UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

"SISTEMA DIDÁCTICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL MOMENTO DE INERCIA DE ÁREA"

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

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

AUTOR:

Johan Patricio Olmedo Vallejos

DIRECTOR:

Prof. Marco Antonio Ciaccia Sortino

ASESOR:

Ing. David Alberto Ojeda Peña

Ibarra – Ecuador, 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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 DEL CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Olmedo Vallejos Johan Patricio

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Sistema didáctico para la determinación del momento de inercia de área
AUTOR (ES):	Olmedo Vallejos Johan Patricio
FECHA: DD/MM/AAAA	03/092026
PROGRAMA:	■ PREGRADO ☐ POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
DIRECTOR /ASESOR:	Prof. Marco Ciaccia / Ing. David Ojeda

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 03 días del mes de septiembre de 2026

EL AUTOR: Validar únicamente en FirmaEC. Firmado electrónicamente por: JOHAN PATRICIO OLMEDO VALLEJOS

Johan Patricio Olmedo Vallejos

C.I 1004910137

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÒN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

Ibarra, 03 de septiembre de 2026

Prof. Marco Antonio Ciaccia Sortino

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

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

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
MARCO ANTONIO CIACCIA SORTINO

(f)…….
Prof. Marco Antonio Ciaccia Sortino
C.C.: 1756778252

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular "Sistema didáctico para la determinación del momento de inercia de área" elaborado por Johan Patricio Olmedo Vallejos, previo a la obtención del título de INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
MARCO ANTONIO CIACCIA SORTINO

(f)…….

Prof. Marco Antonio Ciaccia Sortino

C.C.: 1756778252

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
DAVID ALBERTO OJEDA PENA

(f)…….

Ing. David Alberto Ojeda Peña

C.C.: 1757898489

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por permitirme alcanzar esta meta y brindarme la fortaleza necesaria para superar cada dificultad. A mi familia, por su apoyo incondicional, acompañamiento y confianza, especialmente a mi padre, Edwin Olmedo, y a mi madre, Pilar Vallejos, quienes me acompañaron en cada momento y fueron una fuente de motivación para continuar esforzándome y culminar esta importante etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Mi sincero agradecimiento al Profesor Marco Ciaccia, tutor de este trabajo de titulación, por su acompañamiento y orientación durante el desarrollo de este trabajo. Sus observaciones, conocimientos y recomendaciones permitieron fortalecer el trabajo realizado y afrontar de mejor manera los diferentes desafíos que surgieron durante este proceso.

Agradezco a los docentes por compartir sus conocimientos y aportar a mi crecimiento profesional durante mi formación universitaria. De igual manera, agradezco a la Universidad Técnica del Norte por la oportunidad de formarme profesionalmente y a todas las personas que, con su apoyo y colaboración, hicieron posible la culminación de este trabajo.

RESUMEN

En la formación de los estudiantes de ingeniería, la comprensión de conceptos relacionados con el comportamiento estructural requiere complementar los conocimientos teóricos con experiencias prácticas. Se desarrolló un sistema didáctico orientado a facilitar la enseñanza del momento de inercia de área, el sistema permite aplicar cargas controladas sobre vigas y medir las deflexiones producidas, posibilitando la comparación entre los resultados experimentales y los valores obtenidos mediante modelos teóricos.

Para el desarrollo del sistema se establecieron requerimientos relacionados con la funcionalidad, seguridad, dimensiones precisión de las mediciones entre otros. Posteriormente, se analizaron diferentes soluciones, las cuales se tomaron en cuenta para el diseño, análisis estructural, construcción y ensamblaje del sistema.

Se realizaron guías de prácticas de laboratorio en las asignaturas de Estática y Resistencia de Materiales. En Estática, se puede observar la influencia del momento de inercia de área sobre la rigidez de diferentes secciones, mientras que en Resistencia de Materiales es posible comparar la deflexión teórica y experimental de las vigas. Con ello, el sistema establece una herramienta de apoyo para vincular los fundamentos teóricos con la experimentación.

Palabras clave: Momento de inercia de área, Estática, Resistencia de Materiales, prácticas de laboratorio, deflexión de vigas, sistema didáctico, análisis experimental.

ABSTRACT

In the education of engineering students, understanding concepts related to structural behavior requires supplementing theoretical knowledge with practical experience. An educational system was developed to facilitate the teaching of area moment of inertia; the system allows controlled loads to be applied to beams and the resulting deflections to be measured, enabling a comparison between experimental results and values obtained through theoretical models.

For the development of the system, requirements were established regarding functionality, safety, dimensions, and measurement accuracy, among others. Subsequently, various solutions were analyzed and taken into account for the system's design, structural analysis, construction, and assembly.

Laboratory practice guides were developed for the courses in Statics and Strength of Materials. In Statics, students can observe the influence of the moment of inertia of area on the stiffness of different cross-sections, while in Strength of Materials, they can compare the theoretical and experimental deflections of beams. Thus, the system serves as a tool to bridge the gap between theoretical fundamentals and experimentation.

Keywords: Moment of area, Statics, Strength of Materials, laboratory exercises, beam deflection, teaching system, experimental analysis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA ii

CERTIFICACIÒN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR iii

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR iv

DEDICATORIA v

AGRADECIMIENTOS vi

RESUMEN vii

ABSTRACT viii

ÍNDICE DE CONTENIDOS ix

ÍNDICE DE FIGURAS xii

ÍNDICE DE TABLAS xiv

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 1

1.1 Planteamiento del problema 1

1.2 Objetivos 2

1.3 Alcance 3

1.4 Justificación 3

CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL 5

2.1 Antecedentes 5

2.2 Marco teórico 13

2.2.1 Aprendizaje práctico 13

2.2.2 Momento de Inercia de Área 15

2.2.2.1 Análisis estructural y diseño mecánico 16

2.2.3 Fundamentos Matemáticos y Geométricos 17

2.2.3.1 Ecuaciones generales para áreas comunes 17

2.2.3.2 Momento polar de inercia 18

2.2.3.3 Teoría de Bernoulli – Euler de vigas 19

2.2.3.4 Teorema de los ejes paralelos 19
2.2.4 Métodos de cálculo 21
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO 23
3.1 Modelo de investigación 23
3.2 Diseño de la investigación 23
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 28
4.1 Especificaciones del sistema 28
4.2 Estudio de alternativas 29
4.2.1 Propuesta de soluciones para la sujeción de vigas 29
4.2.2 Propuestas de generación de deflexión 31
4.2.3 Medición de la deflexión 34
4.2.4 Amplificador de medida 37
4.2.5 Estructura base 39
4.2.6 Visualización de datos 42
4.2.7 Sujetos de prueba 45
4.3 Matriz morfológica 45
4.5 Evaluación de criterios 49
4.5.1 Selección de sujeción de viga 50
4.5.2 Selección de generación de deflexión 51
4.5.3 Selección de medición de la deflexión. 52
4.5.4 Selección de estructura base. 52
4.5.5 Selección de visualización de datos 53
4.6 Propuesta final 54
4.7 Diseño mecánico 55
4.7.1 Elección de perfiles de pruebas 55
4.7.2 Análisis de deflexión 56
4.7.3 Diseño y simulaciones 57

4.8 Construcción 68
4.9 Pruebas de funcionamiento 69
4.9.1 Ajustes 71
4.10 Resultados 74
CONCLUSIONES 77
RECOMENDACIONES 79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 80
ANEXOS 82

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Partes del prototipo [3]. 5
Fig. 2.2 Figura de referencia para el cálculo [4]. 6
Fig. 2.3 Dispositivo portátil IOLab [5]. 7
Fig. 2.4 (a) Varilla para muestra, (b) Cilindro hueco de referencia [6]. 8
Fig. 2.5 Vigas sometidas a ensayo de flexión [7]. 9
Fig. 2.6 Perfil del material compuesto [8]. 10
Fig. 2.7 Software para el cálculo del momento de inercia de área [10]. 11
Fig. 2.8 Viga isostática [11]. 12
Fig. 2.9 Instrumento de medición [12]. 13
Fig. 2.10 Esquema de aprendizaje práctico [14]. 14
Fig. 2.11 Esquema de una sección A en un plano x e y [16]. 15
Fig. 2.12 Requisitos del refuerzo longitudinal en elementos a flexión [17]. 16
Fig. 2.13 Momento de área de figuras comunes [18]. 17
Fig. 2.14 Deformación elástica en una viga en voladizo de longitud L y sección transversal rectangular $b \times h$ bajo una carga puntual [11]. 19
Fig. 2.15 Teorema de los ejes paralelos [10]. 20
Fig. 2.16 Representación de una viga sometida a flexión [20]. 22
Fig. 4.1 Diagrama de colocación de la bisagra y rodamientos. 30
Fig. 4.2 Diagrama de colocación de guía metálica. 31
Fig. 4.3 Diagrama de propuesta de la deflexión generada por palanca con pesas. 32
Fig. 4.4 Diagrama de propuesta de la deflexión generada por polea-cuerda. 32
Fig. 4.5 Diagrama de propuesta de la deflexión generada por polea-motor. 33
Fig. 4.6 Diagrama de propuesta de la colocación de la regleta. 34
Fig. 4.7 Diagrama de propuesta de la adaptación del calibrador digital. 35
Fig. 4.8 Diagrama de propuesta de la colocación del potenciómetro. 36
Fig. 4.9 Propuesta de sistema mecánico palanca-pivote. 37
Fig. 4.10 Estructura propuesta en madera. 39
Fig. 4.11 Estructura propuesta en metal. 40
Fig. 4.12 Estructura propuesta en acrílico. 41
Fig. 4.13 Propuesta de observación por parte del operario. 42
Fig. 4.14 Propuesta de pantalla digital. 43
Fig. 4.15 Ejemplo de una aplicación en escritorio. 44

Fig. 4.16 Propuesta de diseño final. 55
Fig. 4.17 Base del sistema (a) Estructura, (b) estructura con condiciones de borde. 58
Fig. 4.18 Análisis estático de la estructura (a) Tensión, (b) Desplazamiento. 59
Fig. 4.19 Piezas soportes (a) Soporte fijo, (b) Soporte móvil. 60
Fig. 4.20 Análisis estático de soportes soporte fijo (a) Tensión, (b) Desplazamiento. ... 61
Fig. 4.21 Carga del sistema (a) Pieza de carga, (b) Condiciones de borde en la pieza. . 61
Fig. 4.22 Análisis estático de la pieza de carga (a) Tensión, (b) Desplazamiento. 62
Fig. 4.23 Amplificador sistema palanca. 62
Fig. 4.24 Gancho (a) Modelo del gancho, (b) Condiciones de borde del gancho. 63
Fig. 4.25 Análisis estático del gancho (a) Tensión, (b) Desplazamiento. 64
Fig. 4.26 Pasador tubo carga (a) Modelo, (b) Condiciones de borde del pasador tubo carga. 65
Fig. 4.27 Análisis estático del pasador tubo carga (a) Tensión, (b) Desplazamiento. 65
Fig. 4.28 Pasador para los soportes. 66
Fig. 4.29 Diagrama del pasador. 67
Fig. 4.30 Ensamble del sistema (a) Estructura, (b) Placa acoplada con estructura. 68
Fig. 4.31 Sistema construido. 69
Fig. 4.32 Tubos de aluminio, 1 tubo circular, 2 tubo cuadrado, 3 tubo rectangular horizontal, 4 tubo rectangular vertical. 69
Fig. 4.33 Colocación de los pasadores. 70
Fig. 4.34 Referencia inicial del calibrador. 70
Fig. 4.35 Análisis estático de la pieza móvil (a) Desplazamiento, (b) Tensión. 72
Fig. 4.36 Diseño corregido, (a) Modelo geométrico, (b) Sistema construido. 73
Fig. 4.37 Caja de almacenamiento..... 74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Tabla morfológica 46
Tabla 4.2 Evaluación de criterios 50
Tabla 4.3 Evaluación de sujeción de viga 51
Tabla 4.4 Evaluación de generación de deflexión 51
Tabla 4.5 Evaluación de medición de la deflexión 52
Tabla 4.6 Evaluación de la estructura base 53
Tabla 4.7 Evaluación de visualización de datos 54
Tabla 4.8 Datos de los perfiles encontrados 56
Tabla 4.9 Comparación de casos deflexión 56
Tabla 4.10 Resultados de las pruebas de la primera versión del dispositivo con peso de 50,2 N 71
Tabla 4.11 Resultados de las pruebas de la segunda versión del dispositivo con peso de 55,5 N 75

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En el ámbito de la educación superior, las universidades enfrentan el desafío de facilitar una enseñanza de calidad que promueva un aprendizaje profundo y significativo, capaz de desarrollar habilidades complejas en los estudiantes, tales como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y el aprendizaje autónomo [1].

