resultados obtenidos por ambos métodos, lo cual permite verificar que el modelo computacional presenta exactamente el comportamiento de la estructura bajo cargas definidas.

Cálculo del error analítico – simulación en SolidWorks

$$Error\% = \frac{\text{valor simulado} - \text{valor analítico}}{\text{valor analítico}} * 100$$

$$4,7 - 4,46 = MPa$$

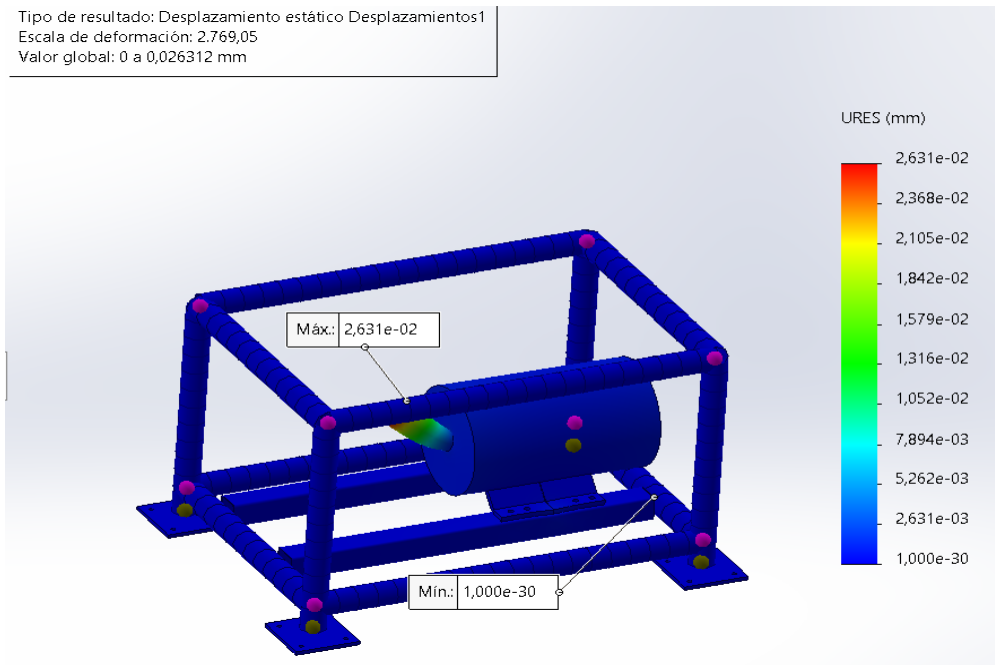
$$\frac{0,24}{4,46} = 0,0538$$

$$Error\% = 5,38\%$$

Simulación de la estructura final propuesta

Al realizar la simulación de elementos finitos de una viga y realizando la comparación entre el cálculo analítico y la simulación genera un error de 5,38% se procede a simular todo el diseño propuesto con 121,39 elementos finitos.

En la Fig. 41. Indica el análisis de cómo se deforma un ensamble bajo cargas estáticas, la deformación mostrada en el gráfico está escalada por un factor 2,769. El área con el máximo desplazamiento se encuentra en la parte inferior del eje (desplazamiento máximo de 0,026313mm). Esto se debe a las fuerzas aplicadas (1000N) que actúan en esa zona. La estructura muestra desplazamientos muy bajos en general, excepto donde la zona donde se coloca el motor, dicha zona experimenta alguna deformación debido a las cargas y la flexión de los soportes del motor.



En la Fig. 42. El análisis de factor de seguridad de la estructura indica el valor global (15,5426) esto indica que el diseño actual es seguro para las condiciones de carga especificadas, con un amplio margen de seguridad.

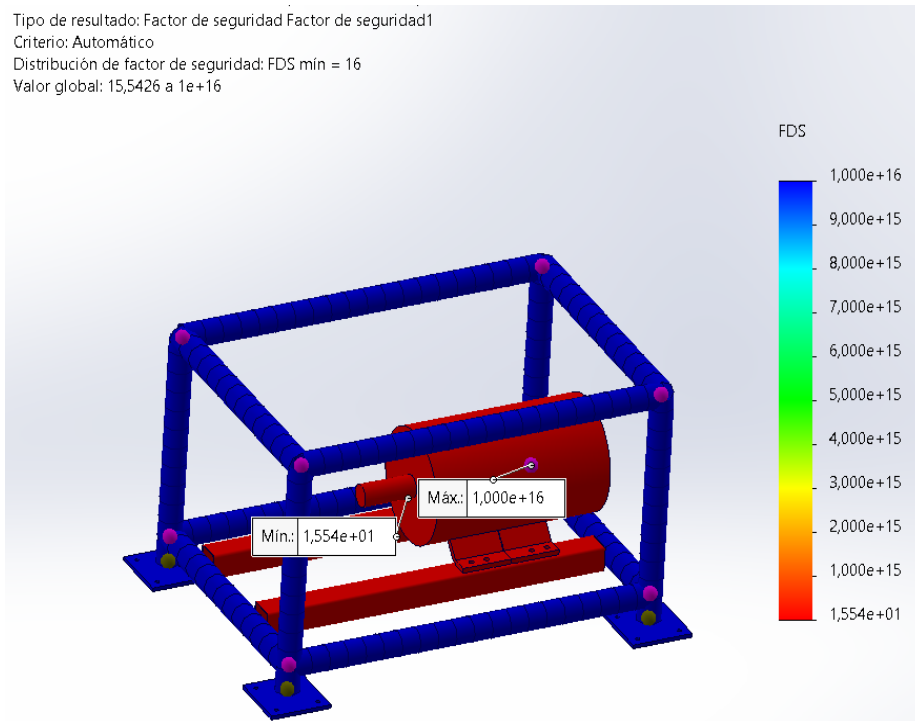


Fig. 42. Factor de seguridad de la estructura

Curva de convergencia

Tabla 22: Resultados obtenidos de las simulaciones al llevar a una malla más fina

Informe	Tamaño de elementos máx.(mm)	Nodos	Elementos	Esfuerzo max(MPa)	Desplazamientos max(mm)
Análisis estructural 1	5,0	197,063	97,945	8,797	0,02611
Análisis estructural 2	4,5	203,910	102,171	8,887	0,02614

Análisis estructural 3	4,0	230,936	115,170	8,941	0,02616
Análisis estructural 4	3,5	240,714	120,30	9,214	0,02622
Análisis estructural 5	3,0	243,788	121,390	9,465	0,02631
Análisis estructural 6	2,5	255,100	125,500	9,535	0,02635
Análisis estructural 7	2,0	265,400	130,200	9,551	0,02637
Análisis estructural 8	1,5	275,540	135,150	9,558	0,02639
Análisis estructural 9	1,0	285,000	140,000	9,560	0,02641

En la figura 43 , se ilustra la evolución del esfuerzo máximo de Von Mises, a medida que el número de elementos se incrementa, el esfuerzo máximo converge hacia un valor estable. Esto indica que se está estabilizando a partir del punto en que el número de elementos se aproxima a 120, la curva se vuelve casi plana. El valor de convergencia en este gráfico es aproximadamente 9,46 MPa. Esta curva se va convirtiendo en horizontal a partir de los 120 elementos demostrando estabilidad debido a que los resultados son independientes del tamaño de la malla y el desplazamiento es de 0.02631mm.

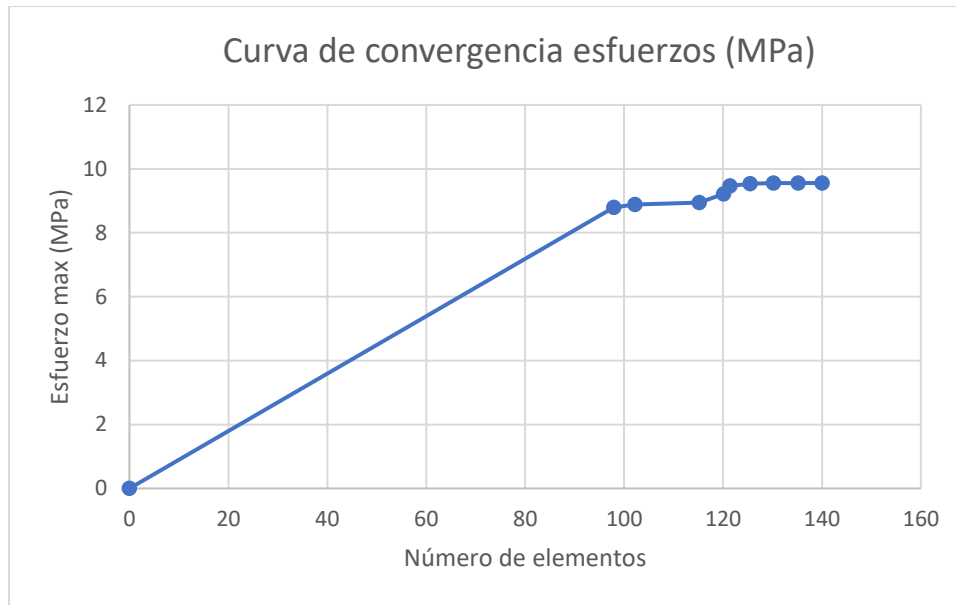


Fig. 43. Curva de convergencia de esfuerzos total (MPa)

4.6 Validación

Se realiza la validación del diseño del sistema propuesto. Este proceso es fundamental para confirmar la precisión de los cálculos analíticos y la fiabilidad de la simulación.

4.6.1 Análisis de los resultados

Comparación de cálculos analíticos con la simulación en SolidWorks

Tabla 23: Datos de entrada y condiciones

Parámetro	Cálculo analítico	Cálculo en SolidWorks
Perfil estructural	Tubo cuadrado 40x40x1,2mm	Modela 3D tubo cuadrado 40x40x1,2mm
Material estructural	Acero SAE 1008	Acero galvanizado Modificado: σ_y
Límite de fluencia	310MPa	310 MPa
Módulo de elasticidad	200GPa	200GPa
Cargas aplicadas	4x137.5N en las bases del motor	4x137.5N, 100N=Fuerza neta de distancia: 450N

	1000N en el eje del motor =	
	Fuerza neta de distancia :450N	
Reacciones en apoyos	Equilibran la fuerza neta de 450N	En Y = 450N (reacción igual y opuesta)

Tabla 24: Propiedades geométricas del perfil (40x40x1,2mm)

Propiedad	Cálculo analítico
Área (A)	186,24mm ²
Momento de Inercia (I)	46773,56mm ⁴
Módulo de sección (S)	2338,678mm ³
Solid Works (sólido de viga)	180,884mm ²

CONCLUSIONES

El análisis de los sistemas de escalada deportiva y el estudio riguroso de sus requerimientos funcionales, han sido fundamental para establecer los parámetros de diseño. La identificación de especificaciones clave, como una cuerda dinámica de 9mm con una fuerza de choque de 8,5 kN, una polea móvil de 20 kN de resistencia, un nivel de asistencia del 50% con carga de 100N y un sistema de anclaje que soporta 8kN, han proporcionado una base sólida para el diseño del sistema de entrenamiento alivianado de escalada de velocidad.

Con base en los parámetros establecidos, se diseñó un sistema de asistencia que integra un motor eléctrico de 3 HP y componentes certificados. Estos elementos incluyen: una cuerda dinámica de poliamida de 9 mm, un mosquetón 991 con una resistencia de 25 kN, una polea LIXADA que soporta 20 kN, un anclaje de techo tipo gancho y un módulo de control ESP32. El resultado es una estructura compacta y segura, diseñada para entrenamientos con cargas de hasta 100N y un nivel de asistencia del 50%

A partir de los resultados analíticos de esfuerzos de Von Mises de la viga que soporta el motor principal, elemento crítico del diseño, en comparación con la simulación en SolidWorks, se verificó un error del 5,38% en el proceso de simulación del elemento crítico, valor que permitió establecer el tamaño de elemento finito para la simulación del sistema total propuesto.

Los resultados de la simulación por elementos finitos (FEM) demostraron que el diseño soporta cargas críticas con un factor de seguridad mínimo de 16 de la estructura. Esto afirma que el sistema es adecuado para resistir las condiciones de operación más exigentes. El esfuerzo máximo de 9,45 MPa y desplazamiento máximo de 0,02631mm que valida la viabilidad del diseño.

RECOMENDACIONES

Se recomienda construir y poner en funcionamiento el prototipo físico del sistema de entrenamiento alivianado con el fin de validar los resultados obtenidos por simulación y asegurar su viabilidad en condiciones reales de entrenamiento.

Es aconsejable utilizar software de simulación avanzada con análisis de esfuerzos dinámicos y térmicos, a fin de optimizar el diseño antes de su fabricación final y prevenir fallas por sobrecarga o uso continuo.

Es importante actualizar periódicamente los parámetros de diseño en función de nuevas tecnologías y normativas en escalada deportiva, con el fin de mantener vigente la funcionalidad y seguridad del sistema.

REFERENCIAS

- [1] P. Cobos Moreno, "Estudio epidemiológico de las lesiones del pie asociadas a la práctica de la escalada deportiva."
- [2] L. Hernández Pérez, "'LA ESCALADA Y LESIONES: REVISIÓN'".
- [3] F. Cantero, "LESIONES en Escalada." Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: [https://www.pasoclave.com/lesiones-en-escalada-frecuentes/#:~:text=La%20tasa%20de%20incidencia%20de,mecanismo%20de%20lesi%C3%B3n%20\(42%25\).](https://www.pasoclave.com/lesiones-en-escalada-frecuentes/#:~:text=La%20tasa%20de%20incidencia%20de,mecanismo%20de%20lesi%C3%B3n%20(42%25).)
- [4] G. Grønhaug, "Self-reported chronic injuries in climbing: who gets injured when?," *BMJ Open Sport Exerc Med*, vol. 4, no. 1, p. e000406, Jul. 2018, doi: 10.1136/bmjsem-2018-000406.
- [5] O. Aubel and B. Lefèvre, "What climbing means...," *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, vol. 40, p. 100585, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.jort.2022.100585.
- [6] I. E. Melano, "La graduación en la escalada deportiva y boulder. Nuevos aportes y perspectivas," *Lecturas: Educación Física y Deportes*, vol. 27, no. 291, pp. 138–151, Jul. 2022, doi: 10.46642/efd.v27i291.3145.
- [7] I. L. Laval and S. Sitko, "ESCALADA DEPORTIVA: UN DEPORTE CON EXPLICACIÓN POLI FACTORIAL DEL RENDIMIENTO SPORT CLIMBING: A DISCIPLINE WITH A POLYFACTORIAL PERFORMANCE EXPLANATION REVISTA INTERNACIONAL DE DEPORTES COLECTIVOS."
- [8] M. Marín Quiles, "ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DETERMINANTES".
- [9] S. Son, Y. Seo, J. Son, S. Yun, and D. T. Lee, "Comparison of finger flexion strength and muscular recovery of male lead sport climbers across climbing classes," *Physical Therapy in Sport*, vol. 65, pp. 122–129, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.ptsp.2023.12.007.
- [10] L. Fernando, C. Gómez, and L. Torre, "Theoretical validation of endurance-strength exercises for the combined sport climbing test, junior-senior category Validación teórica de ejercicios de resistencia-fuerza para la prueba combinada de escalada deportiva, categoría juvenil-senior Validação teórica de exercícios de resistência-força para o teste combinado de escalada desportiva, categoria juvenil-sênior," vol. 16, no. 1, pp. 138–146, [Online]. Available: <http://podium.upr.edu.cu/index.php/podium/article/view/1005>
<http://podium.upr.edu.cu/index.php/podium/article/view/1005>
- [11] Á. López Arenillas, "ESCALADA DEPORTIVA Y FUERZA RELATIVA. EFECTO DE ENTRENAMIENTO DE AUTOCARGAS FRENTE ENTRENAMIENTO DE CARGA EXTERNA 4o de CAFyD".
- [12] F. De, C. De, L. A. Salud, and D. Deporte, "ANÁLISIS DE LAS PRINCIPALES LESIONES EN LA ESCALADA Y SU PREVENCIÓN / ANALYSIS OF THE MAIN INJURIES IN CLIMBING AND THEIR PREVENTION ALUMNO: INAZIO DULANTO ARRIOLA TUTORA: DRA MARTA RAPÚN LÓPEZ TRABAJO FINAL DE GRADO 4o CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE."
- [13] "CHANGE OF DIRECTION TESTING AND TRAINING."