La enseñanza en la ingeniería se enfrenta a retos importantes, ya que requiere no solo transmitir conocimientos teóricos, sino también fomentar competencias prácticas y la capacidad de resolución de problemas en contextos complejos [1]. Es importante combinar la teoría y la práctica, integrando tecnologías educativas y métodos activos de aprendizaje. Esto incluye el uso de laboratorios prácticos, proyectos en equipo y sistemas didácticos interactivos que permitan a los estudiantes visualizar y experimentar los conceptos que estudian [2].

En la actualidad, los estudiantes y académicos deben recurrir a métodos alternativos, como el uso de simulaciones y modelos teóricos, para convalidar los cálculos de momento de inercia de área en proyectos que requieren datos experimentales. Si bien, estas alternativas pueden ofrecer aproximaciones útiles, no siempre garantizan el aprendizaje necesario para la toma de decisiones al momento de brindar soluciones óptimas en aplicaciones prácticas.

Las materias Estática y Resistencia de Materiales, que son parte esencial del currículo en ingeniería, tienen como objetivo proporcionar a los estudiantes los conocimientos necesarios para comprender el comportamiento de los materiales y estructuras bajo diferentes tipos de fuerzas. Entre los conceptos esenciales que deben dominarse en estas asignaturas está el cálculo del momento de inercia de área, una propiedad geométrica

crítica en el análisis de la resistencia estructural, ya que influye directamente en la capacidad de un material para resistir flexión y torsión.

En la Universidad Técnica del Norte, específicamente en la carrera de Ingeniería Mecatrónica, no se disponen de instrumentos de medición para determinar el momento de inercia de área de cuerpos sólidos. Esto trae como consecuencia que las prácticas asociadas a esta medición se realicen únicamente a través de simulaciones computacionales.

Considerando lo expuesto, en el presente trabajo de integración curricular se propone el desarrollo de un sistema didáctico para la determinación del momento de inercia de área en las asignaturas de Estática y Resistencia de materiales como alternativa para el desarrollo de prácticas de laboratorio.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema didáctico para la determinación del momento de inercia de área.

1.2.2 Objetivos Específicos

• Determinar los requerimientos para la enseñanza del momento de inercia de área mediante un sistema didáctico.

• Diseñar el sistema didáctico.

• Construir el sistema didáctico.

• Validar el sistema didáctico.

1.3 Alcance

Este sistema didáctico está dirigido a los estudiantes de ingeniería, para prácticas de laboratorio en las asignaturas de estática y resistencia de materiales, en las cuales se realizará una guía de laboratorio para cada materia. En Estática se utilizará para la demostración de la influencia de inercia de área en la rigidez de las vigas y en Resistencia de materiales se empleará para el cálculo de deflexión de vigas, empleando aluminio como material debido a que tiene la menor rigidez entre los materiales comerciales, lo que permite apreciar deformaciones más pronunciadas.

1.4 Justificación

Este sistema didáctico permitirá a los estudiantes visualizar cómo diferentes geometrías afectan esta propiedad, promoviendo un aprendizaje más activo y significativo. Al incorporar prácticas, se fortalece el desarrollo de habilidades críticas como el razonamiento espacial y la interpretación visual, articulando la teoría con la toma de decisiones en la resolución de problemas. De este modo, los estudiantes pueden adquirir conocimientos esenciales que serán útiles en su desempeño profesional.

En el aspecto económico, el costo de un dispositivo similar es demasiado elevado, por lo que es más eficiente desarrollar un sistema didáctico que comprar un dispositivo en el mercado. Además, se podría contar con un método interactivo y eficaz para comprobar conceptos con mejor entendimiento. El sistema didáctico permitirá recrear diferentes casos de estudio en las diferentes materias sin la necesidad de comprar materiales o gastos adicionales para desarrollar la práctica.

En lo social, la implementación de este sistema facilita la inclusión y accesibilidad en la educación de ingeniería. Al ofrecer un aprendizaje participativo y accesible, permitirá al estudiante adquirir habilidades, independientemente de sus recursos económicos,

comprendiendo temas esenciales de ingeniería sin depender de un software de altos requerimientos computacionales.

Fortalecer la educación en ingeniería tiene un impacto positivo en cuanto a la formación de profesionales mejor preparados que contribuyen al bienestar de la sociedad. Ingenieros con sólidos conocimientos en principios estructurales son clave en sectores como construcción e infraestructura, en los que sus conocimientos son aplicados para el desarrollo seguro y sostenible de la sociedad. Este sistema, no solo impulsa el crecimiento profesional de cada estudiante, sino que también genera beneficios al crecimiento de la comunidad.

CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes

En distintos niveles de educación media y superior se han implementado diversas metodologías y herramientas orientadas a la enseñanza basada en proyectos, la cual ha demostrado ser un mecanismo eficaz para fortalecer el aprendizaje experimental. En este contexto, se desarrolló un prototipo experimental orientado al estudio de masas y cuerpos geométricos, con el propósito de calcular sus momentos de inercia mediante la aplicación de ecuaciones y fórmulas específicas. En la Fig. 2.1 se presenta el prototipo utilizado para la obtención de los resultados, los cuales fueron verificados con valores teóricos, corroborando así la precisión del modelo. Adicionalmente, se evaluó el impacto de esta experiencia en los estudiantes a través de una encuesta donde se muestra un buen aprendizaje y el desarrollo de habilidades de comunicación con el docente, aplicación práctica de conceptos científicos y trabajo en equipo [3].

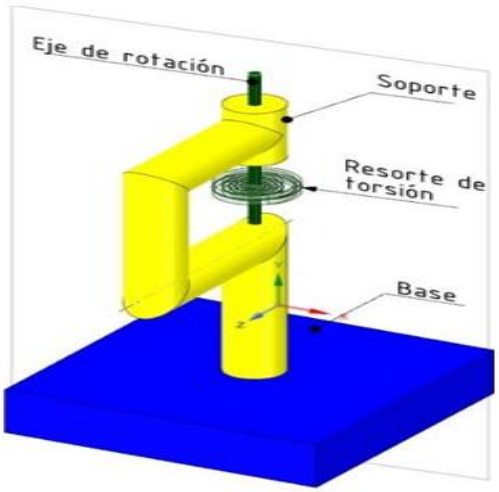


Fig. 2.1 Partes del prototipo [3].

El uso de software en la actualidad es indispensable para optimizar tiempo y fortalece habilidades útiles para un ingeniero. Considerando la relevancia del uso de software en la

formación profesional, se desarrolló un software educativo orientado a apoyar tanto a los docentes como a los estudiantes de ingeniería en el estudio de temas relacionados con el cálculo de centroides y momentos de inercia en figuras planas de contorno recto. Para su implementación, se verificaron las bases teóricas y matemáticas necesarias para el cálculo de centroides y momentos de inercia, utilizando el teorema de Green. Las formulaciones fueron sustentadas y comprobadas en Excel para la creación del software. Symbolab permitió realizar cálculos simbólicos y obtener expresiones matemáticas que modelan las propiedades geométricas. Posteriormente, se llevaron a cabo ejercicios de validación utilizando diversas figuras de referencia; entre ellas, la Fig. 2.2, que sirvió como base para la verificación y comparación de resultados obtenidos en Excel. Los resultados obtenidos confirmaron la validez de las fórmulas y permitieron dar paso a la fase de desarrollo del software [4].

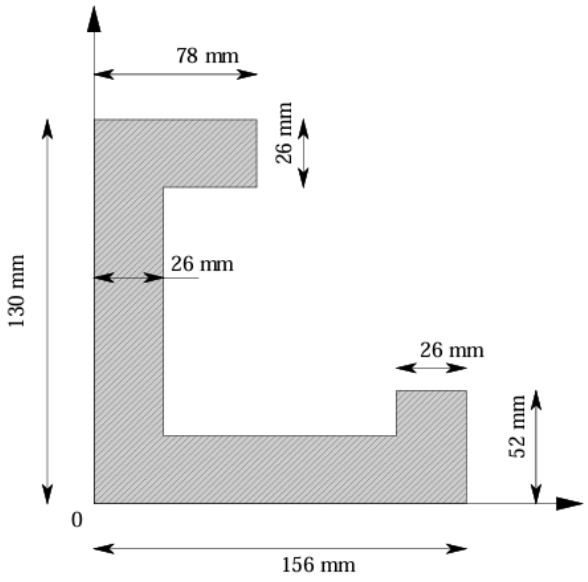


Fig. 2.2 Figura de referencia para el cálculo [4].

El uso de dispositivos en la educación facilita el aprendizaje práctico y autónomo, permitiendo realizar experimentos y analizar datos en tiempo real para fortalecer la comprensión de conceptos teóricos. En esta misma línea, se presentó un programa

educativo "RealTime Physics" (RTP) en beneficio de los estudiantes en cuanto a lo relacionado con la física, para que pudieran realizar experimentos en casa, utilizando un dispositivo portátil llamado IOLab, el cual se muestra en la Fig. 2.3. Este dispositivo es accesible y fácil de usar; mide aspectos como el movimiento y la fuerza, entre otros. Permite que los estudiantes analicen los datos en tiempo real. La adaptación se implementó a través de pruebas con estudiantes presenciales y a distancia, acoplando los laboratorios para mejorar el aprendizaje en línea. Finalmente, los estudiantes lograron una mejor comprensión de conceptos físicos fundamentales, demostrando la posibilidad de impartir laboratorios de física en formato a distancia con resultados positivos [5].



Fig. 2.3 Dispositivo portátil IOLab [5].

Por otra parte, un estudio enfocado en el cálculo de los momentos de inercia de una barra delgada y un cilindro hueco, como se muestra en la Fig. 2.4, utilizó tanto fórmulas teóricas como varios métodos experimentales. Primero, se obtuvieron valores teóricos basados en las dimensiones físicas de los objetos. Luego, se realizaron tres experimentos: en uno se utilizó un sensor de rotación para medir la aceleración angular, mientras que en los otros dos se usó un teléfono móvil para capturar imágenes y medir la altura de una masa en caída o el movimiento controlado del cilindro. Estos métodos indirectos permitieron comparar los resultados experimentales con los teóricos, encontrando una diferencia aproximada del 10%, lo cual valida el uso de estas prácticas experimentales para la enseñanza de conceptos fundamentales de física de manera precisa y accesible [6].

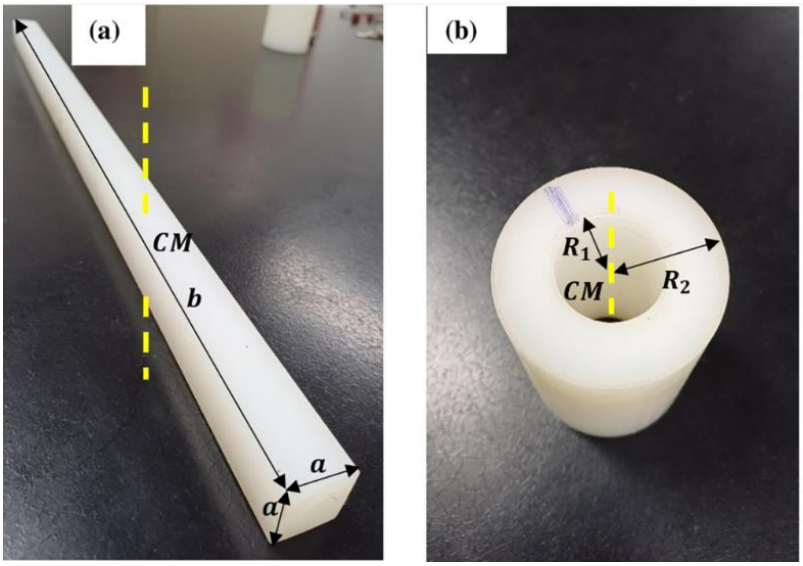


Fig. 2.4 (a) Varilla para muestra, (b) Cilindro hueco de referencia [6].

Dentro de las investigaciones relacionadas con el comportamiento mecánico de estructuras impresas en 3D, se desarrolló un estudio que analizó la influencia de la geometría en la deflexión de diferentes configuraciones estructurales, resaltando la importancia de este enfoque debido a su creciente aplicación en el diseño y la optimización de componentes. Los autores examinaron cómo el tipo de refuerzo afecta la resistencia a la flexión de vigas elaboradas con ácido poliláctico (PLA) mediante impresión 3D, aportando evidencia relevante sobre el desempeño mecánico de este material y sus posibles aplicaciones estructurales [7]. Se modelaron distintos tipos de apoyos y se aplicaron análisis de elementos finitos utilizando los programas Abaqus y COMSOL, configurando las propiedades del material a partir de datos experimentales de esfuerzo y deformación. Se evaluaron cinco diseños de refuerzos: diamante, panal, cuadrado, triangular y ondulado. Posteriormente, se realizaron pruebas de flexión tal como se muestra en la Fig. 2.5 para validar los resultados, evidenciando que las vigas con refuerzo en forma de panal presentaron la mayor resistencia y rigidez, mientras que las de refuerzo cuadrado mostraron el desempeño más deficiente. Este enfoque permitió

optimizar el diseño de estructuras impresas en 3D, demostrando la relevancia del análisis computacional en el desarrollo de materiales avanzados.



Fig. 2.5 Vigas sometidas a ensayo de flexión [7].

El uso de métodos numéricos en el análisis estructural adquiere gran relevancia, ya que permite calcular con alta precisión propiedades geométricas, como el momento de inercia de área, fundamentales para el diseño y la evaluación de componentes mecánicos. Se presenta un método computacional basado en la integración de Gauss para el cálculo del centroide y los momentos de inercia en secciones transversales formadas por materiales y geometrías complejas. Para ello, se generaron mallas triangulares mediante software especializado, tal como se observa en la Fig. 2.6, e igualmente se implementaron rutinas en MATLAB con el fin de evaluar casos prácticos que incluyeron perfiles homogéneos y compuestos, entre ellos una sección aerodinámica típica de alas. Los resultados evidenciaron alta precisión, con errores mínimos en perfiles rectangulares y mejoras notables al incorporar propiedades ponderadas por la elasticidad de los materiales. Este enfoque se consolida como una herramienta eficaz y confiable para el análisis y optimización de estructuras en los campos de la ingeniería mecánica [8].

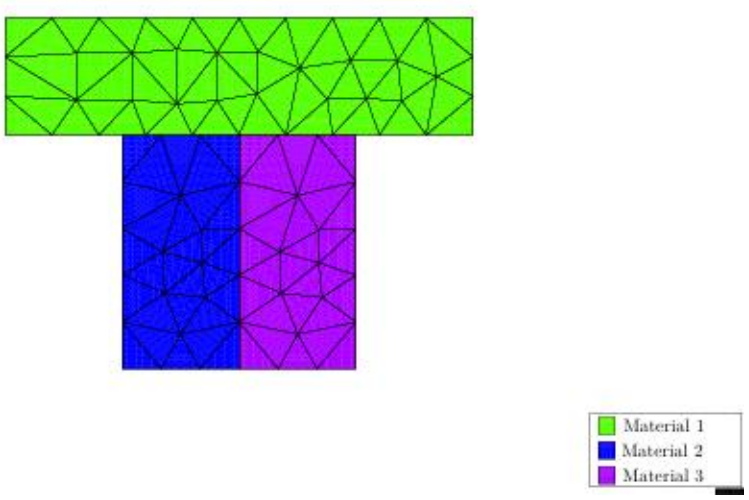


Fig. 2.6 Perfil del material compuesto [8].

La enseñanza ha evolucionado con el paso de los años, destacándose el proceso de enseñanza-aprendizaje, el cual se fundamenta en el uso de diversas herramientas que permiten transmitir los conocimientos de manera más clara y efectiva. Se determinó que los estudiantes de los primeros niveles de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales en Matemáticas y Física de la UNACH enfrentan dificultades para comprender el tema de movimiento rotacional, debido a que la teoría, por sí sola, no resulta suficiente para abordar este concepto. Por esta razón, se dio prioridad a las prácticas de laboratorio como un recurso esencial para fortalecer el conocimiento; sin embargo, se evidenció la ausencia de una guía que orientara de manera adecuada a los estudiantes durante su desarrollo.

Con el propósito de atender esta necesidad, se planteó el diseño de una guía didáctica destinada a enriquecer las prácticas de laboratorio. En la investigación se adoptó un enfoque descriptivo que permitió abordar la problemática de manera integral. El proceso culminó con éxito al validar la guía mediante la revisión y el juicio de expertos en la materia. Los resultados obtenidos sugieren que, para el desarrollo de futuros recursos

didácticos, sería conveniente realizar encuestas o entrevistas dirigidas a docentes y estudiantes, con el fin de mejorar las prácticas de laboratorio [9].

El desarrollo de herramientas tecnológicas constituye un recurso clave para mejorar el aprendizaje de conceptos complejos en ingeniería. Por esta razón, se presenta el diseño de un software didáctico destinado a facilitar la comprensión de los momentos de inercia en Ingeniería Mecánica, permitiendo a los estudiantes calcular estos valores en distintas direcciones, un aspecto fundamental para el análisis y diseño estructural. Para su implementación se empleó Octave, un programa ampliamente utilizado en el ámbito académico, que permitió construir una herramienta intuitiva y accesible, como se ilustra en la Fig. 2.7. Este software simplifica el análisis de componentes sometidos a esfuerzos como cargas axiales, torsión y flexión, favoreciendo su aplicación tanto en la formación cotidiana de los estudiantes como en proyectos profesionales. Los resultados obtenidos evidenciaron que la herramienta contribuye significativamente a la comprensión de los conceptos teóricos y al fortalecimiento de las habilidades prácticas necesarias en el campo de la ingeniería, destacando su valor como recurso didáctico innovador [10].

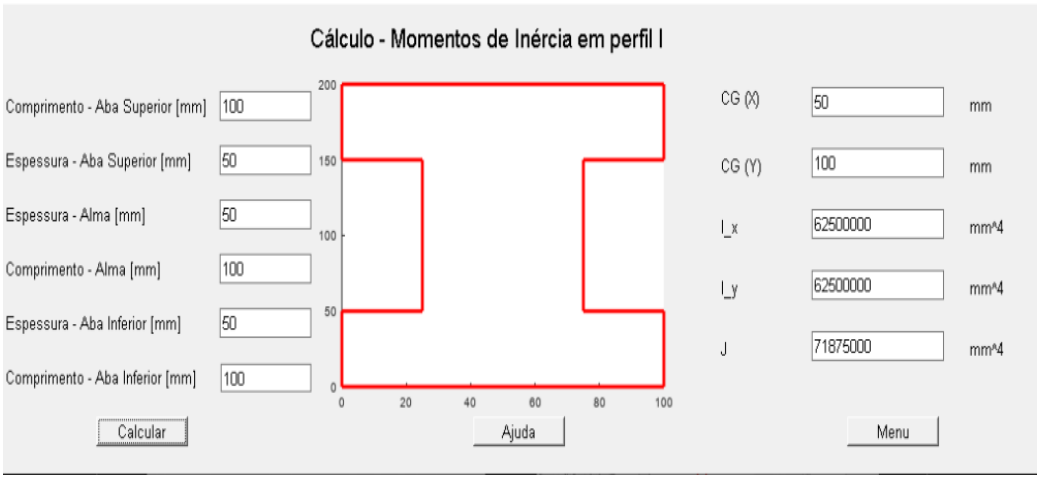


Fig. 2.7 Software para el cálculo del momento de inercia de área [10].

Se presenta la aplicación de la teoría de Timoshenko al método de área-momento, para mejorar la exactitud de la curva elástica en vigas isostáticas. En este trabajo se identificó la necesidad de un método más preciso para calcular la deflexión de vigas, especialmente cuando la relación longitud/altura (L/h) es pequeña, ya que la teoría clásica de Euler-Bernoulli presenta errores significativos en estos casos. Para abordar esta limitación, se desarrolló el método de áreas de momento y fuerza cortante, basado en las ecuaciones diferenciales de Euler-Bernoulli y Timoshenko, que incluye el efecto de la carga cortante en la deflexión, mejorando la exactitud, especialmente en vigas cortas.

El método se validó mediante su aplicación a vigas isostáticas con distintas condiciones de borde y cargas, tanto distribuidas como puntuales, utilizando como referencia los métodos del trabajo virtual y el teorema de Castigliano (ver Fig. 2.8). Los resultados obtenidos fueron consistentes en todos los casos. Adicionalmente, se contrastaron los cálculos con datos generados por métodos numéricos como diferencias finitas, elementos finitos y elementos de contorno, los cuales resolvieron las ecuaciones de Timoshenko. Los resultados mostraron una coincidencia notable con las ecuaciones integrales exactas, demostrando la precisión del método desarrollado. Esta exactitud depende directamente de la cantidad de elementos considerados en los análisis, como evidenciaron las investigaciones revisadas [11].



Fig. 2.8 Viga isostática [11].

Finalmente, el desarrollo de instrumentos experimentales para estudiar el momento de inercia se presenta como una alternativa acertada frente a la dependencia exclusiva de cálculos teóricos o simulaciones. En este contexto, se construyeron dos dispositivos para medir el centro de masa y los momentos de inercia de nanosatélites tipo CubeSat: uno

basado en suspensión colineal y otro en un péndulo trifilar. Tras calibrarlos con cuerpos patrón de geometría y masa conocidas, se obtuvieron errores inferiores al 3%, muy por debajo del 10% esperado con métodos tradicionales [12], demostrando que un dispositivo bien diseñado puede ofrecer mediciones experimentales precisas incluso en sistemas complejos (ver Fig. 2.9).

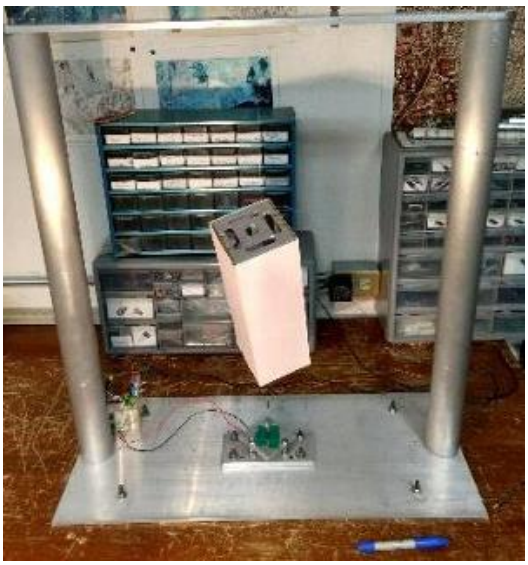


Fig. 2.9 Instrumento de medición [12].