- [14] F. Wiehr, F. Kosmalla, F. Daiber, and A. Krüger, "betaCube," in *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA: ACM, May 2016, pp. 1998–2004. doi: 10.1145/2851581.2892393.
- [15] L. A. Influencia, D. E. Los, F. Psicológicos, E. N. El, and R. De, "TRABAJO FINAL DE GRADO."
- [16] S. Iván, R. Pinzón, C. Francisco, R. Herrera, and C. Cifuentes, "Modelo de análisis cinemático en la escalada deportiva modalidad Boulder."
- [17] J. A. Borbor Vera, "Sistematización de metodología en entrenamiento basada en el mejoramiento de componentes psicológicos en escaladores jóvenes."
- [18] L. Fernando, C. Gómez, and L. Torre, "Theoretical validation of endurance-strength exercises for the combined sport climbing test, junior-senior category Validación teórica de ejercicios de resistencia-fuerza para la prueba combinada de escalada deportiva, categoría juvenil-senior Validação teórica de exercícios de resistência-força para o teste combinado de escalada desportiva, categoria juvenil-sênior," vol. 16, no. 1, pp. 138–146, [Online]. Available: <http://podium.upr.edu.cu/index.php/podium/article/view/1005><http://podium.upr.edu.cu/index.php/podium/article/view/1005>
- [19] J. Mosquera, "¿Por qué enfocar el entrenamiento en escalada?," ¿Por qué enfocar el entrenamiento en escalada? Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.rumiclimbing.com/blog-escalada/por-que-enfocar-entrenamiento-escalada/>
- [20] Y. Víctor *et al.*, "2 7 A M D ESTUDIO DE LA FUERZA EN LA ESCALADA DEPORTIVA STUDY OF FORCE IN SPORTS CLIMBING."
- [21] D. Benito and G. Cuadrado Sáenz, "ESTUDIO DE LA EFICACIA DE DOS PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA EN EL RENDIMIENTO DE LA ESCALADA DEPORTIVA," 2007.
- [22] E.- Romero *et al.*, "Aspectos fisiológicos de la escalada deportiva," vol. 9, no. 35, pp. 264–298, 2009.
- [23] "UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS Y DE LA EDUCACION CARRERA DE CULTURA FISICA."
- [24] F. Cantero, "MOVILIDAD y FLEXIBILIDAD específicas para escalada: Tests y Estudios Científicos." Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.pasoclave.com/flexibilidad-movilidad-especificas-escalada-tests-estudios/>
- [25] F. Psicológicos *et al.*, "Trabajo Final de Grado."
- [26] "“LA ESCALADA Y LESIONES: REVISIÓN”".
- [27] F. Cantero, "TIPOS de ESCALADA: Diferencias, Estilos, Técnicas y Materiales," TIPOS de ESCALADA: Diferencias, Estilos, Técnicas y Materiales. Accessed: Jun. 25, 2024. [Online]. Available: <https://www.pasoclave.com/tipos-escalada-diferencias-estilos-materiales/>
- [28] E. López, "Guía de entrenamiento de Suspensiones (II). Métodos para mejora de la fuerza máxima y resistencia de agarre y control de carga," Entrenamiento personal en estado deportivo. Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://eva-lopez.blogspot.com/2018/05/>

- [29] M. Sancho, "Ejercicios para desarrollar la fuerza máxima de tracción." Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://rockandjoy.com/87/>
- [30] E. Sport, "RFD-POTENCIA Y CDE." Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.ensasport.com/rfd-potencia-y-cde/>
- [31] "catalogue_climbstation_2022".
- [32] "ClimbStation KERS El rocódromo eléctrico que aprovecha la energía creada por el escalador." Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.climbstation.com/products.html>
- [33] "FORCE MEETS ADAPTATION."
- [34] "FORCE MEETS ADAPTATION."
- [35] O. O. C. B. Rolf Öhman, "1080 Quantum Pruebas, capacitación y rehabilitación de grado de investigación." Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://1080motion.com/product/1080-quantum/>
- [36] M. Araujo, "Conceptos esenciales del entrenamiento de la fuerza." [Online]. Available: <https://www.efdeportes.com/efd219/conceptos-esenciales-del-entrenamiento-de-la-fuerza.htm>
- [37] "LADDERMILL2-specifications-230830".
- [38] "Treadwall Max6/10 Rotating Walls," 2019. [Online]. Available: www.brewerfitness.com
- [39] "CHANGE OF DIRECTION TESTING AND TRAINING."
- [40] O. O. C. B. Rolf Öhman, "1080 Pique Haz que la velocidad suceda." Accessed: Jun. 25, 2024. [Online]. Available: <https://1080motion.com/product/1080-sprint/>
- [41] Elena González, "¿Qué es Solidworks y para qué sirve? ." Accessed: Jun. 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.esdesignbarcelona.com/actualidad/disenio-producto/solidworks-que-es-funcionalidades>
- [42] "SOLIDWORKS Simulation," SOLIDWORKS. Accessed: Jun. 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.solidworks.com/es/product/solidworks-simulation#:~:text=SOLIDWORKS%C2%AE%20Simulation%20es%20un,prueba%20virtual%20de%20modelos%20CAD.>
- [43] S. Chasipanta, D. Jazmin, O. Vergara, M. Stayner Métodos, and Y. T. De Investigación, *CEVALLOS VEINTIMILLA ALICIA FABIOLA POLO LUNA ERNESTO FABRICIO.*
- [44] YPSOS SAFETY, "Norma UNE EN 795. Dispositivos de anclaje." Accessed: Jul. 28, 2025. [Online]. Available: <https://ypsosafety.com/norma-une-en-795-dispositivos-de-anclaje/>
- [45] "Anclaje de techo para Aéreos." Accessed: May 05, 2025. [Online]. Available: <https://441malabares.com/estafas-lonchas-y-accesorios/1526-anclaje-de-techo-para-aereos-circus-division-0789011956321.html>
- [46] "norma española," 2007.

- [47] "Polea de escalada 20 KN." Accessed: May 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.walmart.com.mx/ip/camping/polea-de-escalada-20-kn-de-carga-movil-micro-max-polea-de-la-cuerda-1-2-pulgadas-para-el-aparejo-arborista-escalada/00075569940464>
- [48] "(EX)UNE-EN_892=2013+A1=2017".
- [49] "Volta GUIDE. Cuerda Dinámica 9mm." Accessed: May 05, 2025. [Online]. Available: <https://petzl.com.ec/producto/volta-guide-cuerda-dinamica-9-mm-x-60-m-naranja/>
- [50] "norma española." [Online]. Available: www.aenor.es
- [51] "Mosquetón 991/ Aluminio", Accessed: May 05, 2025. [Online]. Available: <https://abrasivosmetalfix.com/inicio/1168-mosqueton-991-bluealuminio.html>
- [52] "ESP WROOM-32- ESP32S WIFI Bluetooth." Accessed: May 05, 2025. [Online]. Available: <https://novatronicec.com/index.php/product/esp32-placa-de-desarrollo-v1/>
- [53] Rahul Awati, "Tablet." Accessed: May 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/tablet-PC>
- [54] "WEG-w22-motor-electrico-monofasico-50070884-brochure-spanish-web".

ANEXOS

ANEXO A. Código ESP32

```
#include <WiFi.h>

#include <PubSubClient.h>

#include <WiFiClientSecure.h>

// Credenciales WiFi

const char* ssid = "";

const char* password = "";

// Credenciales HiveMQ Cloud

const char* mqtt_server = "53de74c938c348dd9eba8ac60e4e99d9.s1.eu.hivemq.cloud";

const int mqtt_port = 8883; // TLS

const char* mqtt_user = "SEA_CONTROL_MOTOR"; //usuario del broker MQTT

const char* mqtt_pass = "1728Control_motor*"; //contraseña del broker MQTT

// Variables para-RPM

volatile int contador = 0;

const int sensorPin = 5; // Pin D3 en ESP8266 (GPIO0)

const int controlPin = 17; // Pin GPIO17 para control

char datos[10];

unsigned long previousMillis = 0;

const long interval = 1000; // Intervalo de 1 segundo para RPM

// Cliente seguro

WiFiClientSecure espClient;

PubSubClient mqttClient(espClient);

void ICACHE_RAM_ATTR interrupcion() {

    contador++;

}

void wifilnit () {

    Serial.print("Conectando a ");
```

```

Serial.println(ssid);
WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("\nConectado a WiFi");
Serial.print("IP: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
}
void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
    Serial.print("Mensaje en [");
    Serial.print(topic);
    Serial.print("]: ");
    char payload_string[length + 1];
    memcpy(payload_string, payload, length);
    payload_string[length] = '\0';
    Serial.println(payload_string);
    for(int i = 0; i < length; i++) {
        payload_string[i] = toupper(payload_string[i]);
    }
    if(strcmp(payload_string, "ON") == 0) {
        digitalWrite(controlPin, HIGH); // Activar pin 17
        Serial.println("Comando ON recibido - PIN 17 ACTIVADO");
    }
    else if(strcmp(payload_string, "OFF") == 0) {
        digitalWrite(controlPin, LOW); // Desactivar pin 17
        Serial.println("Comando OFF recibido - PIN 17 DESACTIVADO");
    }
}

```

```

else {
    Serial.println("Comando no reconocido");
}
}

void reconnect() {
    while (!mqttClient.connected()) {
        Serial.print("Conectando a MQTT... ");
        if (mqttClient.connect("ESP8266Client", mqtt_user, mqtt_pass)) {
            Serial.println("Conectado");
            mqttClient.subscribe("SAE/Motor23");
        } else {
            Serial.print("Fallo, rc=");
            Serial.print(mqttClient.state());
            Serial.println(" reintentando en 5s");
            delay(5000);
        }
    }
}

void setup() {
    pinMode(controlPin, OUTPUT); // Configurar pin 17 como salida
    digitalWrite(controlPin, LOW); // Iniciar con pin 17 desactivado
    pinMode(BUILTIN_LED, OUTPUT);
    digitalWrite(BUILTIN_LED, HIGH); // LED integrado apagado
    Serial.begin(115200);
    // Configuración del sensor de RPM
    pinMode(sensorPin, INPUT);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorPin), interrupcion, RISING);
    wifilnit();
}

```

```

// Configuración MQTT (para pruebas)
espClient.setInsecure();
mqttClient.setServer(mqtt_server, mqtt_port);
mqttClient.setCallback(callback);
}
void loop() {
  if (!mqttClient.connected()) {
    reconnect();
  }
  mqttClient.loop();
  unsigned long currentMillis = millis();
  if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
    previousMillis = currentMillis;
    // Calcular RPM (revoluciones por minuto)
    int rpm = contador * 60;
    contador = 0;
    // Convertir a string y publicar
    itoa(rpm, datos, 10);
    mqttClient.publish("Valor/RPM_MOTOR", datos);
    Serial.print("RPM: ");
    Serial.println(datos);
  }
}
}

```

ANEXO B. Código de aplicación

```
import flet as ft
import paho.mqtt.client as mqtt
import threading
import time

# Configuración MQTT
BROKER = "53de74c938c348dd9eba8ac60e4e99d9.s1.eu.hivemq.cloud"
PORT = 8883
CONTROL_TOPIC = "SAE/Motor23"
RPM_TOPIC = "Valor/RPM_MOTOR"
USERNAME = "SEA_CONTROL_MOTOR"
PASSWORD = "1728Control_motor*"
CLIENT_ID = "flet-motor-control"
class MQTTClient:
    def __init__(self, page):
        self.page = page
        self.connected = False
        self.motor_status = False
        self.rpm_value = "0" # Valor inicial de RPM
        # Configuración del cliente MQTT
        self.client = mqtt.Client(mqtt.CallbackAPIVersion.VERSION2, CLIENT_ID)
        self.client.username_pw_set(USERNAME, PASSWORD)
        self.client.tls_set() # Habilita SSL/TLS
        self.client.on_connect = self.on_connect
        self.client.on_message = self.on_message

    def on_connect(self, client, userdata, flags, rc, properties):
        if rc == 0:
```

```

        self.connected = True

        self.page.publish_status("Conectado al broker")

        client.subscribe(f"{CONTROL_TOPIC}/status")

        client.subscribe(RPM_TOPIC) # Suscribirse al t3pico de RPM
    else:
        self.page.publish_status(f"Error de conexi3n: {rc}")

def on_message(self, client, userdata, message):
    payload = message.payload.decode()

    if message.topic == f"{CONTROL_TOPIC}/status":
        self.motor_status = payload == "ON"
        self.page.update_motor_status()
    elif message.topic == RPM_TOPIC:
        self.rpm_value = payload
        self.page.update_rpm_value()

def connect(self):
    try:
        self.client.connect(BROKER, PORT, 60)

        threading.Thread(target=self.client.loop_forever, daemon=True).start()
    except Exception as e:
        self.page.publish_status(f"Error: {str(e)}")

def control_motor(self, turn_on):
    command = "ON" if turn_on else "OFF"

    self.client.publish(CONTROL_TOPIC, command)

    self.client.publish(f"{CONTROL_TOPIC}/status", command)

def main(page: ft.Page):
    page.title = "Control de Motor"

    page.vertical_alignment = ft.MainAxisAlignment.START

    page.horizontal_alignment = ft.CrossAxisAlignment.CENTER

```

```

page.theme_mode = ft.ThemeMode.DARK

page.padding = 20

# Estado de la UI

status_text = ft.Text("Conectando...", size=18)

motor_status_text = ft.Text("APAGADO", size=24, weight=ft.FontWeight.BOLD)

rpm_value_text = ft.Text("0 RPM", size=24, weight=ft.FontWeight.BOLD, color=ft.Colors.WHITE70)

def update_motor_status():
    motor_status_text.value = "ENCENDIDO" if mqtt_client.motor_status else "APAGADO"
    motor_status_text.color = ft.Colors.GREEN if mqtt_client.motor_status else ft.Colors.RED
    page.update()

def update_rpm_value():
    rpm_value_text.value = f"{mqtt_client.rpm_value} RPM"
    page.update()

def publish_status(message):
    status_text.value = message
    page.update()

# Asignar funciones a la página

page.update_motor_status = update_motor_status

page.update_rpm_value = update_rpm_value

page.publish_status = publish_status

# Botones de control

def turn_on(e):
    mqtt_client.control_motor(True)
    publish_status("Comando ENCENDER enviado")

def turn_off(e):
    mqtt_client.control_motor(False)
    publish_status("Comando APAGAR enviado")

# Crear instancia MQTT

```

```

mqtt_client = MQTTClient(page)
mqtt_client.connect()
# Interfaz de usuario
page.add(
    ft.Container(
        expand=True,
        content=ft.Column(
            [
                # Encabezado
                ft.Row(
                    alignment=ft.MainAxisAlignment.SPACE_BETWEEN,
                    controls=[
                        ft.Icon(name=ft.Icons.MENU, color="White"),
                        ft.Icon(name=ft.Icons.PERSON_2_ROUNDED, color="white")
                    ]
                ),
                ft.Divider(height=20),
                # Estado de conexion al broker MQTT
                ft.Row(
                    [
                        ft.Icon(name=ft.Icons.CLOUD, color=ft.Colors.BLUE, size=30),
                        status_text,
                    ],
                    alignment=ft.MainAxisAlignment.CENTER,
                    spacing=10
                ),
                ft.Divider(height=20),
                # Carga Aplicada
                ft.Column(

```

```

controls=[
    ft.Text("Carga aplicada", size=20),
    ft.Slider(
        divisions=5,
        min=40, max=100,
        label="Kg",
        inactive_color=ft.Colors.ORANGE_100,
        active_color=ft.Colors.ORANGE_300,
        thumb_color=ft.Colors.DEEP_ORANGE_900
    ),
    ft.Row(
        alignment=ft.MainAxisAlignment.SPACE_BETWEEN,
        controls=[ft.Text("0"),ft.Text("20"),ft.Text("40"),ft.Text("60"),ft.Text("80"),ft.Text("100")],
    ),
]
),
ft.Divider(height=20),
# Estado del motor
ft.Column(
    [
        ft.Text("Estado del Motor:", size=20),
        motor_status_text,
    ],
    horizontal_alignment=ft.CrossAxisAlignment.CENTER
),
ft.Divider(height=20),
# Contenedor de RPM
ft.Column(
    controls=[ft.Row(

```

```

alignment=ft.MainAxisAlignment.CENTER,
controls=[ft.Container(
  bgcolor=ft.Colors.with_opacity(0.1, ft.Colors.ORANGE),
  border_radius=10,
  padding=10,
  content=ft.Column(
    [
      ft.Text("Velocidad del motor", size=16, color=ft.Colors.WHITE),
      rpm_value_text,
    ],
    horizontal_alignment=ft.CrossAxisAlignment.CENTER,
    spacing=5
  ),
  width=250
)],
ft.Row(
  alignment=ft.MainAxisAlignment.CENTER,
  controls=[
    ft.Container(
      height=80,
      padding=10,
      border_radius=10,
      bgcolor=ft.Colors.with_opacity(0.1, ft.Colors.ORANGE),
      alignment=ft.alignment.center,
      content=ft.Column(
        spacing=0,
        tight=True,
        horizontal_alignment=ft.CrossAxisAlignment.CENTER,
        controls=[