A continuación, se exponen los fundamentos teóricos que sirven como base para el diseño y desarrollo del sistema didáctico destinado a determinar el momento de inercia de área, proporcionando un marco conceptual que facilita la comprensión de los principios físicos y matemáticos que sustentan su funcionamiento.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Aprendizaje práctico

En la actualidad, los estudiantes se enfrentan a distintos tipos de aprendizaje. Especialmente en las ingenierías, se ven obligados a adquirir conocimientos a través de la práctica. A pesar de contar con diversas fuentes de información, como simuladores y laboratorios virtuales, estos recursos no siempre fomentan el desarrollo de habilidades

clave, como el razonamiento para la toma de decisiones al enfrentar un problema. Por otro lado, la práctica permite al estudiante sentirse más seguro de sus habilidades y lo impulsa a seguir aprendiendo. Al ver cómo los conocimientos que adquiere pueden aplicarse en su futuro profesional y en distintos ámbitos de su vida, toma conciencia de su propio aprendizaje [13].

Como se mencionó, este trabajo se centra en el aprendizaje práctico, un enfoque que aplica los conocimientos teóricos en experiencias reales o simuladas, facilitando una mejor comprensión, retención y aplicación de lo aprendido.

Este método le permite desarrollar habilidades de forma más fluida y natural, le ayuda a encontrar soluciones a los problemas del día a día y mejora su capacidad de pensar de manera crítica y reflexiva. Además, integra distintas estrategias, como analizar información, razonar, organizar ideas y comunicarlas de forma clara y efectiva. Según sus características, el aprendizaje práctico puede incluir la observación, el descubrimiento, la comprensión profunda o incluso la memorización, adaptándose a distintos estilos y necesidades, como se presenta en la Fig. 2.10.



Fig. 2.10 Esquema de aprendizaje práctico [14].

2.2.2 Momento de Inercia de Área

El momento de inercia de área es esencial en mecánica e ingeniería, ya que describe cómo se distribuye la masa o el área respecto a un eje de rotación. Su valor depende de la forma del objeto, su masa y la posición del eje. Esta propiedad permite analizar la resistencia de una sección ante esfuerzos de torsión o flexión, siendo fundamental para garantizar la estabilidad y rigidez de las estructuras. El cálculo de esta propiedad utiliza herramientas matemáticas como el cálculo diferencial e integral, considerando que los materiales más alejados del eje aportan más al momento de inercia. Por ello, en el diseño estructural se busca distribuir el material estratégicamente para mejorar su rendimiento ante las cargas [15].

El momento de inercia de área de una sección A puede expresarse en relación con los ejes *x* e *y*, como se muestra en la Fig. 2.11 mediante las ecuaciones 1 y 2.

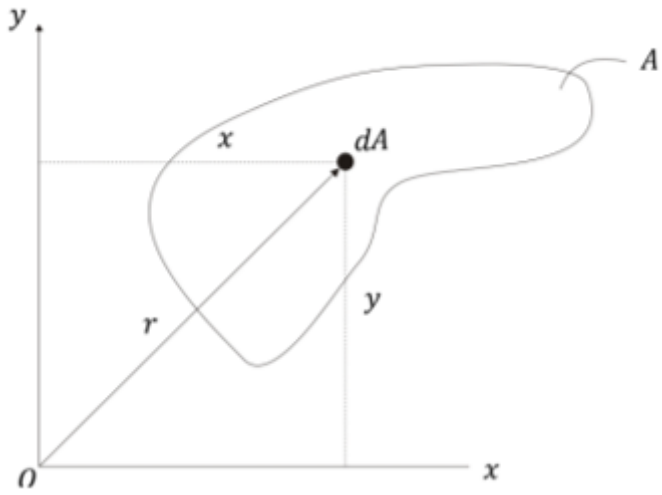


Fig. 2.11 Esquema de una sección A en un plano *x* e *y* [16].

$$I_x = \int_A y^2 dA \tag{1}$$

$$I_y = \int_A x^2 dA \tag{2}$$

Donde:

I_x: momento de inercia en relación con el eje x

I_y: momento de inercia en relación con el eje y

y: distancia del eje x al diferencial de área.

x: distancia del eje y al diferencial de área.

2.2.2.1 Análisis estructural y diseño mecánico

En estructuras conformadas por vigas, el momento de inercia de área es una característica esencial, ya que las estructuras están conformadas por varios elementos que contribuyen con el momento de inercia de área final. Es el motivo por el que existe control de vigas según la norma ecuatoriana NEC-SE-HM destaca el refuerzo longitudinal mínimo en elementos sometidos a flexión, como también la normativa internacional ACI 318-19. El refuerzo mínimo para flexión en vigas no preesforzadas establece que se debe colocar un área mínima de refuerzo para flexión (acero mínimo longitudinal), tal como se muestra en la Fig. 2.12 [17].

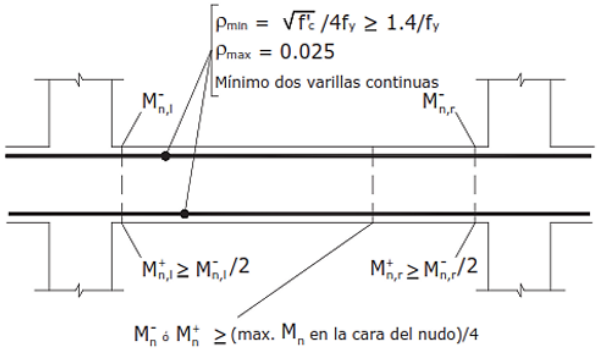


Fig. 2.12 Requisitos del refuerzo longitudinal en elementos a flexión [17].

2.2.3 Fundamentos Matemáticos y Geométricos

2.2.3.1 Ecuaciones generales para áreas comunes

En la Fig. 2.13 se presentan las ecuaciones del momento de área de figuras comunes; estas ecuaciones permiten simplificar cálculos complejos, proporcionando valores clave para diseñar estructuras seguras y eficientes, ya que predicen la resistencia a la flexión o torsión de los elementos analizados.

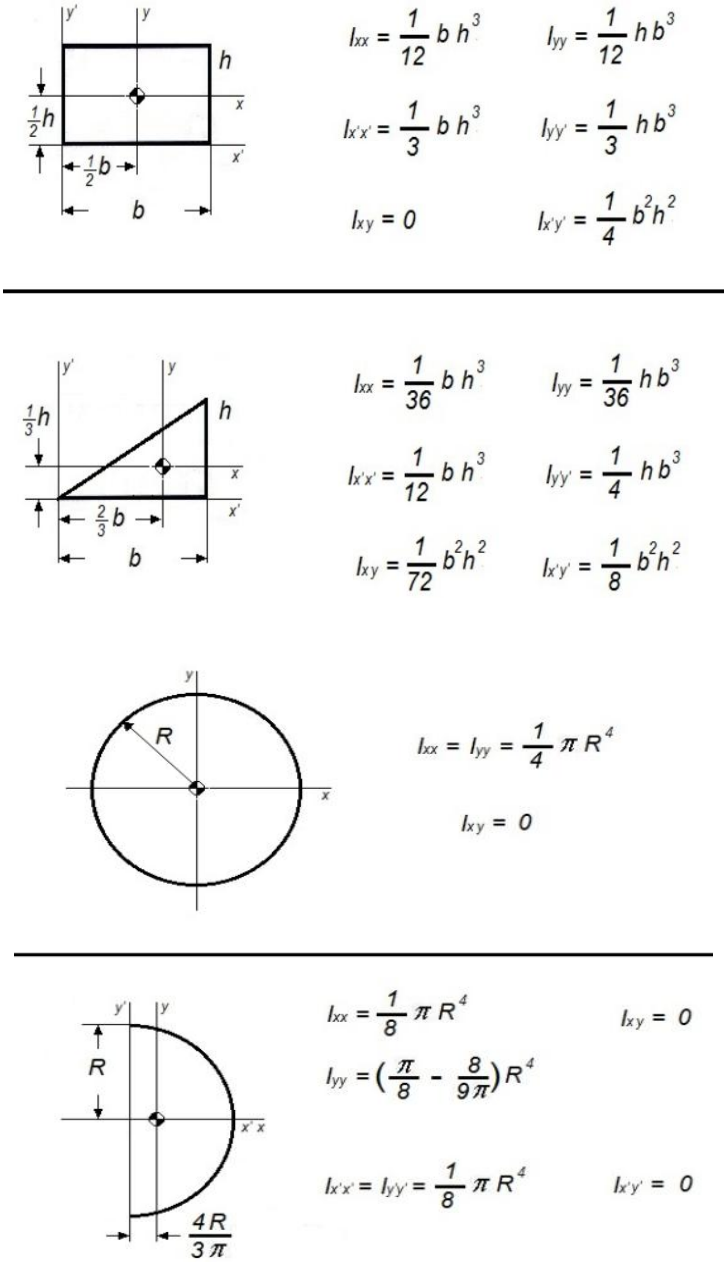


Fig. 2.13 Momento de área de figuras comunes [18].

Las ecuaciones generales para calcular el momento de inercia de área varían según la forma geométrica del objeto y fueron creadas para representar la manera en que su área se distribuye respecto a un eje de referencia.

2.2.3.2 Momento polar de inercia

Para entender cómo una estructura resiste las fuerzas que la afectan, es fundamental conocer el momento polar de inercia. Esta propiedad geométrica juega un papel esencial en ingeniería estructural y mecánica, ya que determina la capacidad de una sección para soportar esfuerzos de torsión y corte. Es decir, el momento polar de inercia se obtiene sumando los momentos de inercia respecto a dos ejes perpendiculares dentro de un mismo plano. Esta información permite a los ingenieros analizar cómo se distribuyen los esfuerzos en un elemento y predecir su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga [19].

La fórmula para el momento polar de inercia viene dada por la ecuación 3.

$$Jo = I_x + I_y \tag{3}$$

Donde:

J_o: es momento polar de inercia.

I_x: es momento de inercia en el eje *x*.

I_y: es momento de inercia en el eje *y*.

Gracias a este concepto, es posible diseñar estructuras más resistentes y seguras, optimizando su geometría para minimizar deformaciones y mejorar su estabilidad ante fuerzas externas.

2.2.3.3 Teoría de Bernoulli – Euler de vigas

La teoría de Bernoulli-Euler describe el comportamiento de vigas sometidas a cargas externas, proporcionando un modelo fundamental en ingeniería estructural. Propone que la curva elástica de una viga puede determinarse considerando la flexión como el principal factor que genera deformaciones, mientras se asume que las secciones transversales permanecen planas y perpendiculares al eje de la viga tras deformarse. Esta teoría, basada en ecuaciones diferenciales, es precisa para vigas largas con una relación longitud/altura (L/h) mayor o igual a 10, donde el esfuerzo cortante tiene una influencia mínima, tal como se expone en la Fig. 2.14. Aunque limitada para vigas cortas, la teoría ha sido crucial para el desarrollo de métodos clásicos como el de área-momento y la modelación de estructuras esbeltas [11].

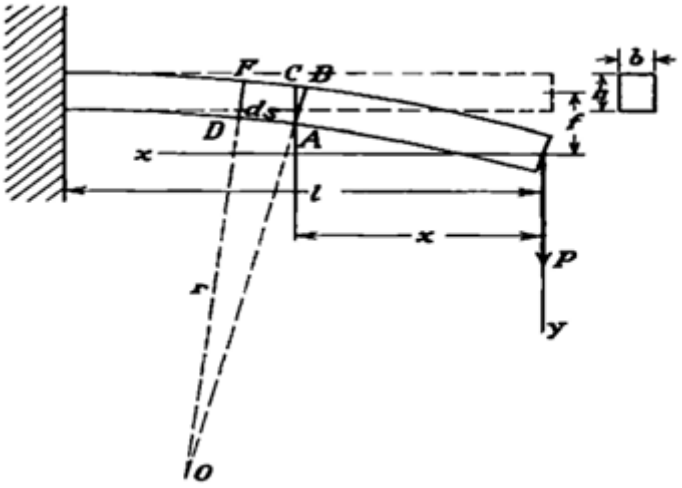


Fig. 2.14 Deformación elástica en una viga en voladizo de longitud *L* y sección transversal rectangular *b* × *h* bajo una carga puntual [11].

2.2.3.4 Teorema de los ejes paralelos

El teorema de los ejes paralelos, también conocido como teorema de Steiner, es una herramienta fundamental para calcular el momento de inercia de una figura respecto a un

eje que no pasa por su centroide. Permite determinar el momento de inercia del área respecto a cualquier eje paralelo, tal como se muestra en la Fig. 2.15 y en la ecuación 4.

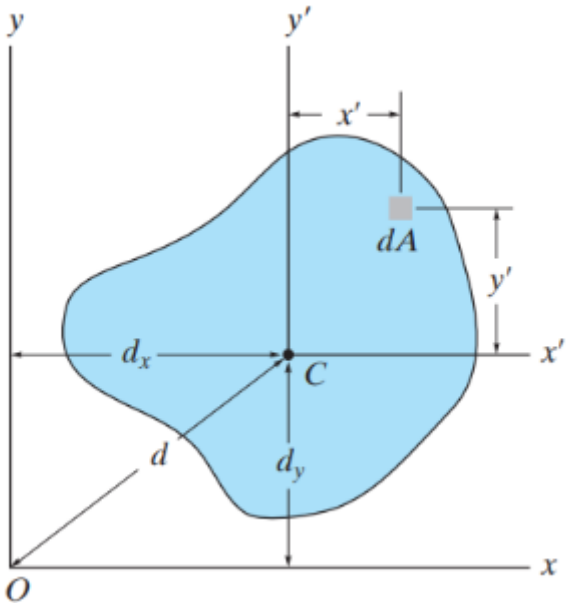


Fig. 2.15 Teorema de los ejes paralelos [10].

$$I = I_{cm} + M * d^2 \tag{4}$$

Donde:

I: es momento de inercia respecto al nuevo eje paralelo.

I_{cm}: es momento de inercia respecto al eje que pasa por el centro de la masa.

M: es la masa total del cuerpo.

d: es la distancia perpendicular entre ambos ejes paralelos.

Este concepto se aplica ampliamente en estructuras formadas por perfiles compuestos, como I, L, T y U, permitiendo calcular el momento de inercia total al descomponer la figura en formas geométricas más simples y sumar sus contribuciones individuales [10].

2.2.4 Métodos de cálculo

En el diseño estructural, la precisión y eficiencia en los cálculos son fundamentales para garantizar la seguridad y estabilidad de las construcciones. A continuación, se presenta una aplicación útil para facilitar este proceso: el desarrollo de una hoja de cálculo en Excel que automatiza los cálculos estructurales mediante el uso de fórmulas predefinidas y programación en VBA (VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS).

Esta herramienta permite calcular de manera rápida y precisa las reacciones de apoyo, los diagramas de momento flector y las deformaciones, utilizando métodos avanzados como la integración de Simpson para obtener aproximaciones numéricas más exactas. Además, cuenta con una interfaz intuitiva que guía al usuario paso a paso en la definición de parámetros importantes, como el módulo de elasticidad y las dimensiones geométricas, facilitando el análisis estructural incluso para quienes no tienen experiencia en programación.

Gracias a la automatización, se optimiza el tiempo y se reducen errores en los cálculos, logrando diseños más eficientes y confiables. El cálculo del momento de inercia de área se realiza mediante una hoja de cálculo en Excel, diseñada para ser intuitiva y fácil de usar, permitiendo calcular el momento de inercia para secciones transversales comunes como rectangulares, en T y en I. [20].

Otro de los teoremas que se puede plasmar en una hoja de cálculo es el Teorema de los ejes paralelos, descrito anteriormente. Las fórmulas implementadas en la planilla automatizan este cálculo, integrando también el análisis de equilibrio de fuerzas y la obtención de diagramas de momento flector, lo que permite evaluar las propiedades estructurales de las vigas con mayor precisión [20]. En la Fig. 2.16 se presenta una viga sometida a flexión.

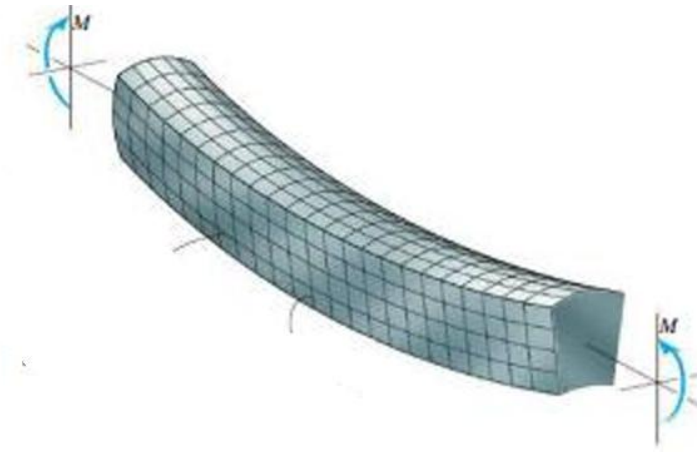


Fig. 2.16 Representación de una viga sometida a flexión [20].

En conclusión, esta herramienta es práctica para ingenieros y estudiantes, facilitando el aprendizaje y la optimización del diseño estructural.

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Modelo de investigación

En este trabajo de integración curricular se lleva a cabo una investigación aplicada, cuyo objetivo principal es ofrecer una solución concreta a las dificultades en la enseñanza del momento de inercia de área. El trabajo se centra en desarrollar un sistema didáctico práctico que facilite la comprensión de este concepto clave en la formación de un ingeniero. Para lograrlo, se realiza una investigación documental, que consiste en rescatar información de libros, artículos y trabajos previos con el fin de reunir información importante que sirva como base para el diseño del sistema [21].

Se desarrolla una investigación de campo, en la que se dialoga con el profesor y el estudiante para identificar sus necesidades y recopilar sugerencias. Esta interacción permite entender de mejor manera el contexto real. A su vez, la investigación es también descriptiva, ya que se detallan de manera clara y precisa las características y el funcionamiento del sistema diseñado. Finalmente, se lleva a cabo la última fase experimental, en la que se prueba el sistema para evaluar su desempeño, identificando posibles fallos y asegurándose de que realmente cumpla la funcionalidad.

3.2 Diseño de la investigación

3.2.1 Fase 1: Determinación de los requerimientos.

Actividad 1: Búsqueda de información acerca del momento de inercia de área en el contexto educativo.

En este proyecto se realiza una investigación para comprender el concepto de momento de inercia de área, destacando su importancia en las prácticas de laboratorio mediante el análisis de diferentes alternativas y configuraciones geométricas, con el fin de evaluar su influencia en el comportamiento y el diseño de vigas.

Actividad 2: Consulta al profesor sobre momento de inercia de área.

En esta actividad se realiza una consulta al profesor para aclarar aspectos relacionados con el momento de inercia de área, tales como su definición, su importancia en el diseño y análisis de elementos estructurales, los métodos de cálculo para diferentes secciones geométricas y las estrategias didácticas que facilitan el aprendizaje en las asignaturas de Estática y Resistencia de Materiales.

Actividad 3: Establecimiento de las especificaciones del sistema.

Se definen de manera detallada las características, los requisitos y los parámetros del sistema, incluyendo sus dimensiones, peso, funcionalidad, configuración y demás especificaciones relevantes, con el fin de satisfacer las necesidades del proyecto.

3.2.2 Fase 2: Diseño del sistema didáctico.

Con base en las actividades realizadas previamente, se desarrolla el diseño del sistema didáctico para la determinación del momento de inercia de área.

Actividad 4: Planteamiento de alternativas de solución.

Se generan diferentes propuestas para cada uno de los subsistemas del diseño, tales como los sistemas de sujeción, medición, generación de deflexión y selección de materiales, con el fin de resolver el problema de manera efectiva. Posteriormente, cada alternativa se evalúa considerando sus ventajas, desventajas, costos y facilidad de implementación.

Actividad 5: Elaboración de una lista de materiales, equipos y conocimientos necesarios para el desarrollo del sistema.

En esta actividad se identifican de manera detallada y organizada todos los recursos planteados para llevar a cabo el proyecto, incluyendo la selección de materiales

específicos, la identificación de herramientas y equipos requeridos, así como los conocimientos técnicos indispensables para su diseño.

Actividad 6: Modelado de la estructura del dispositivo.

Se desarrolla el modelado del diseño del dispositivo, inicialmente mediante la elaboración de bocetos para definir su configuración; posteriormente, mediante herramientas de modelado asistido por computadora (software CAD). Esta actividad comprende la definición de los componentes principales, el ajuste de sus dimensiones y la elaboración de un modelo tridimensional que permite visualizar de manera integral la estructura del sistema.

Actividad 7: Selección de materiales.

Se seleccionan los materiales de acuerdo con los requisitos establecidos para la construcción del sistema, considerando sus propiedades mecánicas, el proceso de fabricación de las piezas y las necesidades específicas del proyecto.

Actividad 8: Análisis de esfuerzos en el dispositivo.

Se lleva a cabo la evaluación de las fuerzas internas y externas que actúan sobre los componentes del dispositivo, definiendo las condiciones de borde, las cargas aplicadas y las especificaciones de la pieza que se analiza, con el fin de garantizar su resistencia estructural y su funcionalidad.

Actividad 9: Compra de materiales necesarios para el sistema.

Se adquieren todos los materiales previamente seleccionados para la construcción del sistema.

Actividad 10: Verificación del diseño a construir.

Se revisa el diseño final antes de iniciar la construcción del sistema. Esto implica analizar los planos, las especificaciones técnicas y los materiales seleccionados para asegurar que cumplan con los requisitos funcionales y operativos establecidos.

3.2.3 Fase 3: Construcción del sistema didáctico.

En esta fase se fabrica el sistema didáctico que se ha diseñado previamente, incluyendo la construcción de todas las piezas y componentes necesarios, siguiendo los planos y especificaciones técnicas elaboradas en etapas anteriores.

Actividad 11: Elaboración de planos.

Se desarrollan los planos del sistema, utilizando herramientas de diseño asistido por computadora (SOLIDWORKS). Estos planos especificarán dimensiones y detalles necesarios para la fabricación de las piezas.

Actividad 12: Construcción de piezas según los planos y especificaciones del diseño.

En esta actividad se fabrican todas las piezas del sistema, siguiendo los planos elaborados previamente. Esto puede implicar procesos de corte, ensamblaje, soldadura o mecanizado, asegurando que las piezas cumplan con las dimensiones y materiales especificados.

Actividad 13: Ensamble de todas las partes para formar el sistema final.

Se ensamblan todas las piezas fabricadas para construir el sistema completo. Se verifica que las conexiones y los componentes se integren correctamente, asegurando estabilidad y funcionalidad.

3.2.4 Fase 4: Validación del sistema didáctico.

Se verifica que el sistema desarrollado cumple con los objetivos planteados y funcionalidad.

Actividad 14: Pruebas de funcionamiento.

Se realizan pruebas para evaluar el desempeño del sistema, con el fin de verificar su funcionamiento de acuerdo con los objetivos establecidos y comprobar que las mediciones obtenidas se aproximen lo más posible a los resultados teóricos.

Actividad 15: Realización de ajustes y correcciones.

Con base en los resultados de las pruebas, se realizan los ajustes y las correcciones necesarias en el sistema. Asimismo, se incorporan componentes adicionales para reducir el error porcentual y mejorar el desempeño del sistema.

Actividad 16: Redacción del documento (Trabajo de Integración Curricular).