```

```

        ft.Text("Velocidad de subida", size=15, color="white"),
        ft.Divider(height=1, thickness=2,color=ft.Colors.ORANGE_ACCENT_400,),
        ft.Text("3.23 m/s", size=24, weight="bold"),
    ]
)
),
ft.Container(
    height=80,
    alignment=ft.alignment.center,
    padding=10,
    border_radius=10,
    bgcolor=ft.Colors.with_opacity(0.1, ft.Colors.ORANGE),
    content=ft.Column(
        horizontal_alignment=ft.CrossAxisAlignment.CENTER,
        controls=[
            ft.Text("Tiempo de subida", size=15, color="white"),
            ft.Text("13 s", size=24, weight="bold"),
        ]
    )),
],
),
]
),
ft.Divider(height=30),
# Botones de control
ft.Row(
    [
        ft.ElevatedButton(
            text="ENCENDER",

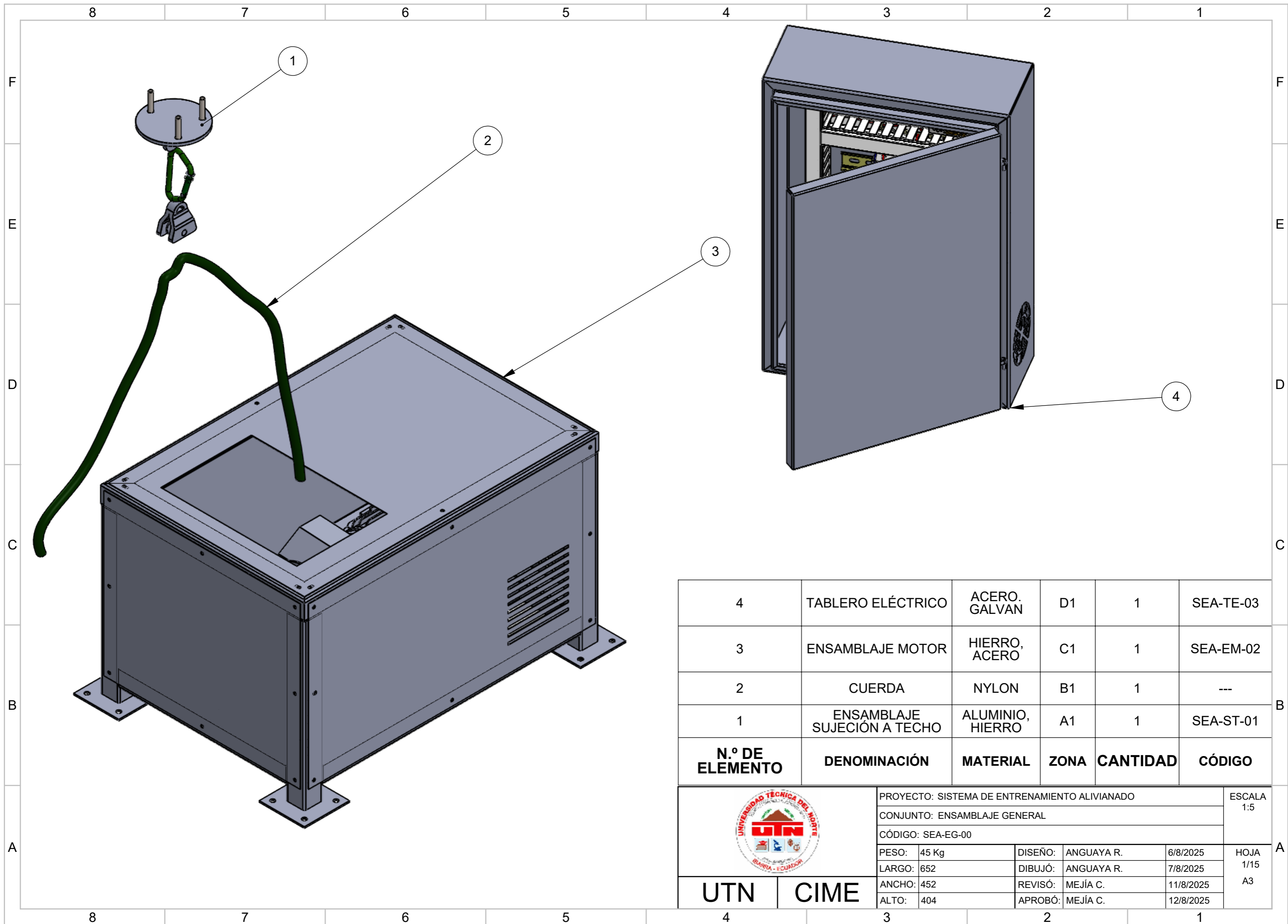
```

```

        color="white",
        icon=ft.Icons.POWER,
        on_click=turn_on,
        style=ft.ButtonStyle(
            bgcolor=ft.Colors.GREEN,
            padding=20,
            shape=ft.RoundedRectangleBorder(radius=10)
        ),
        icon_color="white",
    ),
    ft.ElevatedButton(
        text="APAGAR",
        color="white",
        icon=ft.Icons.POWER_OFF,
        on_click=turn_off,
        style=ft.ButtonStyle(
            bgcolor=ft.Colors.RED,
            padding=20,
            shape=ft.RoundedRectangleBorder(radius=10)
        ),
        icon_color="white",
    )
],
alignment=ft.MainAxisAlignment.CENTER,
spacing=20
)
],
alignment=ft.MainAxisAlignment.CENTER,
spacing=10,

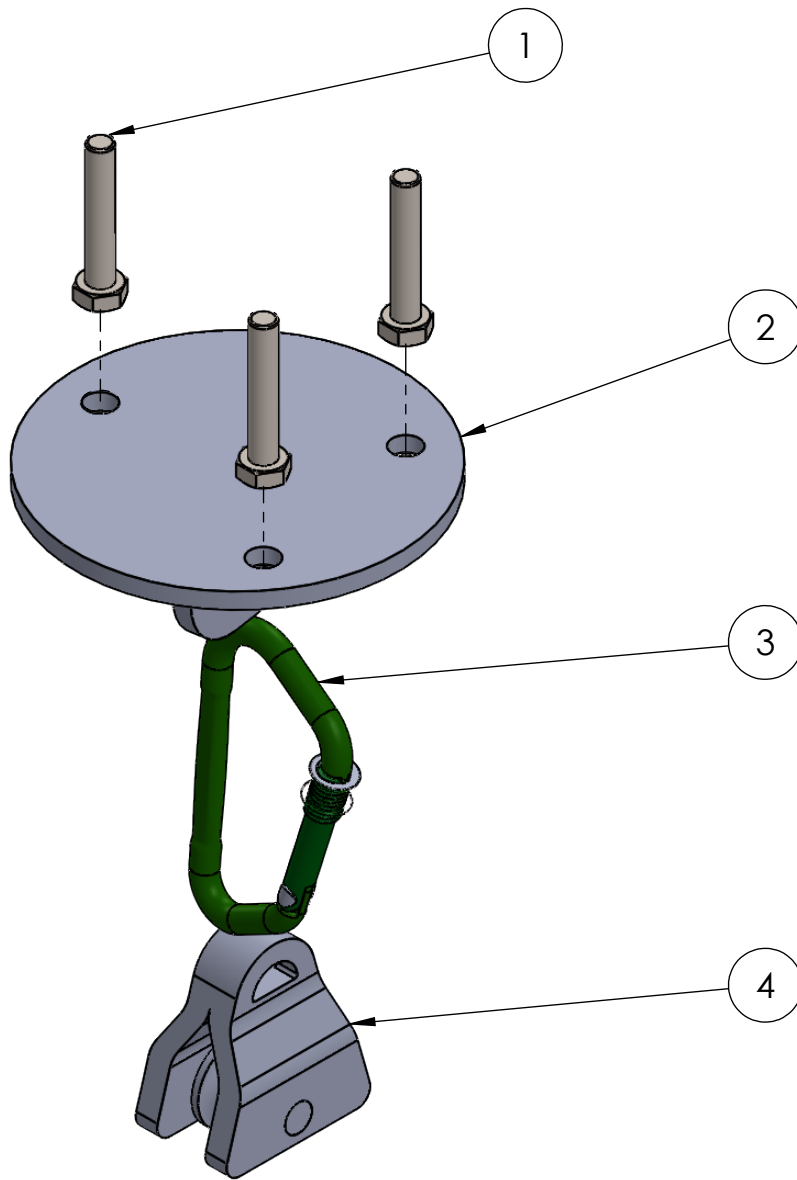
```

```
width=600, # Ancho fijo para mejor presentación
height=900,
scroll="auto"
)
)
)
if __name__ == "__main__":
    ft.app(target=main)
```



4	TABLERO ELÉCTRICO	ACERO GALVAN	D1	1	SEA-TE-03
3	ENSAMBLAJE MOTOR	HIERRO, ACERO	C1	1	SEA-EM-02
2	CUERDA	NYLON	B1	1	---
1	ENSAMBLAJE SUJECIÓN A TECHO	ALUMINIO, HIERRO	A1	1	SEA-ST-01
N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	MATERIAL	ZONA	CANTIDAD	CÓDIGO

	PROYECTO: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO				ESCALA 1:5	
	CONJUNTO: ENSAMBLAJE GENERAL					
	CÓDIGO: SEA-EG-00					
	PESO:	45 Kg	DISEÑO:	ANGUAYA R.	6/8/2025	HOJA 1/15 A3
	LARGO:	652	DIBUJÓ:	ANGUAYA R.	7/8/2025	
ANCHO:	452	REVISÓ:	MEJÍA C.	11/8/2025		
ALTO:	404	APROBÓ:	MEJÍA C.	12/8/2025		
UTN	CIME					



4	POLEA	HIERRO	A1	1	---
3	MOSQUETÓN	ALUMINIO	A1	1	---
2	ANCLAJE MÓVIL	ACERO	A1	1	----
1	PERNO M8x1.25x45	ACERO INOXIDABLE	A1	3	---
N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	MATERIAL	ZONA	CANTIDAD	CÓDIGO



PROYECTO: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO

CONJUNTO: ENSAMBLAJE SUJECIÓN A TECHO

CÓDIGO: SEA-ST-01

ESCALA
1:2

PESO: 1500 gr

DISEÑO: ANGUAYA R.

6/8/2025

LARGO: 120

DIBUJÓ: ANGUAYA R.

7/8/2025

ANCHO: 120

REVISÓ: MEJÍA C.

11/8/2025

ALTO: 190

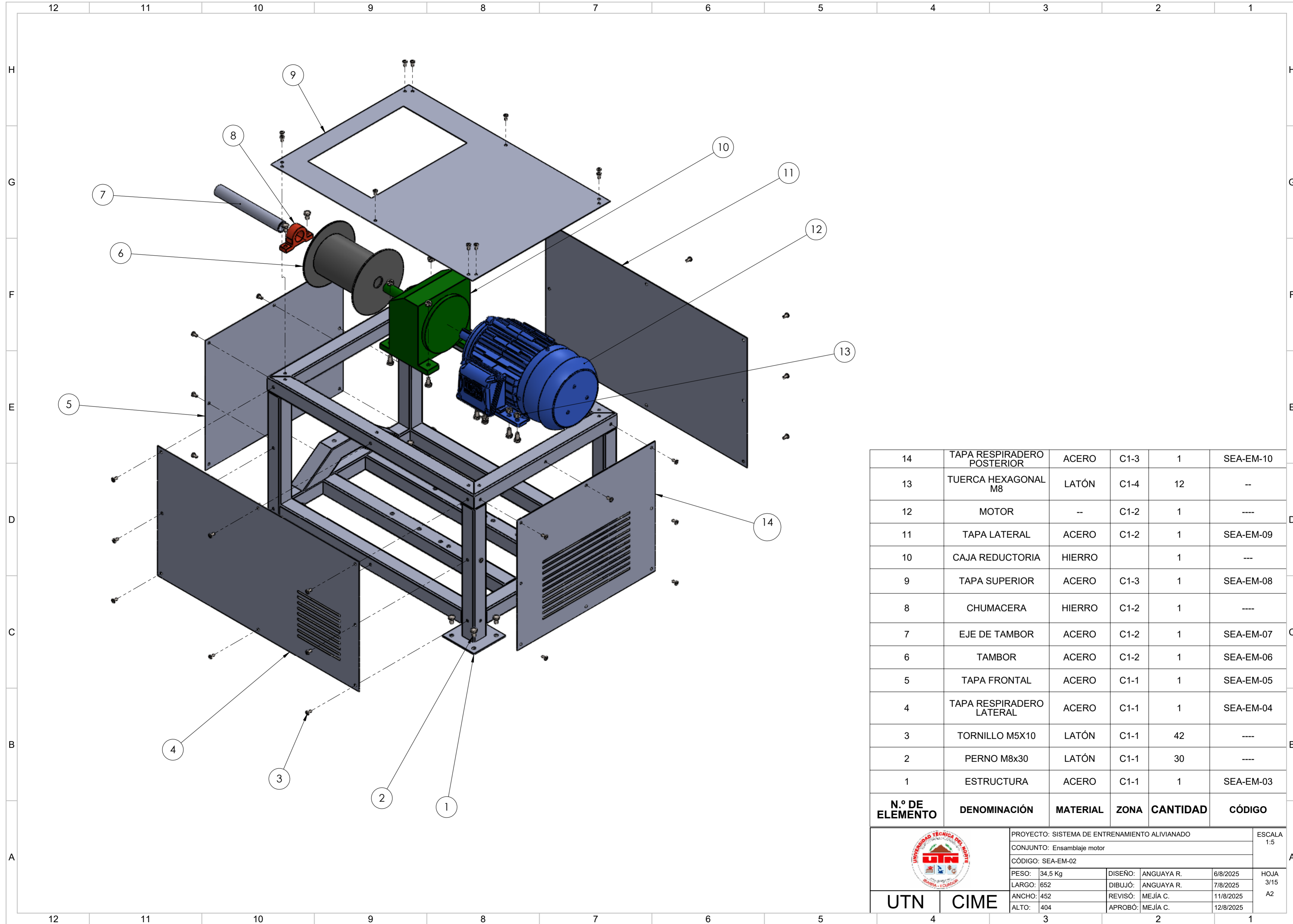
APROBÓ: MEJÍA C.