Se realiza la redacción del documento del Trabajo de Integración Curricular, organizando e integrando la información generada durante el desarrollo del proyecto, incluyendo la metodología, los resultados, el análisis, las gráficas comparativas, las conclusiones y las recomendaciones.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Especificaciones del sistema

El diseño del sistema didáctico considera diversos requerimientos técnicos y pedagógicos, entre ellos, la perspectiva del docente encargado de su implementación en el laboratorio para materias correspondientes. Para ello, se realizó una investigación preliminar orientada a recopilar información sobre las necesidades y expectativas del personal docente de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte.

Peso: El sistema debe tener un peso reducido para facilitar su transporte y manipulación dentro del laboratorio o aula de clases**.**

Dimensiones: El dispositivo debe contar con dimensiones adecuadas para su instalación sobre una mesa de trabajo, garantizando estabilidad y comodidad durante las prácticas experimentales.

Funciones: El sistema debe permitir la determinación experimental del momento de inercia de distintas secciones geométricas, facilitando la comparación entre resultados teóricos y prácticos.

Materiales: Se deben emplear materiales resistentes en cuanto a la estructura y livianos de bajo costo, como aluminio y acrílico, en el caso de las experimentaciones que permitan precisión en las mediciones y durabilidad en su uso.

Usuario: El prototipo está diseñado para ser utilizado por estudiantes de Ingeniería Mecatrónica, especialmente de los niveles iniciales, con el fin de reforzar el aprendizaje práctico del momento de inercia de área.

Seguridad: El diseño debe garantizar un uso seguro, evitando elementos cortantes, bordes afilados o piezas móviles expuestas que puedan causar lesiones.

Ergonomía: La estructura del sistema debe ser cómoda de usar, con una disposición de componentes que facilite la observación, manipulación y toma de datos por parte de los estudiantes.

Estética: El diseño debe mantener una presentación ordenada y profesional, con acabados adecuados que reflejen su propósito educativo y motiven la participación de los estudiantes en el aprendizaje experimental.

Interfaz: En caso de incluir instrumentos de medición digital o software complementario, la interfaz debe ser intuitiva y accesible para los estudiantes, permitiendo una interpretación clara de los resultados obtenidos.

4.2 Estudio de alternativas

Para el diseño del sistema didáctico, es fundamental analizar distintas alternativas de solución que cumplan con los requerimientos funcionales y las restricciones establecidas en el proyecto.

4.2.1 Propuesta de soluciones para la sujeción de vigas

El sistema de sujeción debe proveer un soporte estable de tipo simple a las vigas de prueba, permitiendo la rotación libre en ambos extremos, restricción total de traslaciones en un extremo y traslación horizontal libre en el otro extremo.

A) Bisagra con rodamientos lineales

La sujeción mediante bisagra y rodamientos lineales combina un apoyo fijo tipo bisagra que permite la rotación libre de la viga, con un rodamiento lineal que permite el desplazamiento suave en el extremo opuesto, tal como se aprecia en la Fig. 4.1. Esta

disposición reproduce con precisión el comportamiento de una viga simplemente apoyada, donde un extremo permanece restringido lateralmente mientras el otro puede desplazarse para absorber las deformaciones.

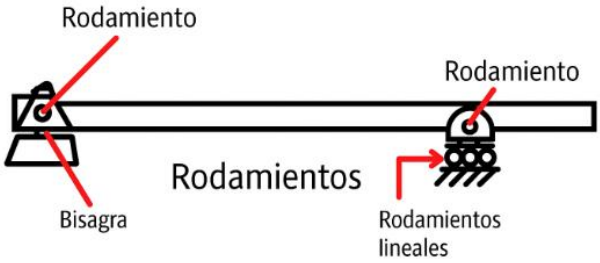


Fig. 4.1 Diagrama de colocación de la bisagra y rodamientos.

Ventajas:

Se asemeja a condiciones teóricas pasador/rodillo.

Los rodamientos minimizan el rozamiento.

Desventajas:

Requiere mecanizado.

Requiere de alineamiento.

Requiere de lubricación.

Adaptación de bocines para distintos perfiles si se requiere.

B) Eje y guías metálicas

El sistema de sujeción con eje y guías metálicas utiliza dos apoyos, uno fijo y otro móvil. En el extremo fijo, la viga se apoya sobre un eje cilíndrico de acero calibrado sujeto por bloques metálicos, lo que permite la rotación libre, pero restringe el desplazamiento lateral. En el extremo móvil, se emplea un eje similar montado sobre una guía o canal

metálico que permite un ligero desplazamiento horizontal, simulando el comportamiento de un apoyo tipo rodillo, como se muestra en la Fig. 4.2.

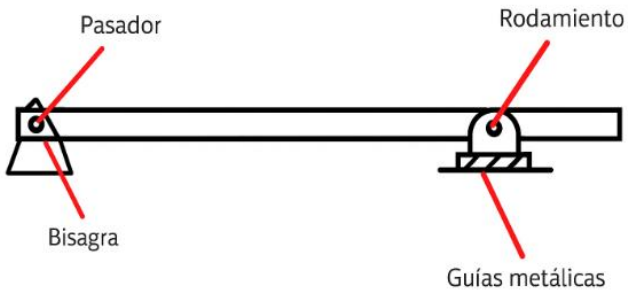


Fig. 4.2 Diagrama de colocación de guía metálica.

Ventajas:

Sistema fácil de construir con materiales estándar en comparación con el de bisagra y rodamientos.

Mejor rigidez en comparación con los rodamientos.

Mejor duración que los rodamientos.

Desventajas:

Mayor fricción en comparación con los rodamientos.

Requiere una base metálica bien nivelada.

4.2.2 Propuestas de generación de deflexión

El sistema tiene como finalidad generar una deflexión en las vigas de prueba, de manera que esta sea suficientemente considerable y visible durante los ensayos. Esto permitirá evidenciar de forma práctica la influencia del momento de inercia de área sobre el comportamiento de las vigas sometidas a cargas.

A) Palanca con pesas

Esta opción genera la deflexión mediante un método de palanca con pesas, sobre el cual se colocan pesas calibradas a una distancia conocida del segundo punto de apoyo. Este sistema es simple y económico; su diagrama se muestra la Fig. 4.3.

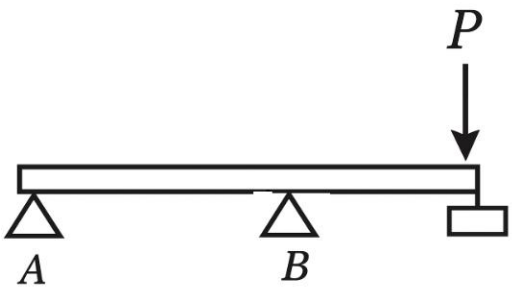


Fig. 4.3 Diagrama de propuesta de la deflexión generada por palanca con pesas.

Su principal ventaja es la facilidad de construcción y calibración, aunque presenta una limitación en la precisión cuando se requieren momentos pequeños.

B) Sistema de polea y cuerda

El sistema de polea y cuerda utiliza una cuerda enrollada alrededor de una polea conectada a la viga. Al colgar pesas en el extremo libre de la cuerda, se aplica una fuerza tangencial que genera una deflexión sobre la viga, como se aprecia en la Fig.4.4.

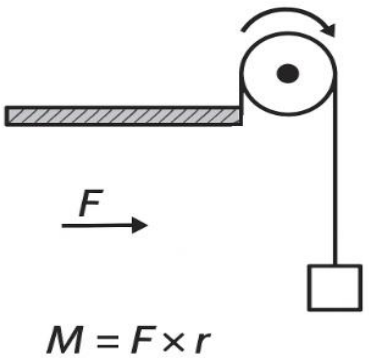


Fig. 4.4 Diagrama de propuesta de la deflexión generada por polea-cuerda.

Ventajas:

Este mecanismo permite ajustar la magnitud del momento con precisión y mantener una aplicación uniforme de carga gracias a la polea, reduciendo la fricción.

Requiere un alineamiento preciso para evitar esfuerzos laterales y una base estable para el sistema de poleas.

Desventajas:

Requiere de soportes adicionales.

C) Motorreductor con control de torque

En esta opción, la deflexión se genera de forma controlada y continua mediante un motorreductor acoplado a la viga. El motor aplica un par de torsión conocido, medido o regulado a través de un controlador de torque o un sensor integrado; su diagrama se aprecia en la Fig. 4.5.

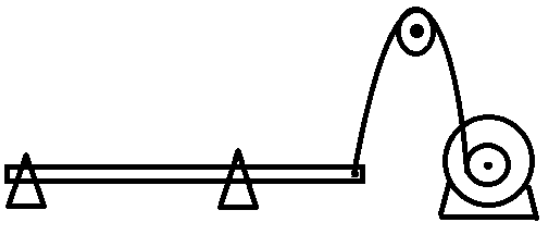


Fig. 4.5 Diagrama de propuesta de la deflexión generada por polea-motor.

Ventajas:

Permite modificar el momento aplicado sin intervención manual.

Registro de datos de forma digital.

Desventajas:

Su implementación es más costosa y compleja en comparación con las anteriores.

Requiere de una fuente de alimentación.

Debe ser calibrado electrónicamente.

Requiere de software de control.

4.2.3 Medición de la deflexión

El sistema de medición de la deflexión tiene como finalidad determinar la deformación generada en las vigas de prueba, procurando que esta sea claramente visible durante los ensayos. De este modo, se facilita el análisis de los resultados obtenidos.

A) Regleta graduada

Una regleta graduada (escala milimétrica) colocada junto a la viga permite medir visualmente la deflexión mediante un marcador fijo en la viga o referencia. Se lee la distancia entre la posición inicial y la deformada, tal como se visualiza en la Fig. 4.6.

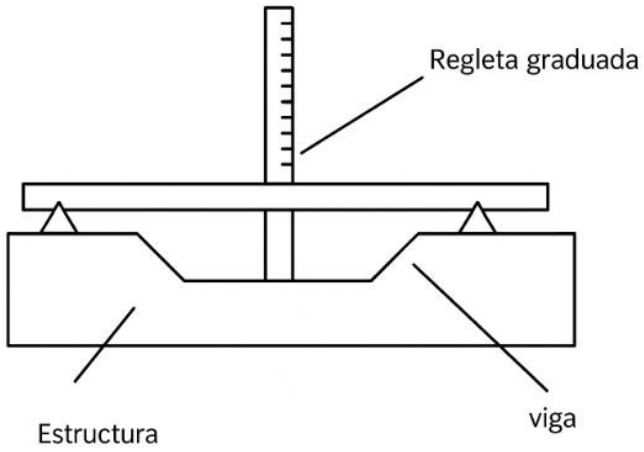


Fig. 4.6 Diagrama de propuesta de la colocación de la regleta.

Ventajas:

Económica y simple.

Intuitiva para la toma de medidas.

No requiere electrónica.

Desventajas:

Baja resolución y repetibilidad.

Difícil de usar para deflexiones pequeñas.

B) Calibrador digital adaptado (calibrador digital usado como palpador)

Un calibrador digital se adapta como palpador fijo o móvil para medir el desplazamiento en milímetros con lectura digital directa, tal como se presenta en la Fig.4.7.

Adecuando el calibrador en un soporte rígido fijado a la estructura, el profundímetro tocará la superficie de la viga en el punto de interés.

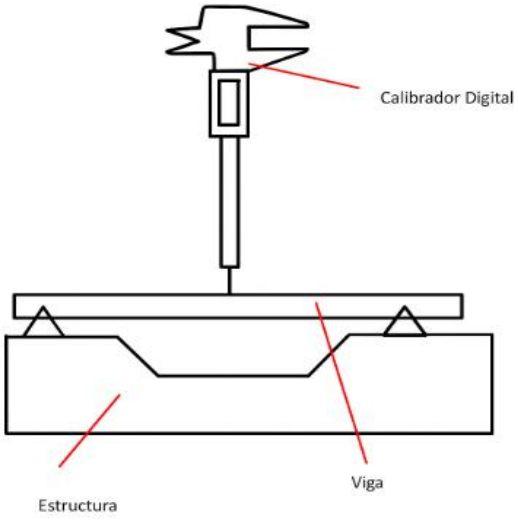


Fig. 4.7 Diagrama de propuesta de la adaptación del calibrador digital.