12/8/2025

HOJA
2/15
A4

UTN

CIME

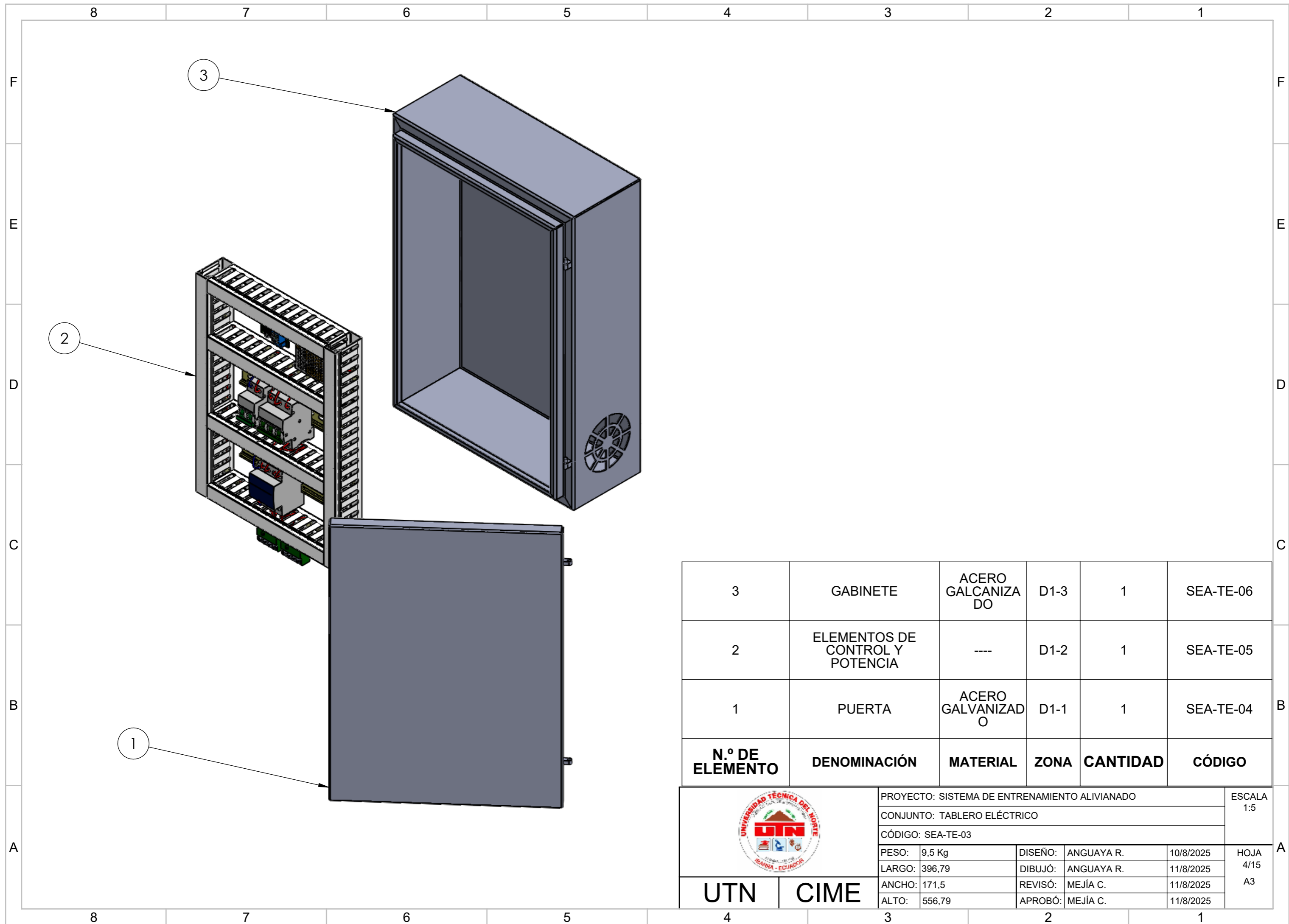


14	TAPA RESPIRADERO POSTERIOR	ACERO	C1-3	1	SEA-EM-10
13	TUERCA HEXAGONAL M8	LATÓN	C1-4	12	--
12	MOTOR	--	C1-2	1	----
11	TAPA LATERAL	ACERO	C1-2	1	SEA-EM-09
10	CAJA REDUCTORIA	HIERRO		1	---
9	TAPA SUPERIOR	ACERO	C1-3	1	SEA-EM-08
8	CHUMACERA	HIERRO	C1-2	1	----
7	EJE DE TAMBOR	ACERO	C1-2	1	SEA-EM-07
6	TAMBOR	ACERO	C1-2	1	SEA-EM-06
5	TAPA FRONTAL	ACERO	C1-1	1	SEA-EM-05
4	TAPA RESPIRADERO LATERAL	ACERO	C1-1	1	SEA-EM-04
3	TORNILLO M5X10	LATÓN	C1-1	42	----
2	PERNO M8x30	LATÓN	C1-1	30	----
1	ESTRUCTURA	ACERO	C1-1	1	SEA-EM-03
N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	MATERIAL	ZONA	CANTIDAD	CÓDIGO



PROYECTO: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO					ESCALA 1:5
CONJUNTO: Ensamblaje motor					
CÓDIGO: SEA-EM-02					
PESO:	34,5 Kg	DISEÑO:	ANGUAYA R.	6/8/2025	HOJA 3/15 A2
LARGO:	652	DIBUJÓ:	ANGUAYA R.	7/8/2025	
ANCHO:	452	REVISÓ:	MEJÍA C.	11/8/2025	
ALTO:	404	APROBÓ:	MEJÍA C.	12/8/2025	

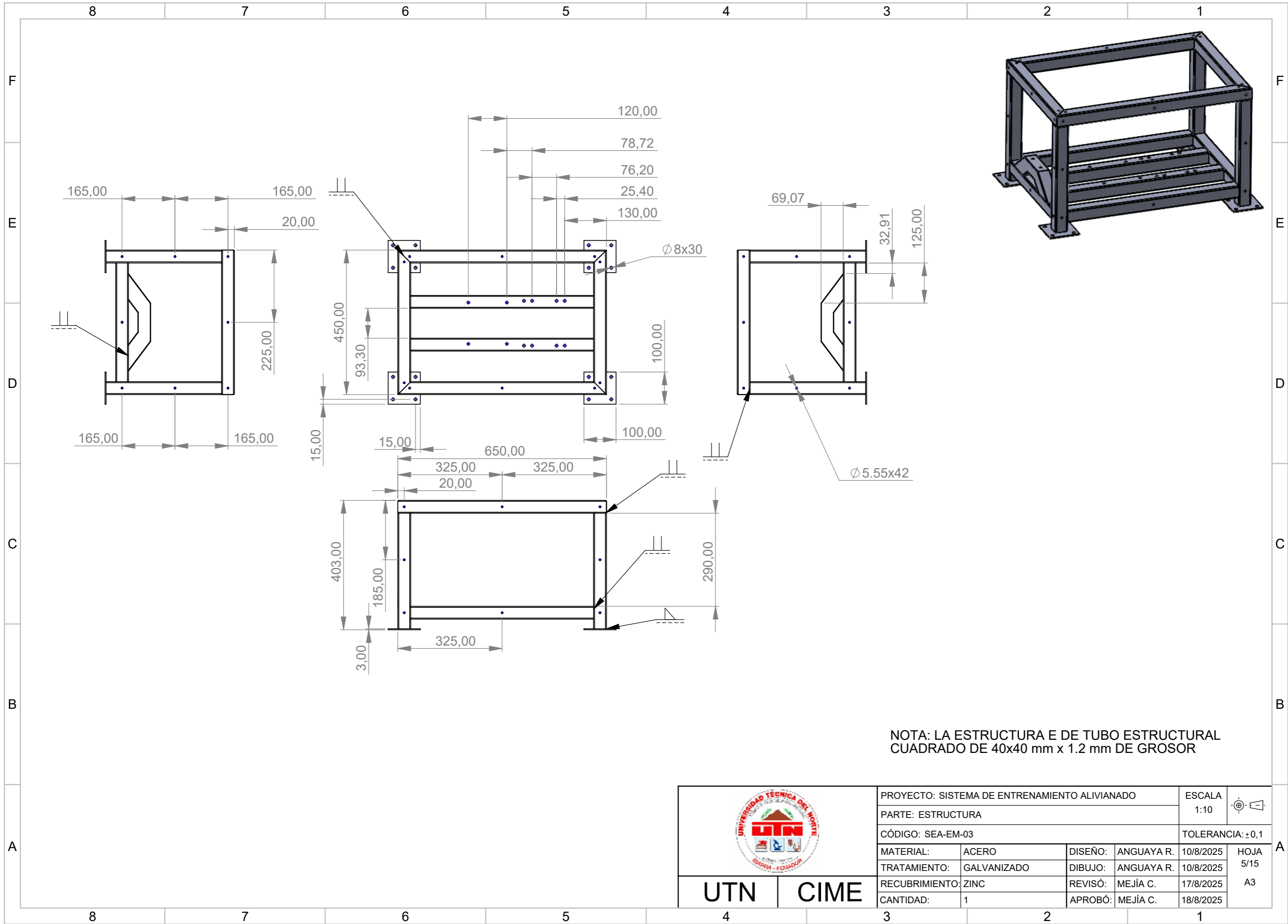
UTN CIME





3	GABINETE	ACERO GALCANIZADO	D1-3	1	SEA-TE-06
2	ELEMENTOS DE CONTROL Y POTENCIA	----	D1-2	1	SEA-TE-05
1	PUERTA	ACERO GALVANIZADO	D1-1	1	SEA-TE-04
N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	MATERIAL	ZONA	CANTIDAD	CÓDIGO

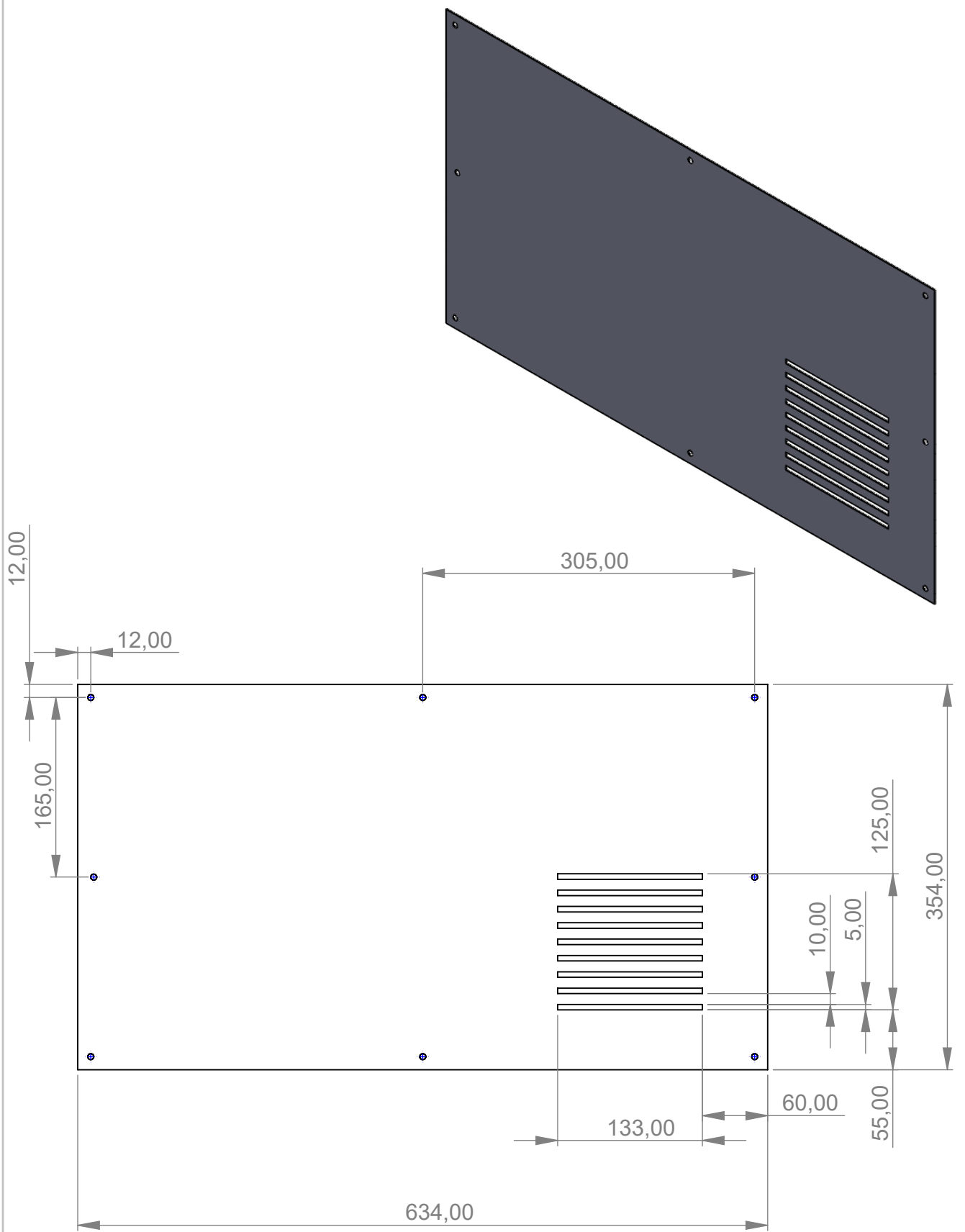
	PROYECTO: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO				ESCALA 1:5
	CONJUNTO: TABLERO ELÉCTRICO				
	CÓDIGO: SEA-TE-03				
	PESO:	9,5 Kg	DISEÑO:	ANGUAYA R.	10/8/2025
LARGO:	396,79	DIBUJÓ:	ANGUAYA R.	11/8/2025	
ANCHO:	171,5	REVISÓ:	MEJÍA C.	11/8/2025	
ALTO:	556,79	APROBÓ:	MEJÍA C.	11/8/2025	

UTN | **CIME**



NOTA: LA ESTRUCTURA E DE TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO DE 40x40 mm x 1.2 mm DE GROSOR

 UTN CIME	PROYECTO: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO				ESCALA: 1:10	
	PARTE: ESTRUCTURA				TOLERANCIA: $\pm 0,1$	
	CÓDIGO: SEA-EM-03				DISEÑO: ANGUAYA R. 10/8/2025	HOJA 5/15
	MATERIAL: ACERO	TRATAMIENTO: GALVANIZADO	DIBUJO: ANGUAYA R. 10/8/2025	REVISÓ: MEJÍA C. 17/8/2025	A3	
	CANTIDAD: 1	RECUBRIMIENTO: ZINC	APROBÓ: MEJÍA C. 18/8/2025			



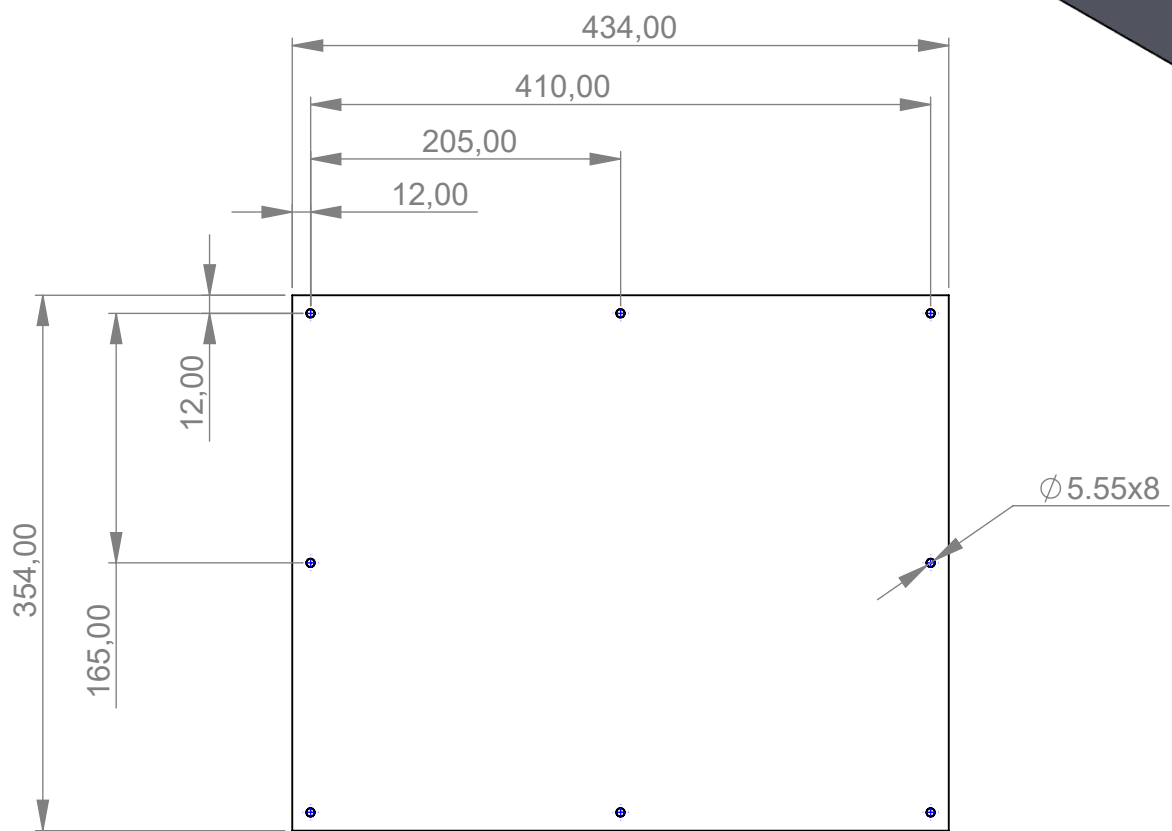
NOTA: EL ESPESOR DE LA CHAPA ES DE 1mm



PROYECTO: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO				ESCALA 1:5	
PARTE: TAPA RESPIRADERO LATERAL.					
CÓDIGO: SEA-EM-04				TOLERANCIA: ±0,1	
MATERIAL:	ACERO	DISEÑO:	ANGUAYA R.	10/8/2025	HOJA 6/15 A4
TRATAMIENTO:	GALVANIZADO	DIBUJO:	ANGUAYA R.	10/8/2025	
RECUBRIMIENTO:	ZINC	REVISÓ:	MEJÍA C.	17/8/2025	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA C.	18/8/2025	

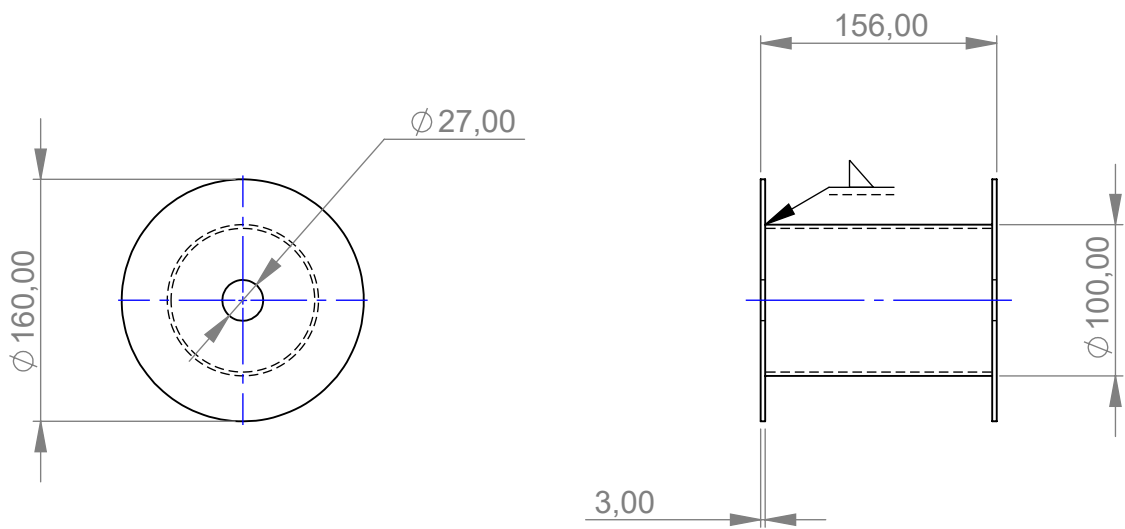
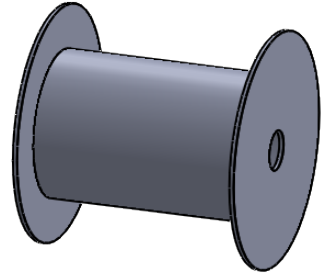
UTN

CIME

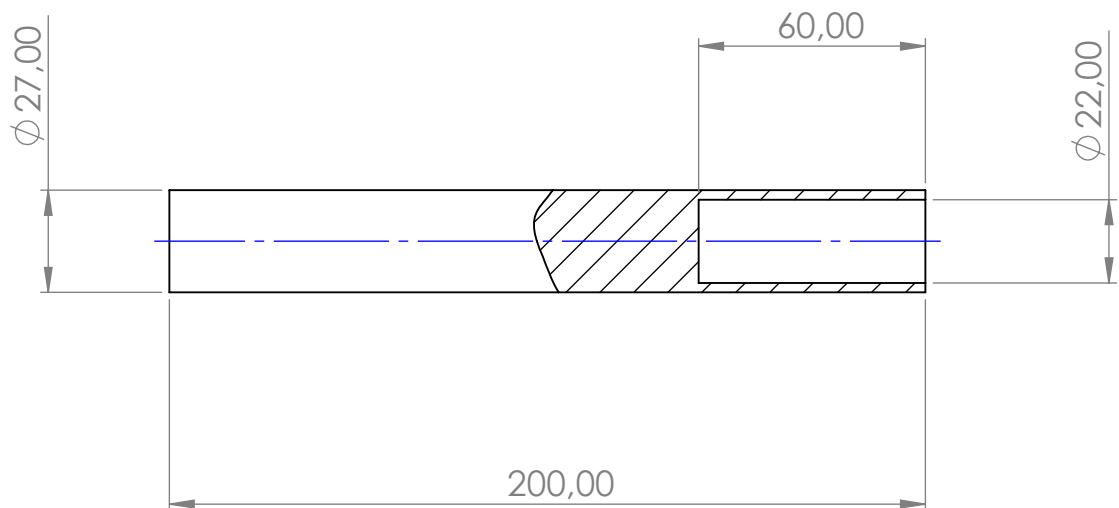
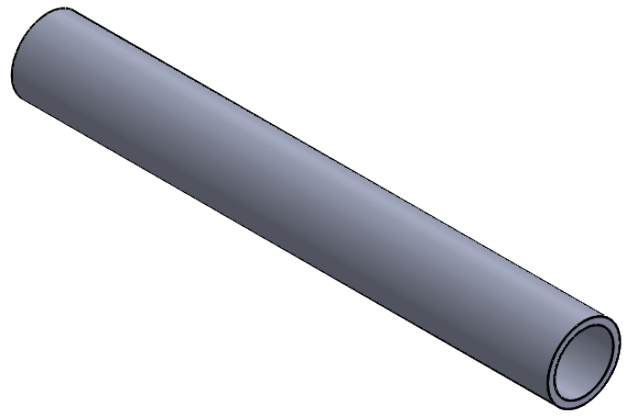


NOTA: EL ESPESOR DE CHAPA ES DE 1mm

	PROYECTO: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO			ESCALA 1:5		
	PARTE: TAPA FRONTAL.					
	CÓDIGO: SEA-EM-05			TOLERANCIA: $\pm 0,1$		
	MATERIAL:	ACERO	DISEÑO:	ANGUAYA R.	10/8/2025	HOJA 7/15
	TRATAMIENTO:	GALVANIZADO	DIBUJO:	ANGUAYA R.	10/8/2025	
RECUBRIMIENTO:	ZINC	REVISÓ:	MEJÍA C.	17/8/2025	A4	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA C.	18/8/2025		
UTN	CIME					



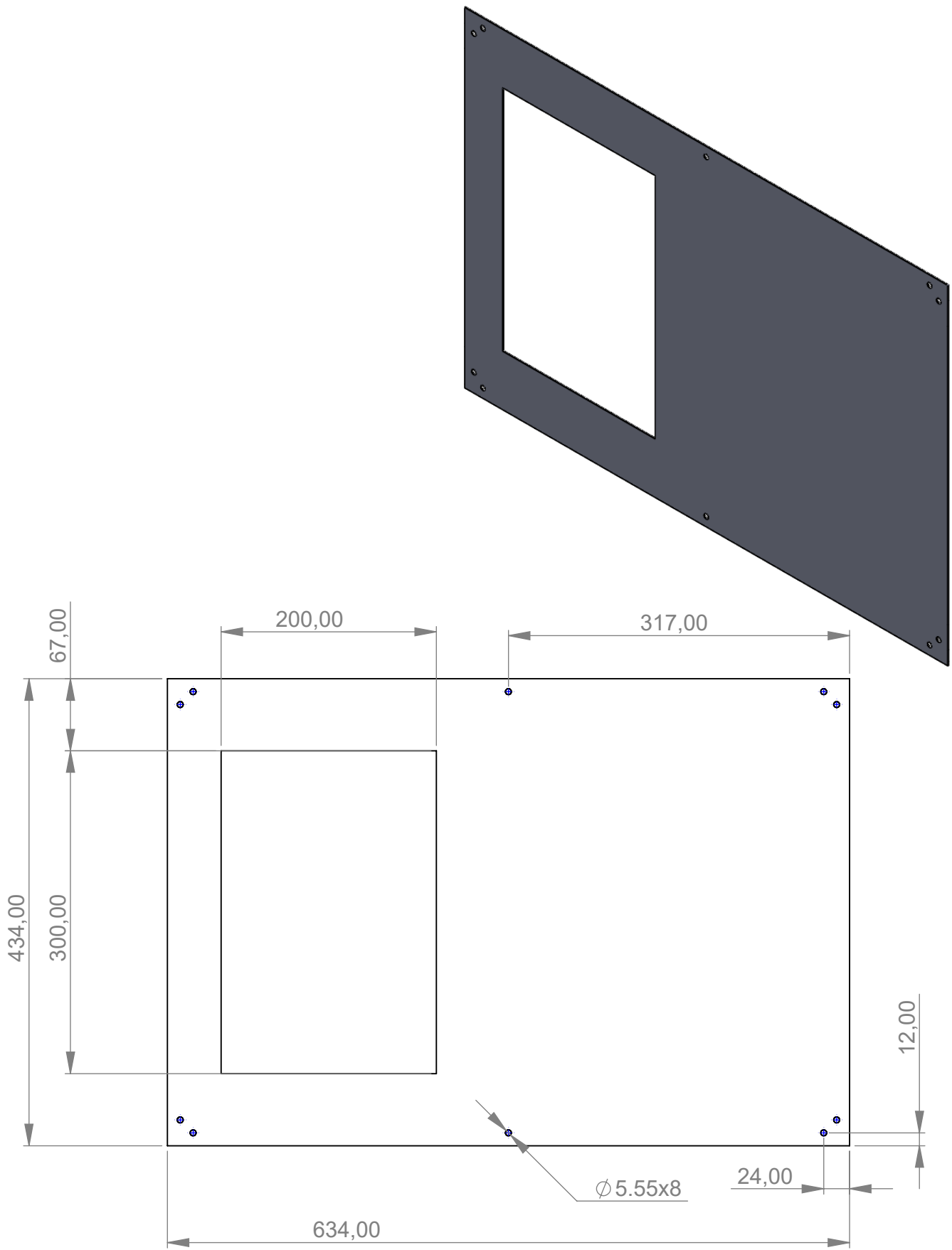
	PROYECTO: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO			ESCALA 1:5	
	PARTE: TAMBOR.				
	CÓDIGO: SEA-EM-06			TOLERANCIA: $\pm 0,1$	
	MATERIAL:	ACERO	DISEÑO:	ANGUAYA R.	10/8/2025
TRATAMIENTO:	GALVANIZADO	DIBUJO:	ANGUAYA R.	10/8/2025	
RECUBRIMIENTO:	ZINC	REVISÓ:	MEJÍA C.	17/8/2025	A4
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA C.	18/8/2025	
UTN	CIME				



PROYECTO: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO				ESCALA 1:2	
PARTE: EJE DE TAMBOR					
CÓDIGO: SEA-EM-07				TOLERANCIA: ±0,1	
MATERIAL:	ACERO	DISEÑO:	ANGUAYA R.	10/8/2025	HOJA 9/15 A4
TRATAMIENTO:	GALVANIZADO	DIBUJO:	ANGUAYA R.	10/8/2025	
RECUBRIMIENTO:	ZINC	REVISÓ:	MEJÍA C.	17/8/2025	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA C.	18/8/2025	

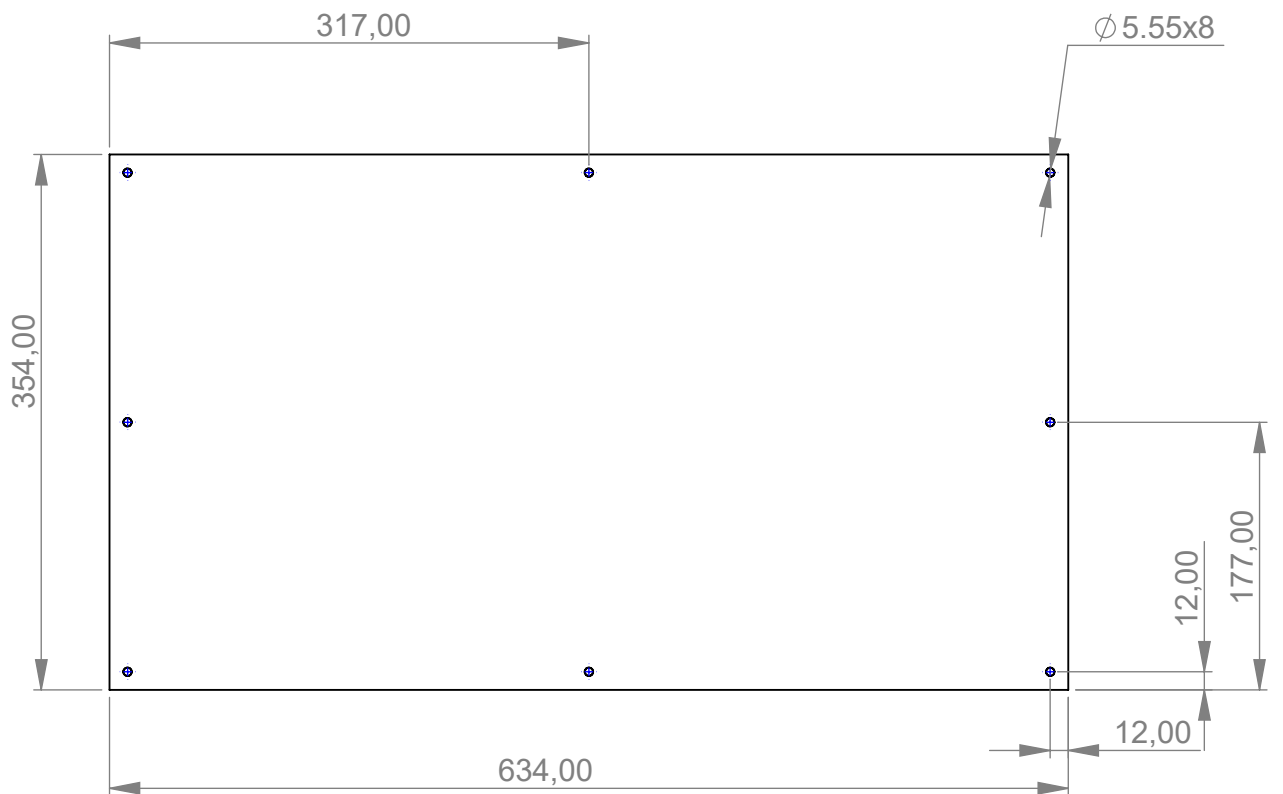
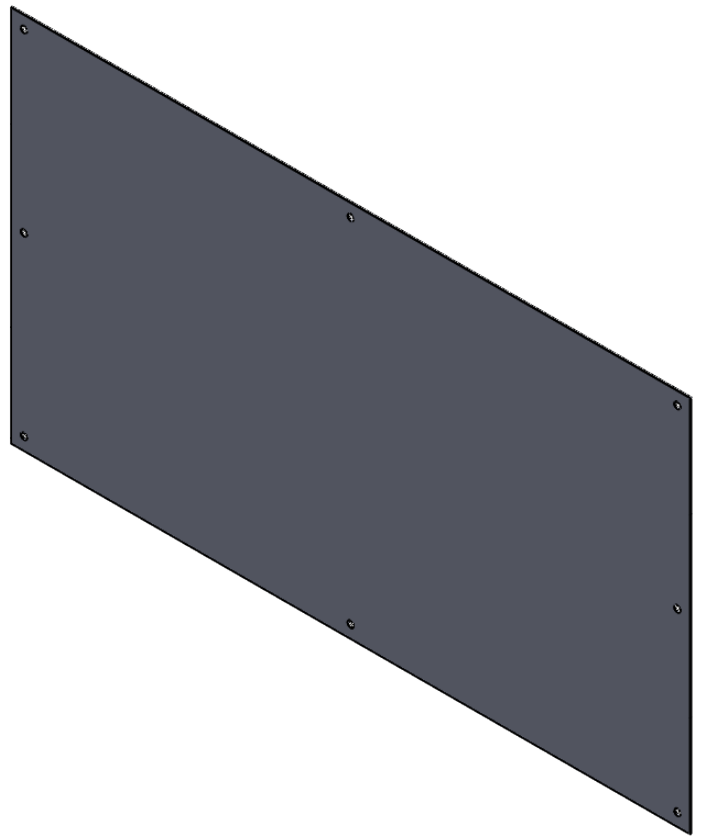
UTN