Ventajas:

Buena resolución y lectura directa (0,01 mm posible).

Fácil de instalar.

Menor esfuerzo en la toma de medidas en comparación con la regleta.

Desventajas:

Pueden introducirse errores por vibraciones.

Rango limitado (si la deflexión supera el rango, hay que cambiar el instrumento).

Precisión típica: ±0,01 – 0,05 mm (dependiendo del instrumento y montaje).

Requiere de pila para su uso.

Requiere de calibración con galgas.

C) Potenciómetro lineal (o transductor de desplazamiento resistivo)

Para la medición del desplazamiento se puede emplear el sensor que transforma un desplazamiento lineal en una variación de voltaje o resistencia. Se conecta a un microcontrolador o adquisición de datos para mediciones en tiempo real. Se fija el cuerpo del potenciómetro en la estructura y se acopla su vástago al punto de la viga de forma que el movimiento de la viga mueva el eje del potenciómetro; su esquema se aprecia en la Fig. 4.8.

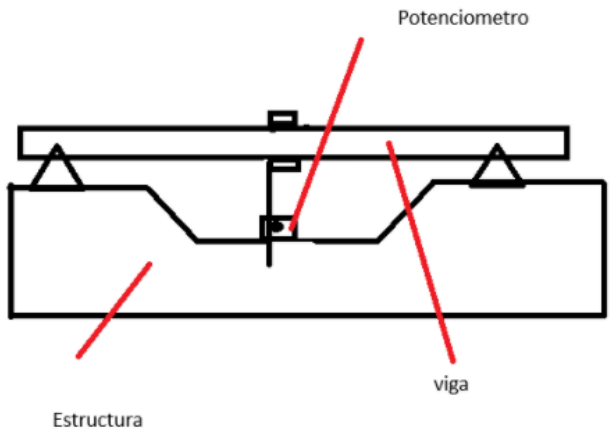


Fig. 4.8 Diagrama de propuesta de la colocación del potenciómetro.

Ventajas:

Permite la adquisición continua de datos y registro automático.

Fácil de integrar con electrónica en comparación con los métodos anteriores.

Salida analógica fácil de procesar.

Desventajas:

Menor linealidad y precisión si el potenciómetro es de bajo costo.

Requiere de dispositivos adicionales para su medición.

Requiere acondicionamiento de señal y calibración eléctrica.

4.2.4 Amplificador de medida

El sistema amplificador de medida tiene como finalidad incrementar la magnitud de la señal obtenida durante la medición de la deflexión, de modo que los desplazamientos registrados puedan visualizarse con mayor claridad.

A) Amplificador mecánico (palanca pivote)

Para amplificar el desplazamiento generado por la deflexión de la viga, se puede implementar un mecanismo basado en un sistema de palanca con pivote, como se aprecia en la Fig. 4.9.

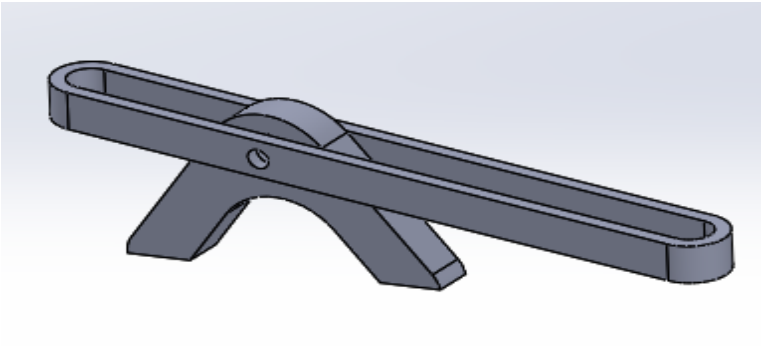


Fig. 4.9 Propuesta de sistema mecánico palanca-pivote.

Este sistema permite transformar un movimiento vertical pequeño en un desplazamiento mayor y fácilmente medible.

Ventajas:

No requiere sensores ni electrónica compleja.

Formado por pocos elementos: barra, pivote, punto de contacto con la viga y punto de contacto con el calibrador.

Se puede fabricar con procesos básicos de manufactura.

Desventajas:

Aporta peso adicional a la estructura.

Requiere calibración inicial.

Requiere buena calidad de montaje y alineación.

B) Amplificador digital por medio de Arduino con pantalla LCD

Otra opción es implementar un sistema de amplificación digital, el cual permite procesar y visualizar electrónicamente el desplazamiento registrado por el calibrador digital. Este método utiliza la salida de datos del calibrador, que transmite la lectura del profundímetro en tiempo real hacia un microcontrolador Arduino, encargado de interpretar la señal digital y mostrarla en una pantalla amplificada.

Ventajas:

Mejor visualización y lectura de datos con respecto al método mecánico.

Puede mostrar más información.

Posibilidad de aplicar un rango alto de amplificación.

Desventajas:

Mayor complejidad del sistema con respecto al sistema mecánico.

Dependencia de la electrónica y programación.

4.2.5 Estructura base

La estructura base tiene como principal objetivo proporcionar un soporte firme y estable para todos los componentes del sistema de ensayo, garantizando su correcta alineación y funcionamiento durante las pruebas.

A) Madera

Como una de las alternativas, se propone una estructura fabricada en madera maciza o tablero (madera contrachapada o MDP), reforzada según sea necesario para garantizar la rigidez del sistema, añadiendo piezas metálicas en caso de ser necesario, como se evidencia en la Fig. 4.10.

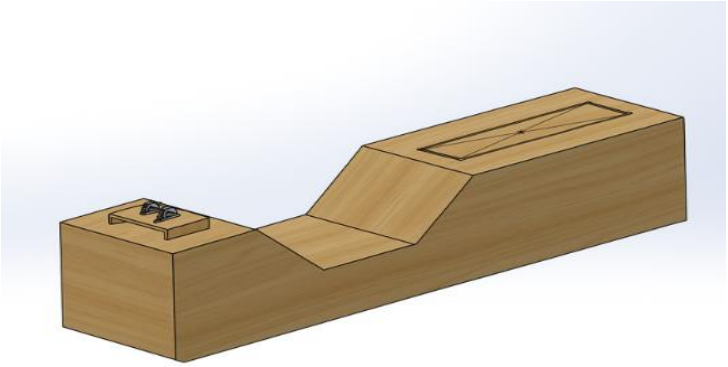


Fig. 4.10 Estructura propuesta en madera.

Ventajas:

Menor costo y fácil de fabricar.

Rápida para prototipos y demostraciones.

Fácil de adaptar piezas adicionales.

Desventajas:

Menor rigidez y estabilidad dimensional en comparación con el acero.

Dificultad para obtener tolerancias finas.

Puede deformarse con el tiempo.

La sujeción de componentes mecánicos requiere insertos metálicos para evitar desgaste.

B) Metal

Otra alternativa para la construcción del sistema consiste en emplear materiales metálicos, los cuales proporcionan una estructura firme y segura, tanto para los mecanismos de ajuste como para los apoyos. Esta opción ofrece una mayor rigidez estructural; la propuesta se muestra en la Fig. 4.11.

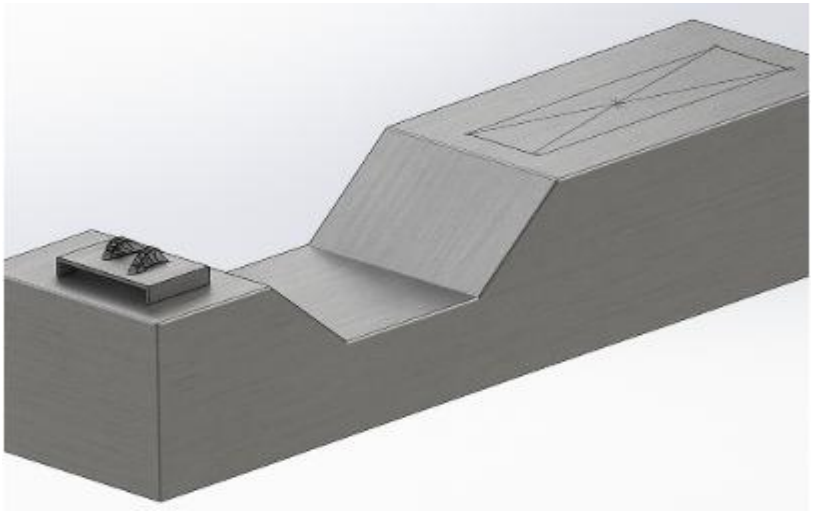


Fig. 4.11 Estructura propuesta en metal.

Ventajas:

Alta rigidez y estabilidad dimensional en comparación con la madera.

Permite tolerancias finas y montaje repetible de apoyos y sensores.

Mayor duración respecto a la madera.

Desventajas:

Mayor costo y peso en comparación con la madera.

Requiere herramientas/mecanizado.

C) Acrílico reforzado

Como última alternativa, se propone el uso de planchas de acrílico o policarbonato, ya sean transparentes u opacas, las cuales podrían incorporar refuerzos metálicos o del mismo material en las zonas críticas, como los apoyos y los puntos de sujeción del sistema. Esta propuesta se ilustra en la Fig. 4.12.

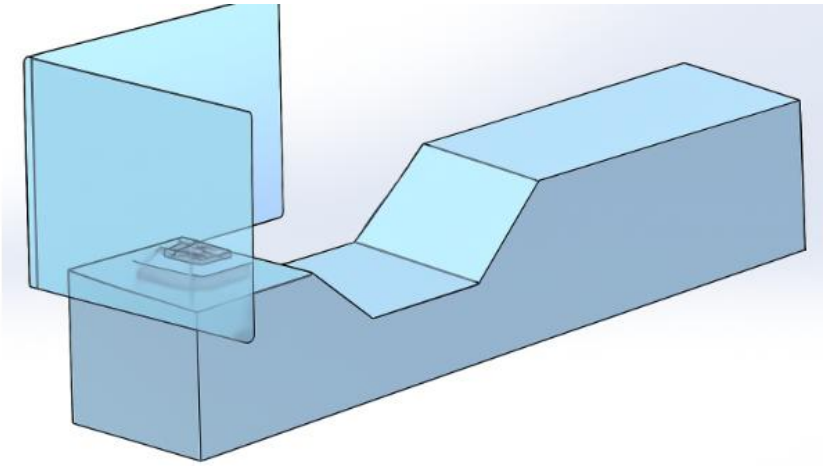


Fig. 4.12 Estructura propuesta en acrílico.

Ventajas:

Permite ver la pieza desde distintos ángulos.

Menor peso que el metal y mayor rigidez que la madera.

Fácil de cortar con CNC/láser para piezas planas.

Desventajas:

Materiales más caros en comparación con la madera.

Susceptibles a rayones.

Sensible a fatiga por apriete.

Limitación para soportar cargas muy elevadas.

4.2.6 Visualización de datos

El método de visualización de datos tiene como finalidad presentar los resultados de la medición de forma clara, precisa y de fácil interpretación. Su diseño busca que la información sea comprendida de manera rápida y objetiva.

A) Observación directa

El operador observa la deflexión directamente en la escala del instrumento regleta o calibrador digital, sin intermediación electrónica. Es el método más simple, basado en lectura visual de desplazamientos, tal como se ilustra en la Fig. 4.13.