CIME



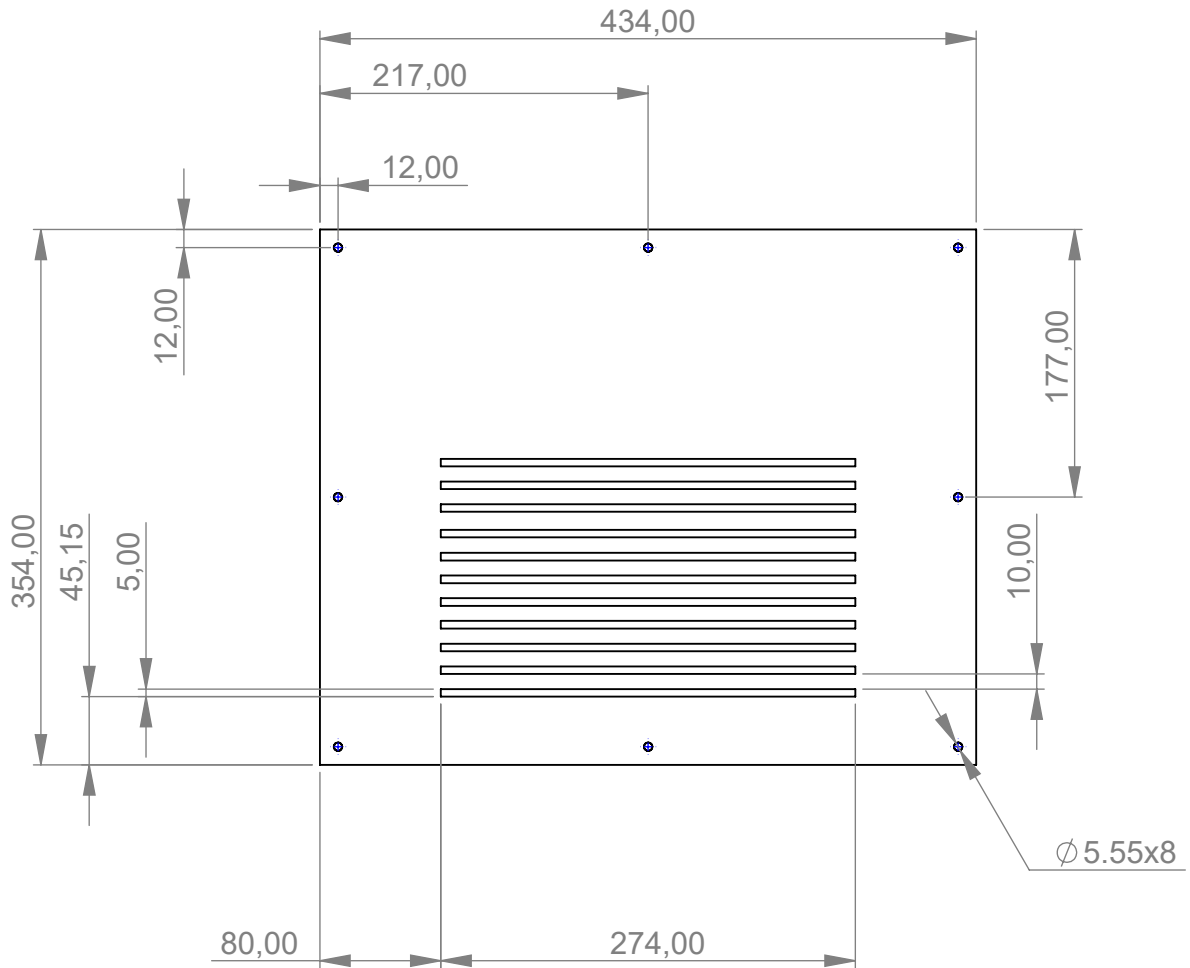
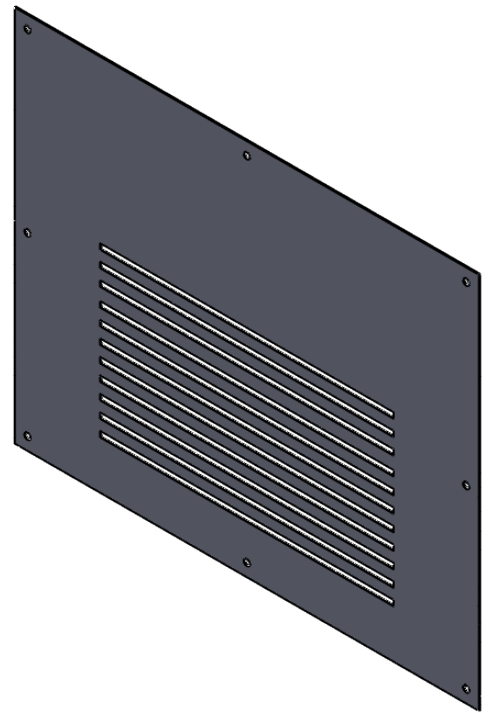
NOTA: EL ESPESOR DE LA CHAPA ES DE 1mm

	PROYECTO: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO				ESCALA 1:5	
	PARTE: TAPA SUPERIOR.					
	CÓDIGO: SEA-EM-08				TOLERANCIA: ±0,1	
	MATERIAL:	ACERO	DISEÑO:	ANGUAYA R.	10/8/2025	HOJA 10/15
	TRATAMIENTO:	GALVANIZADO	DIBUJO:	ANGUAYA R.	10/8/2025	
RECUBRIMIENTO:	ZINC	REVISÓ:	MEJÍA C.	17/8/2025	A4	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA C.	18/8/2025		
UTN	CIME					



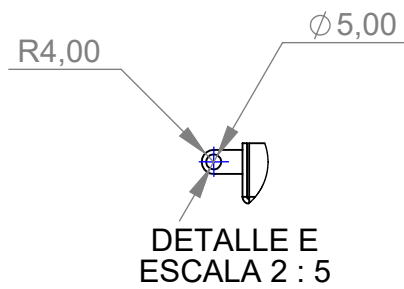
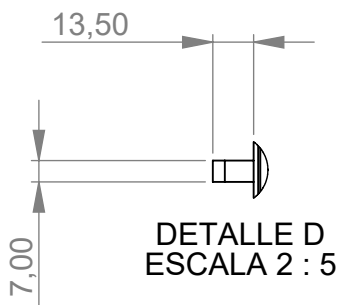
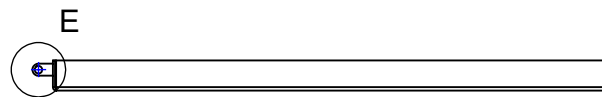
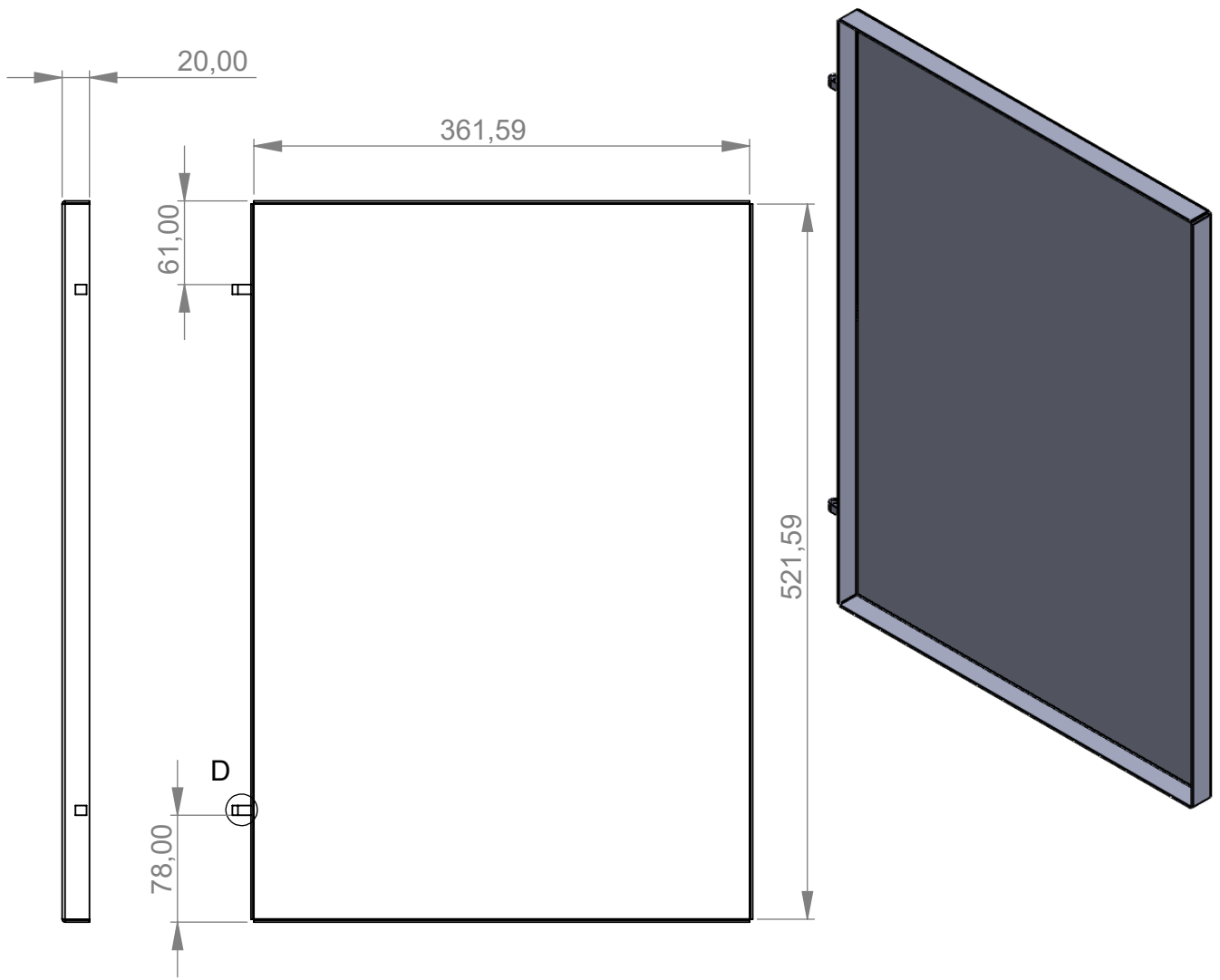
NOTA: EL ESPESOR DE LA CHAPA ES DE 1mm

	PROYECTO: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO				ESCALA 1:5	
	PARTE: TAPA LATERAL.					
	CÓDIGO: SEA-EM-09				TOLERANCIA: ±0,1	
	MATERIAL:	ACERO	DISEÑO:	ANGUAYA R.	10/8/2025	HOJA 11/15
	TRATAMIENTO:	GALVANIZADO	DIBUJO:	ANGUAYA R.	10/8/2025	
RECUBRIMIENTO:	ZINC	REVISÓ:	MEJÍA C.	17/8/2025	A4	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA C.	18/8/2025		
UTN	CIME					



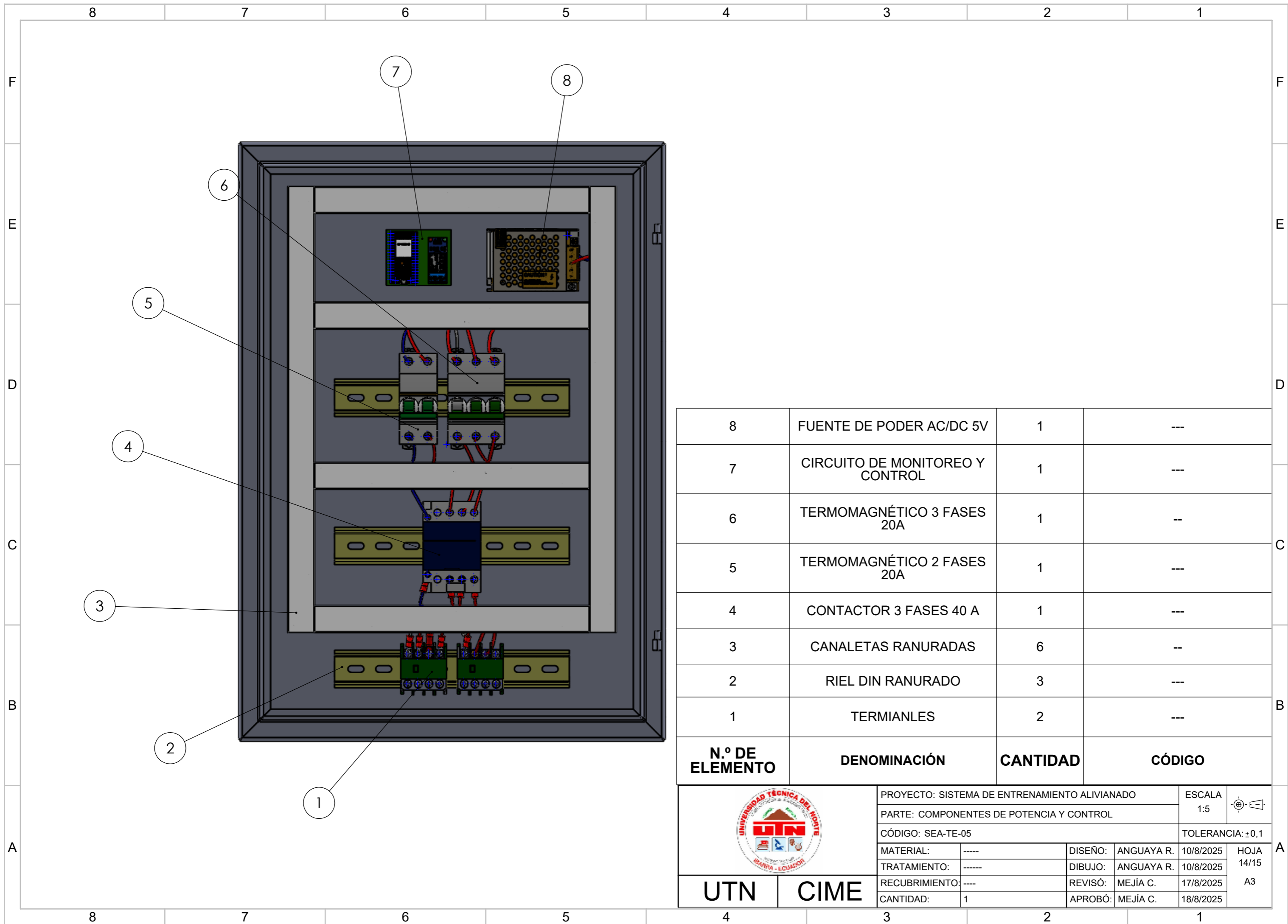
NOTA: EL ESPESOR DE LA CHAPA ES DE 1mm

	PROYECTO: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO			ESCALA 1:5	
	PARTE: TAPA RESPIRADERO POSTERIOR				
	CÓDIGO: SEA-EM-10			TOLERANCIA: ±0,1	
	MATERIAL:	ACERO	DISEÑO:	ANGUAYA R.	10/8/2025
TRATAMIENTO:	GALVANIZADO	DIBUJO:	ANGUAYA R.	10/8/2025	
RECUBRIMIENTO:	ZINC	REVISÓ:	MEJÍA C.	17/8/2025	A4
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA C.	18/8/2025	
UTN	CIME				



NOTA: EL ESPESOR DE LA CHAPA ES DE 1.5mm

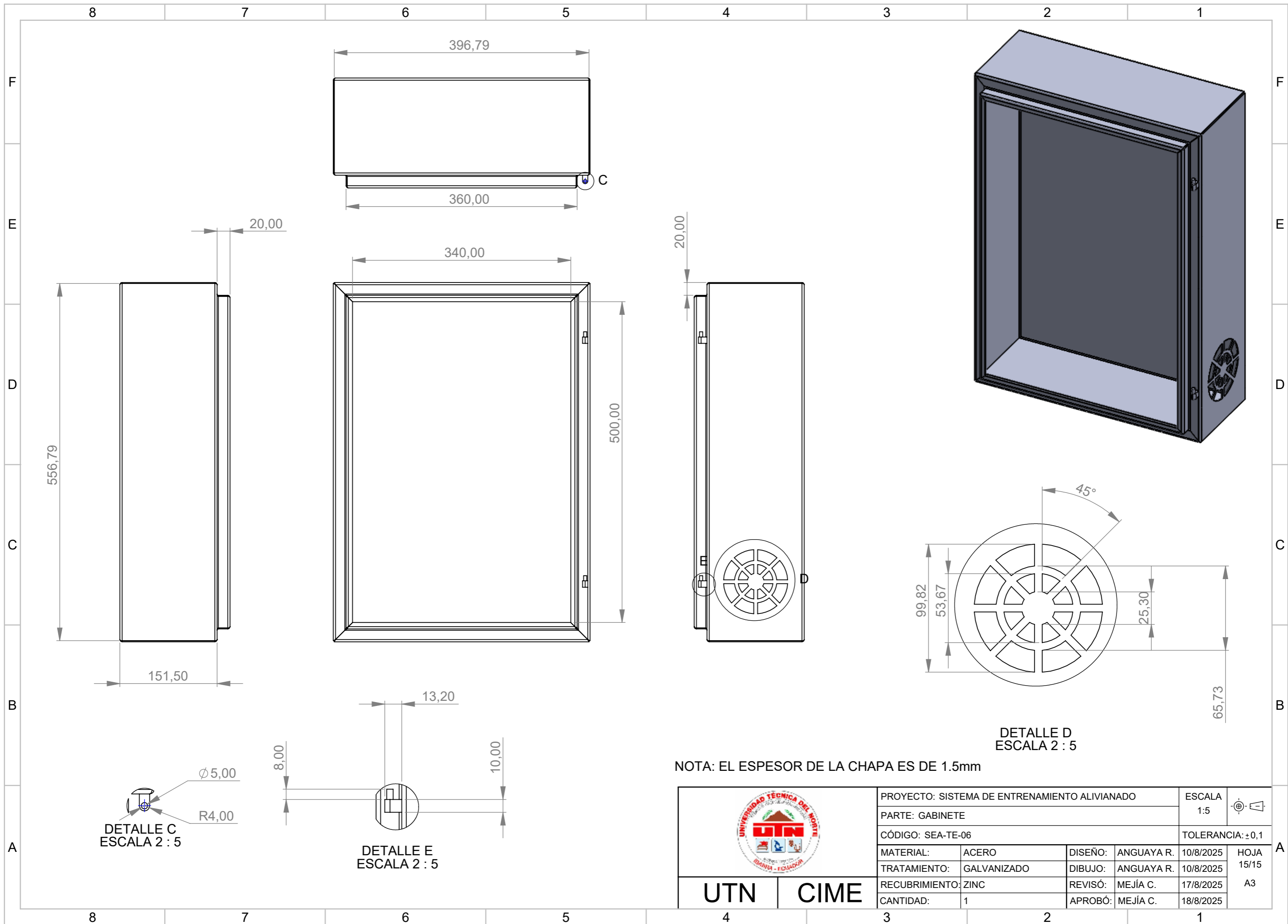
	PROYECTO: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO				ESCALA 1:5	
	PARTE: PUERTA.					
	CÓDIGO: SEA-TE-04				TOLERANCIA: ±0,1	
	MATERIAL:	ACERO	DISEÑO:	ANGUAYA R.	10/8/2025	HOJA 13/15
TRATAMIENTO:	GALVANIZADO	DIBUJO:	ANGUAYA R.	10/8/2025		
RECUBRIMIENTO:	ZINC	REVISÓ:	MEJÍA C.	17/8/2025	A4	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA C.	18/8/2025		
UTN	CIME					



8	FUENTE DE PODER AC/DC 5V	1	---
7	CIRCUITO DE MONITOREO Y CONTROL	1	---
6	TERMOMAGNÉTICO 3 FASES 20A	1	--
5	TERMOMAGNÉTICO 2 FASES 20A	1	---
4	CONTACTOR 3 FASES 40 A	1	---
3	CANALETAS RANURADAS	6	--
2	RIEL DIN RANURADO	3	---
1	TERMIANLES	2	---
N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	CANTIDAD	CÓDIGO

	PROYECTO: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO			ESCALA		
	PARTE: COMPONENTES DE POTENCIA Y CONTROL			1:5		
	CÓDIGO: SEA-TE-05			TOLERANCIA: ±0,1		
	MATERIAL:	----	DISEÑO:	ANGUAYA R.	10/8/2025	HOJA 14/15 A3
	TRATAMIENTO:	----	DIBUJO:	ANGUAYA R.	10/8/2025	
RECUBRIMIENTO:	----	REVISÓ:	MEJÍA C.	17/8/2025		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA C.	18/8/2025		

UTN CIME

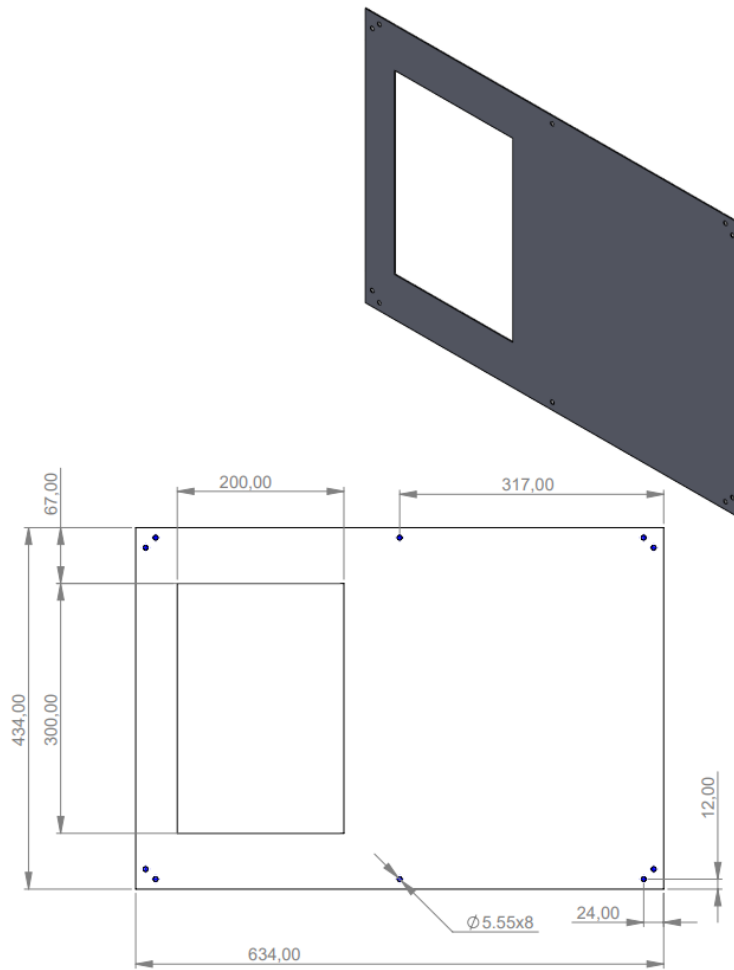


NOTA: EL ESPESOR DE LA CHAPA ES DE 1.5mm

 UTN CIME	PROYECTO: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO ALIVIANADO				ESCALA	 1:5			
	PARTE: GABINETE				TOLERANCIA: ±0,1				
	CÓDIGO: SEA-TE-06				DISEÑO:	ANGUAYA R.	10/8/2025	HOJA	15/15
	MATERIAL:	ACERO	DIBUJO:	ANGUAYA R.	10/8/2025			A3	
	TRATAMIENTO:	GALVANIZADO	REVISÓ:	MEJÍA C.	17/8/2025				
RECUBRIMIENTO:	ZINC	APROBÓ:	MEJÍA C.	18/8/2025					
CANTIDAD:	1								

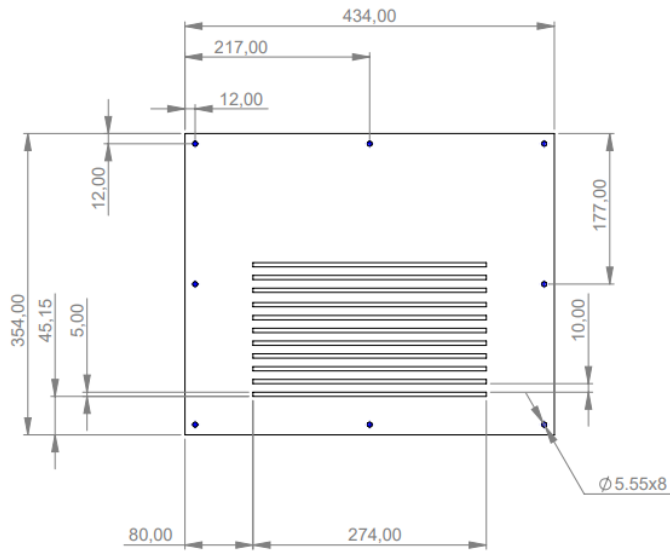
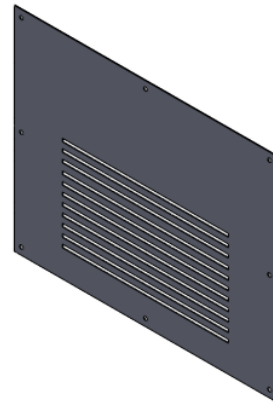
ANEXO D. Hoja de procesos

Hoja de Procesos Tapa Superior					
Proyecto	Sistema de entrenamiento alivianado		Máquina	Cortadora Láser	Fecha: 11/08/2025
Pieza	Tapa Superior	Plano Nro.	SEA-EM-08	Hoja	
Material	Lámina galvanizada		Dimensiones en bruto	1220mm * 2440mm*1mm	
Realizado por:	Anguaya Isama Ronaldo Xavier		Observaciones	-----	



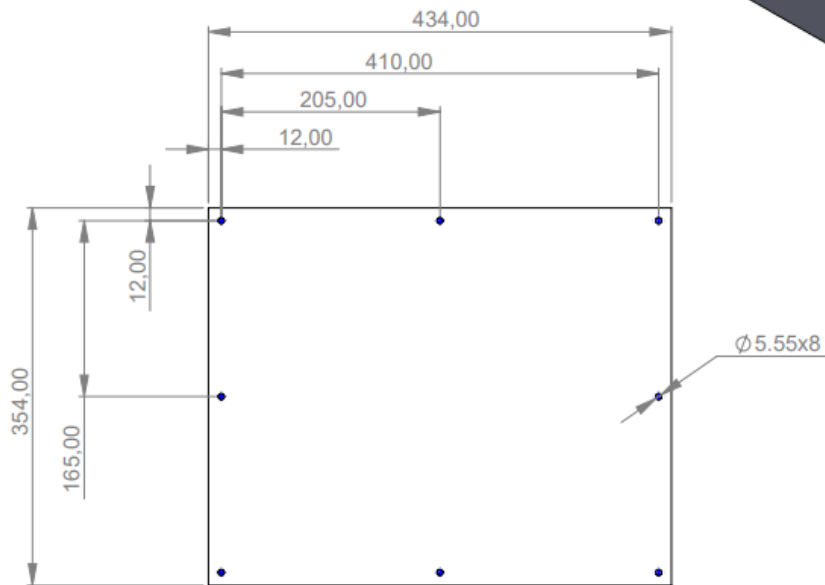
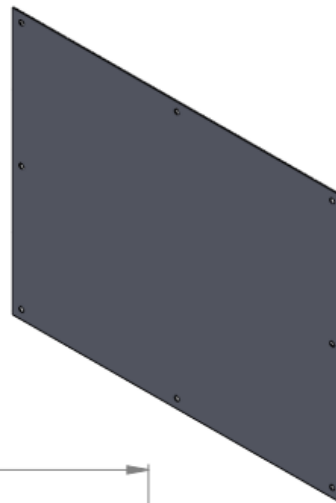
Fase	Tiempo de operación	Parámetros de corte			
		Gas de asistencia	Nitrógeno	Potencia del láser	1kW-3kW
Mecanizado	13 min	Velocidad de corte	15m/min	Posición del foco	0,5mm a 1,0mm

Hoja de Procesos Tapa Respiradero Posterior						
Proyecto	Sistema de entrenamiento alivianado			Máquina	Cortadora Láser	Fecha: 11/08/2025
Pieza	Tapa respiradero posterior	Plano Nro.	SEA-EM-10	Hoja	1/1	
Material	Lámina galvanizada			Dimensiones en bruto	1220mm * 2440mm*1mm	
Realizado por:	Anguaya Isama Ronaldo Xavier			Observaciones	-----	



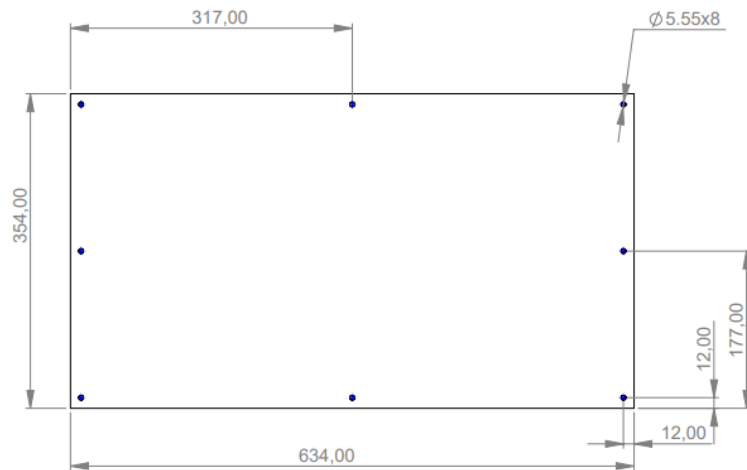
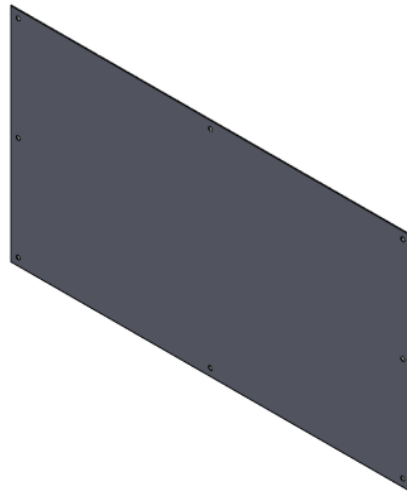
Fase	Tiempo de operación	Parámetros de corte			
		Mecanizado	20 min	Gas de asistencia	Nitrógeno
Velocidad de corte	15m/min			Posición del foco	0,5mm a 1,0mm

Hoja de Procesos Tapa Frontal						
Proyecto	Sistema de entrenamiento alivianado			Máquina	Cortadora Láser	Fecha: 11/08/2025
Pieza	Tapa Frontal	Plano Nro.	SEA-EM-05	Hoja	1/1	
Material	Lámina galvanizada			Dimensiones en bruto	1220mm * 2440mm*1mm	
Realizado por:	Anguaya Isama Ronaldo Xavier			Observaciones	-----	



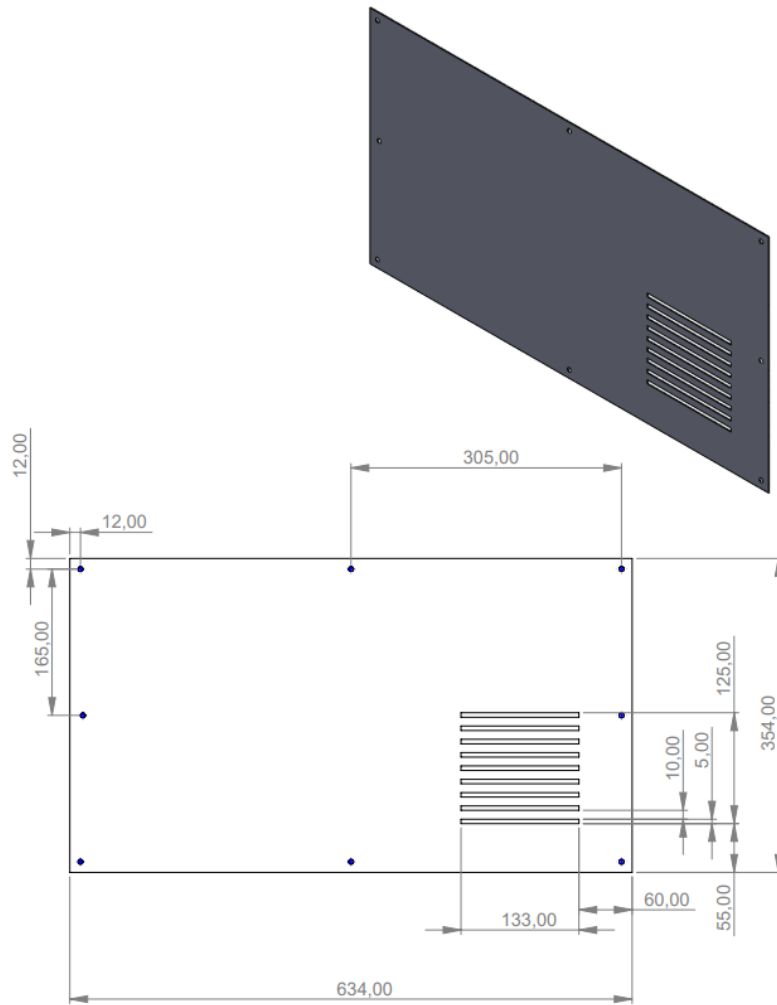
Fase	Tiempo de operación	Parámetros de corte			
		Mecanizado	10 min	Gas de asistencia	Nitrógeno
Velocidad de corte	15m/min			Posición del foco	0,5mm a 1,0mm

Hoja de Procesos Tapa Lateral						
Proyecto	Sistema de entrenamiento alivianado			Máquina	Cortadora Láser	Fecha: 11/08/2025
Pieza	Tapa Lateral	Plano Nro.	SEA-EM-09	Hoja	1/1	
Material	Lámina galvanizada			Dimensiones en bruto	1220mm * 2440mm*1mm	
Realizado por:	Anguaya Isama Ronaldo Xavier			Observaciones	-----	



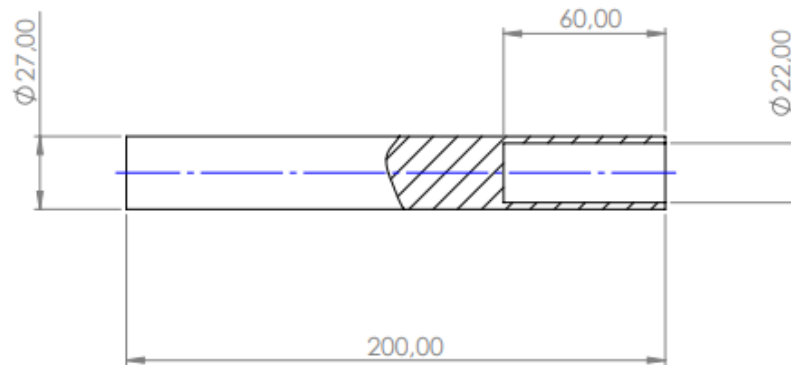
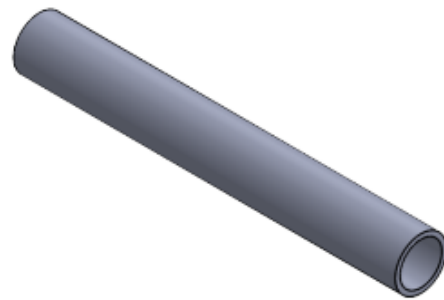
Fase	Tiempo de operación	Parámetros de corte			
		Mecanizado	12min	Gas de asistencia	Nitrógeno
Velocidad de corte	15m/min			Posición del foco	0,5mm a 1,0mm

Hoja de Procesos Tapa Respiradero Posterior						
Proyecto	Sistema de entrenamiento alivianado			Máquina	Cortadora Láser	Fecha: 11/08/2025
Pieza	Tapa respiradero posterior	Plano Nro.	SEA-EM-04	Hoja	1/1	
Material	Lámina galvanizada			Dimensiones en bruto	1220mm * 2440mm*1mm	
Realizado por:	Anguaya Isama Ronaldo Xavier			Observaciones	-----	



Fase	Tiempo de operación	Parámetros de corte			
		Gas de asistencia	Nitrógeno	Potencia del láser	1kW-3kW
Mecanizado	20 min	Velocidad de corte	15m/min	Posición del foco	0,5mm a 1,0mm

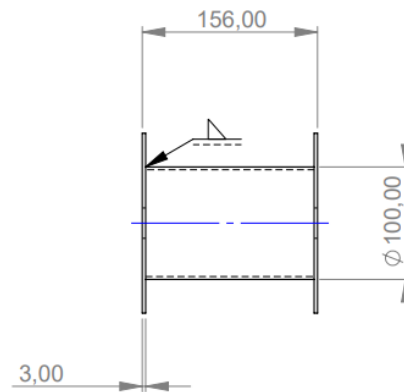
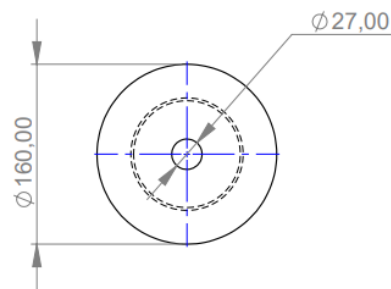
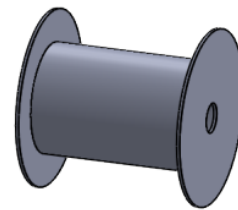
Hoja de Procesos Eje de Tambor						
Proyecto	Sistema de entrenamiento alivianado			Máquina	Torno	Fecha: 11/08/2025
Pieza	Eje de tambor	Plano Nro.	SEA-EM-07	Hoja	1/1	
Material	Perfil macizo			Dimensiones en bruto	1m	
Realizado por:	Anguaya Isama Ronaldo Xavier			Observaciones	-----	



Fase	Tiempo de operación	Parámetros de corte			
Mecanizado	10min	Profundidad de corte	3mm	Acabado	0,8mm
		Velocidad de corte	150m/min	Velocidad de rotación	1768,4 RPM

Hoja de Procesos Tambor

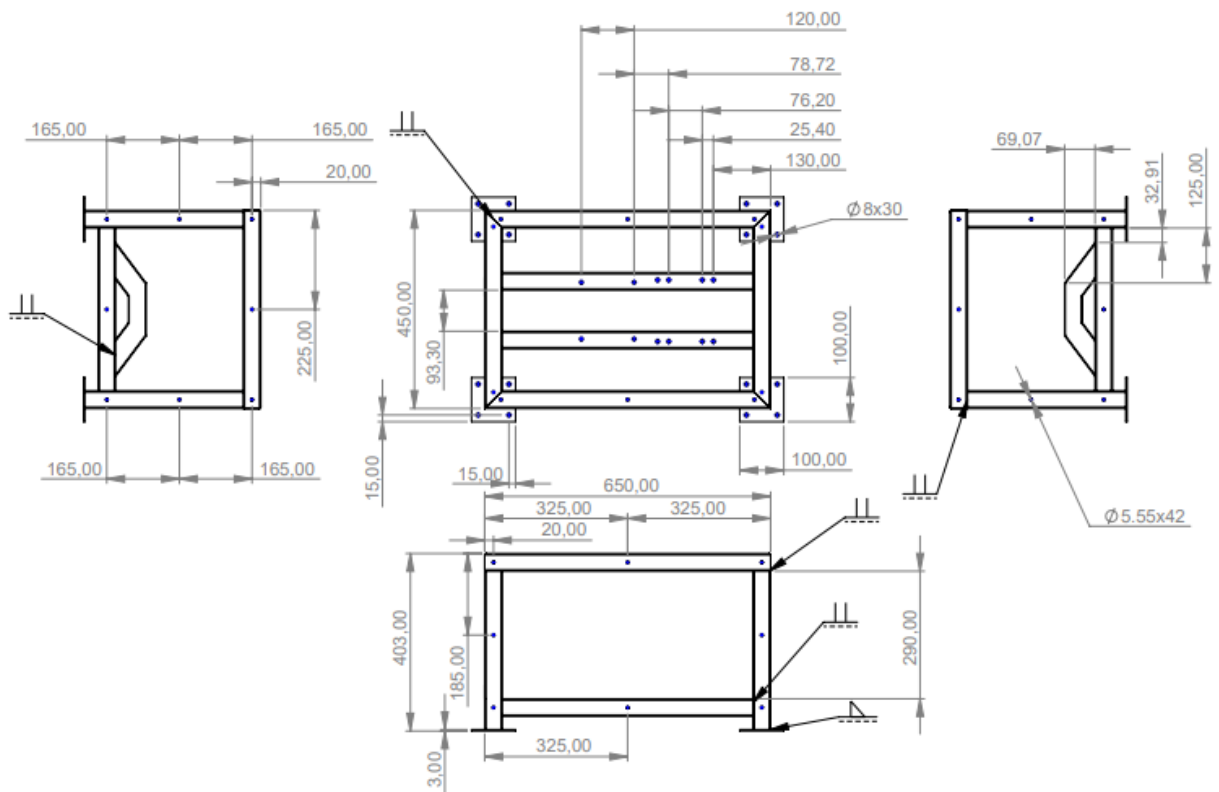
Proyecto	Sistema de entrenamiento alivianado			Máquina	Cortadora Láser Soldadora	Fecha: 11/08/2025
Pieza	Tambor	Plano Nro.	SEA-EM-06	Hoja	1/1	
Material	Tubo redondo Lámina galvanizada			Dimensiones en bruto	100mm*5mm 2x 160*160*3mm	
Realizado por:	Anguaya Isama Ronaldo Xavier			Observaciones	-----	



Fase	Tiempo de operación	Parámetros de corte			
		Suelda	MIG	Potencia del láser	1kW-3kW
Mecanizado	20min	Velocidad de corte	15m/min	Posición del foco	0,5mm a 1,0mm

Hoja de Procesos Estructura

Proyecto	Sistema de entrenamiento alivianado		Máquina	Amoladora Soldadora Taladro	Fecha: 11/08/2025
Pieza	Estructura	Plano Nro.	SEA-EM-03	Hoja	
Material	Tubo cuadrado 40x40x1.2mm		Dimensiones en bruto	6m	
Realizado por:	Anguaya Isama Ronaldo Xavier		Observaciones	-----	



Fase	Tiempo de operación	Parámetros de corte/suelda			
		Mecanizado	5h	Suelda	MIG
		Velocidad	10,000RPM	Tipo de disco	Disco de corte abrasivo

ANEXO E. Catálogos

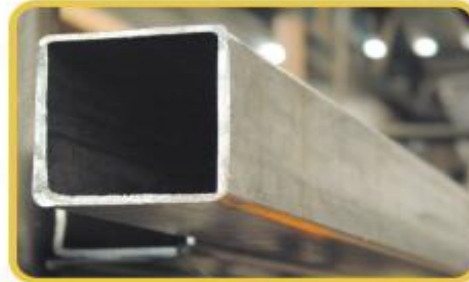
Catálogo tubo estructural



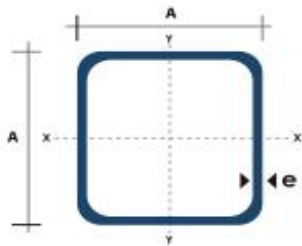
TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o Galvanizado
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm a 100mm
Espesores:	Desde 1,20mm a 5,00mm



TUBERÍA



Dimensiones			Area	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Area cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	8.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

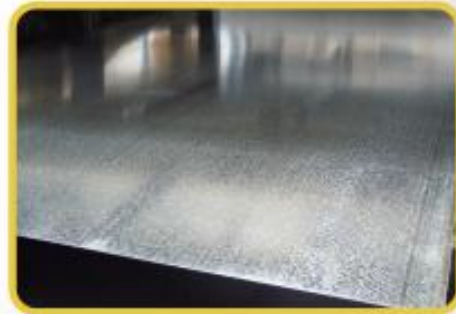


www.dipacmanta.com

PLANCHAS GALVANIZADAS

Especificaciones Generales:

Acero Base:	Calidad comercial o según tabla de laminado al frío
Norma:	NTE INEN 015
Espesores:	0,30mm a 2,90mm
Rollos:	X 1219mm y por flejes
Planchas:	4 x 8 pies y medidas especiales
Flor:	Regular, Mínima, Zero



Recubrimiento	(Total ambas caras)	
	Tipo	oz / pie ²
G-40	40	120
G-60	60	180
G-90	90	270

Producto / Mercado	Comercial, Construcción y Edificios	Industrial	Línea Blanca	Automotriz
Lámina Galvanizada	Techos y paredes, periferia y tubería en general, cajines, soportes de cielo falso, ductos de aire, silos para almacenar grano, accesorios para construcción, corinas metálicas, señalizaciones de carretera, estructuras, techos y soportes de establecimientos.	Aire acondicionado, ventiladores de techo y ventana, tapas, extractores de humo, casas móviles, ductos, bisagras, recipientes, cajas eléctricas, pizarrones electrónicos, motores, láminas, etc.	Respaldo de refrigeradores, estufas y lavadoras, soportes, bases, uniones, esquineros y accesorios de fijación y otras partes no expuestas, etc.	Mojers, uniones, soportes, pisos, carter, guantera, portaestéreos, cinchos y otras partes no expuestas, etc.



Datos eléctricos de motor Weg

W22 - Eficiencia Premium - 60 Hz

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (Nm)	Corriente con rotor trabado I/In		Par de arranque Ta/Tn	Par máximo Tm/Tn	Inercia J (kgm ²)	Tiempo máx. con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	460 V						Corriente nominal In (A)
									Caliente	Frio				% de la potencia nominal			Factor de potencia			
														50	75	100	50	75	100	
HP	kW	Letra	Ia/In	Ta/Tn	Tm/Tn	Caliente	Frio	50	75	100	50	75	100							
VI polos																				
1	0,75	143/5T	6,11	K	6,2	2,6	3,0	0,0067	28	62	24,0	49,0	1150	77,0	82,0	82,5	0,45	0,57	0,66	1,73
1,5	1,1	182/4T	9,01	M	7,8	3,2	4,0	0,0206	16	35	31,9	52,0	1170	84,0	86,5	87,5	0,45	0,54	0,62	2,54
2	1,5	182/4T	12,0	L	7,5	3,0	3,5	0,0262	31	68	39,7	52,0	1170	86,5	87,5	88,5	0,46	0,58	0,66	3,22
3	2,2	213/5T	17,9	K	7,0	2,0	2,8	0,0504	58	128	55,0	55,0	1175	86,5	88,5	89,5	0,50	0,63	0,70	4,41
5	3,7	213/5T	30,0	J	6,8	1,7	2,6	0,0620	57	125	73,5	55,0	1170	88,5	89,5	89,5	0,58	0,70	0,76	6,83
7,5	5,5	254/6T	44,8	H	6,8	2,5	3,0	0,1652	30	66	119	59,0	1175	89,5	90,2	91,0	0,63	0,74	0,80	9,48
10	7,5	254/6T	59,8	H	6,5	2,3	2,8	0,1867	26	57	131	59,0	1175	90,2	91,0	91,0	0,63	0,74	0,80	12,9
15	11	284/6T	89,7	G	6,4	2,3	2,7	0,3310	20	44	172	59,0	1175	91,0	91,7	91,7	0,69	0,80	0,84	17,9
20	15	284/6T	120	G	6,2	2,3	2,6	0,3861	16	35	193	59,0	1175	91,0	91,7	91,7	0,70	0,80	0,85	24,2
25	18,5	324/6T	149	G	6,2	2,1	2,6	0,4843	26	57	254	62,0	1180	91,7	93,0	93,0	0,65	0,77	0,82	30,4
30	22	324/6T	179	G	6,2	2,3	2,6	0,5561	21	46	285	62,0	1180	91,7	93,0	93,0	0,65	0,76	0,82	36,2
40	30	364/5T	237	G	6,4	2,0	2,4	1,22	21	46	378	66,0	1185	93,6	93,6	94,1	0,73	0,82	0,86	46,5
50	37	364/5T	298	G	6,4	2,0	2,4	1,36	18	40	394	66,0	1180	93,6	94,1	94,1	0,74	0,83	0,86	57,4
60	45	404/5T	356	H	7,1	2,0	2,3	1,55	20	44	470	68,0	1185	94,1	94,5	94,5	0,74	0,82	0,86	69,5
75	55	404/5T	446	G	6,4	2,0	2,3	1,89	17	37	494	68,0	1180	94,1	94,5	94,5	0,74	0,83	0,86	84,9
100	75	444/5T	593	G	6,2	2,2	2,6	3,68	20	44	715	69,0	1185	94,5	95,0	95,0	0,68	0,78	0,82	121
125	90	444/5T	741	G	6,4	2,1	2,4	4,37	19	42	794	69,0	1185	95,0	95,4	95,0	0,70	0,79	0,83	143
150	110	445/7T	889	G	6,2	2,4	2,6	5,63	20	44	926	69,0	1185	95,0	95,4	95,8	0,67	0,78	0,82	176
200	150	447/9T	1181	G	6,6	2,3	2,4	6,09	15	33	1019	70,0	1190	95,0	95,4	95,8	0,68	0,79	0,83	237
250	185	447/9T	1482	G	6,1	2,4	2,4	6,09	12	26	1151	70,0	1185	95,0	95,4	95,8	0,68	0,79	0,83	292
300	220	447/9T	1771	J	7,7	2,7	3,0	6,09	10	22	1185	70,0	1190	95,4	95,8	95,8	0,63	0,75	0,81	356
350	260	586/7T	2066	G	6,0	2,0	2,1	13,8	29	64	1716	77,0	1190	95,4	95,8	95,8	0,67	0,77	0,81	421
400	300	586/7T	2361	G	6,0	2,2	2,1	15,5	29	64	1866	77,0	1190	95,4	95,8	96,2	0,67	0,77	0,81	483
450	330	586/7T	2656	G	6,1	2,1	2,1	15,5	25	55	1988	77,0	1190	95,8	96,2	96,2	0,67	0,77	0,81	532
500	370	586/7T	2951	G	6,0	2,2	2,1	15,5	25	55	1997	77,0	1190	95,8	96,2	96,2	0,66	0,76	0,80	603
550	400	588/9T	3246	G	6,5	2,2	2,3	16,4	30	66	2147	77,0	1190	95,2	96,0	96,1	0,63	0,74	0,79	661
600	440	588/9T	3541	H	6,5	2,2	2,3	18,9	31	68	2346	77,0	1190	95,4	96,1	96,2	0,63	0,74	0,79	743