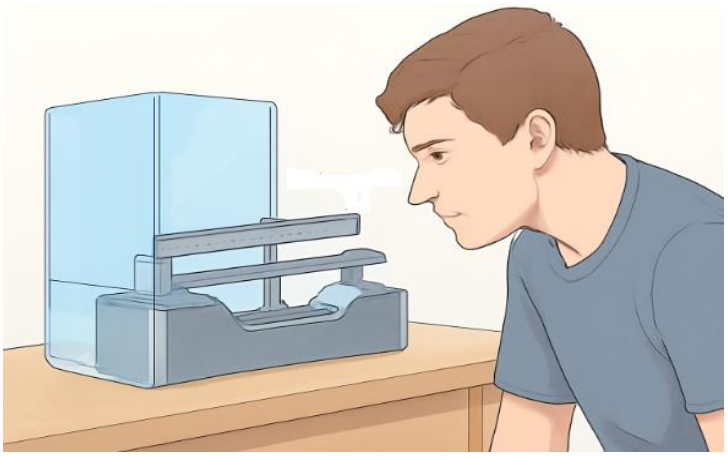


Fig. 4.13 Propuesta de observación por parte del operario.

Ventajas:

Sencillo.

Adecuado para fines didácticos.

Desventajas:

Depende del observador.

No permite el registro automático de datos.

B) Pantalla digital

En la Fig. 4.14 se aprecia la propuesta de una pantalla digital integrada, sea la del calibrador digital adaptado o la de un sensor con salida numérica. Esta permite visualizar directamente el valor de la deflexión con la resolución propia del instrumento, facilitando la lectura de los resultados.

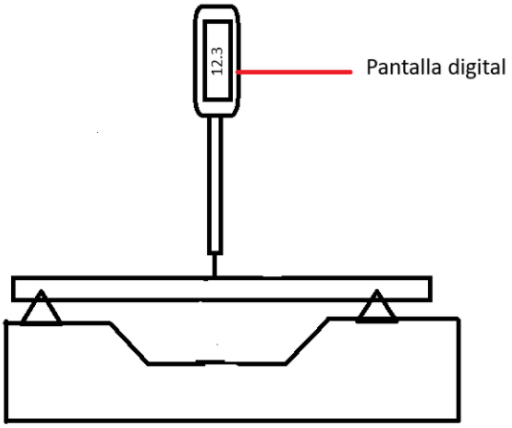


Fig. 4.14 Propuesta de pantalla digital.

Ventajas:

Lectura rápida y precisa respecto a la observación directa.

Muestra valores actualizados al instante.

Fácil de adaptar a sensores tipo calibrador o potenciómetro lineal.

Desventajas:

No almacena información automáticamente.

Dependencia de batería o alimentación eléctrica.

C) Aplicación de escritorio

En el sistema se podría utilizar una aplicación para computadora realimentada por la entrada de un sensor digital, ya sea por un potenciómetro lineal o encoder conectado a un microcontrolador para la adquisición de datos. El software muestra y registra la deflexión en tiempo real; como un ejemplo, se puede observar en la Fig. 4.15.

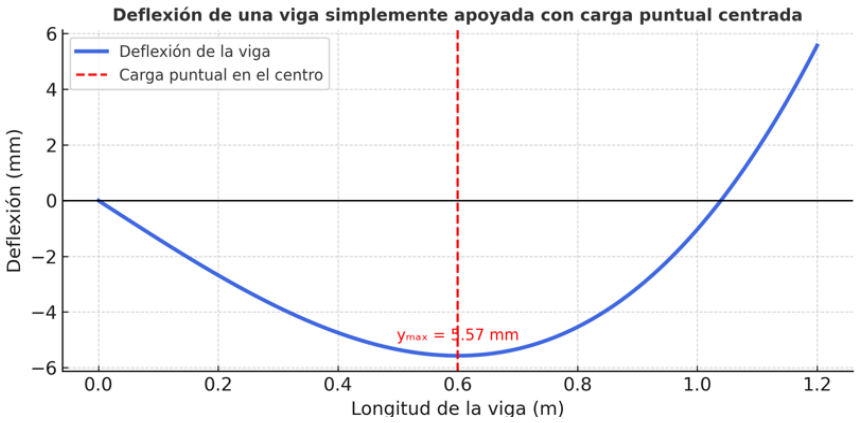


Fig. 4.15 Ejemplo de una aplicación en escritorio.

Ventajas:

Registro continuo y almacenamiento automático de datos.

Alta precisión y capacidad de graficar o analizar en tiempo real.

Permite integración con otros sensores.

Desventajas:

Mayor complejidad de montaje y programación.

Requiere calibración del sensor y adquisición de datos estable.

Necesita un computador y software compatible.

4.2.7 Sujetos de prueba

Los sujetos de prueba tienen como finalidad proporcionar un medio para visualizar la deformación producida durante el ensayo, permitiendo apreciar de manera directa el comportamiento del elemento sometido a carga.

A) Acero

El uso de tubos de acero como sujetos de prueba permite evidenciar la deflexión generada, siempre y cuando se empleen cargas e instrumentos de medición adecuados. Sin embargo, debido a la alta rigidez del acero, las deformaciones suelen ser pequeñas, lo que dificulta su apreciación visual. Por esta razón, puede no ser el material más adecuado cuando el objetivo principal es demostrar de forma clara el fenómeno de la deformación.

B) Aluminio

El uso de tubos de aluminio como sujetos de prueba permite evidenciar con mayor facilidad la deflexión generada por la aplicación de una carga, debido a su menor rigidez en comparación con el acero. Esta característica favorece la observación visual de la deflexión y facilita su medición con instrumentos convencionales. Sin embargo, al presentar mayores deformaciones, es necesario controlar adecuadamente la carga aplicada.

4.3 Matriz morfológica

En la Tabla 4.1 se presenta la matriz de selección utilizada para determinar la alternativa que más se ajuste a los requerimientos para el diseño y construcción del sistema didáctico. En ella se comparan las diferentes opciones de solución para cada función del sistema, considerando criterios como la simplicidad, el costo, la precisión y la facilidad de implementación.

Tabla 4.1 Tabla morfológica

Funciones	Componentes		
Sujeción de vigas	Bisagra y rodamientos lineales		Eje y guías metálicas
Generación de deflexión	Palanca con pesas	Sistema de polea y cuerda	Motorreductor con control de torque
Medición de la deflexión	Regleta graduada	Calibrador digital adaptado	Potenciómetro lineal
Amplificador de medida	Amplificador mecánico (Palanca pivote)		Amplificador digital por medio de Arduino con pantalla LCD
Estructura base	Madera	Metal	Acrílico reforzado
Visualización de datos	Observación directa	Pantalla digital	Aplicación en computadora
Sujetos de prueba	Acero		Aluminio

La tabla muestra las diferentes alternativas de solución para cada función del sistema didáctico, considerando simplicidad, costo, precisión y facilidad de implementación.

Propuesta 1 (Línea amarilla): Sistema didáctico con sujeción de la viga mediante una bisagra y rodamientos lineales. La generación de la deflexión se realiza mediante una palanca con pesas, mientras que su medición se efectúa con una regleta graduada, cuya lectura se amplifica mediante un sistema mecánico. La estructura base se fabrica en madera y el objeto de prueba en aluminio.

Propuesta 2 (Línea roja): Sistema con sujeción de la viga mediante vigas y rodamientos lineales. La generación del momento se realiza mediante una palanca con pesas, mientras que la medición de la deflexión se lleva a cabo mediante un calibrador digital adaptado, con amplificación mecánica y visualización en una pantalla digital. La estructura se fabrica en material metálico y el objeto de prueba en aluminio. Esta alternativa proporciona una mayor precisión y permite la lectura directa de la deflexión.

Propuesta 3 (Línea azul): Sistema didáctico con sujeción de la viga mediante un eje y guías metálicas. La generación del momento se realiza mediante una palanca con pesas, mientras que la medición de la deflexión se lleva a cabo mediante un calibrador digital adaptado. La adquisición, el procesamiento y la visualización de los datos se realizan mediante una tarjeta Arduino y una pantalla digital. La estructura se fabrica en acrílico reforzado y el objeto de prueba en acero.

Propuesta 4 (Línea verde): Sistema didáctico avanzado con sujeción de la viga mediante un eje y guías metálicas. La generación del momento se realiza mediante un motorreductor con torque controlado, mientras que la medición de la deflexión se lleva a cabo mediante un potenciómetro lineal o un sensor digital. La adquisición, el procesamiento y la visualización de los datos se realizan mediante una tarjeta Arduino y una aplicación para computadora. La estructura se fabrica en material metálico y el objeto de prueba en aluminio. Esta alternativa permite el monitoreo y el almacenamiento de

datos en tiempo real, lo que favorece la trazabilidad de las mediciones y el análisis de los resultados.

Propuesta 5 (Línea negra): Sistema didáctico con sujeción de la viga mediante vigas y rodamientos lineales. La generación del momento se realiza mediante un motorreductor con torque controlado, mientras que la medición de la deflexión se lleva a cabo mediante una regleta graduada, con amplificación mecánica para facilitar la lectura directa. La estructura se fabrica en material metálico y el objeto de prueba en aluminio.

4.4. Selección de alternativas

En esta sección se considera que el sistema proporcione mediciones confiables y mantenga un costo moderado en su implementación.

Precisión y fiabilidad de la medición

La precisión y la fiabilidad son esenciales en el sistema didáctico, ya que garantizan un funcionamiento más cercano a los resultados teóricos y permiten evidenciar con claridad la influencia del momento de inercia de área en el comportamiento de la viga.

Implementación mecánica

Este parámetro consiste en evaluar qué tan sencillo es fabricar, ensamblar y ajustar los componentes mecánicos del sistema didáctico de medición de deflexión. Incluye la complejidad de construir los apoyos de la viga, la palanca amplificadora, el pivote, las bases estructurales.

Dimensiones del sistema

La dimensión del sistema didáctico es un parámetro primordial, ya que su diseño debe permitir que los usuarios manipulen el sistema con distintas vigas, apliquen las cargas y realicen las mediciones de forma cómoda, segura y accesible.

Medición de la deflexión

Este parámetro hace referencia a la medición del desplazamiento vertical que presenta la viga cuando se le aplica una carga puntual. Dicho valor debe mantenerse con una resolución de 0,01 mm, valor ampliamente utilizado en laboratorios, ya que del instrumento dependen los resultados del ensayo y la interpretación correcta del comportamiento estructural, como la influencia de la inercia de área [22].

Visualización de datos

Este parámetro evalúa qué tan clara, comprensible y accesible resulta la información obtenida a partir de la medición de la deflexión. Considera la facilidad con la que se pueden interpretar los valores registrados, visualizar el comportamiento de la viga y relacionar la carga aplicada con la deformación amplificada.

Costo

Este parámetro se refiere al costo total del sistema didáctico, considerando la fabricación y la adquisición de los materiales y elementos de medición. Debe mantenerse moderado, pues su finalidad es únicamente demostrar la deflexión y la influencia de la inercia de área.

4.5 Evaluación de criterios

En la Tabla 4.2 se presenta la evaluación de criterios para los parámetros, siendo:

- 1 opción más importante que otra.
- 0,5 igual de importantes ambas opciones.
- 0 opción menos importante que otra.

Tabla 4.2 Evaluación de criterios

	Precisión y fiabilidad de la medición	Implementación mecánica	Dimensiones del sistema	Medición de la deflexión	Visualización de datos	Costo	Suma +1	Ponderación
Precisión y fiabilidad de la medición		**1**	**1**	**0,5**	**0,5**	**0**	**4**	**0,19**
Implementación mecánica	**0,5**		**1**	**0**	**0,5**	**0,5**	**3**	**0,15**
Dimensiones del sistema	**0**	**0**		**0**	**0**	**0**	**1**	**0,05**
Medición de la deflexión	**0,5**	**1**	**1**		**0,5**	**0,5**	**4**	**0,19**
Visualización de datos	**0,5**	**1**	**1**	**0,5**		**0,5**	**4,5**	**0,21**
Costo	**0,5**	**1**	**1**	**0,5**	**0,5**		**4,5**	**0,21**
						Suma	**21**	**1**

Como se observa en la Tabla 4.2, los criterios más importantes son la visualización de datos y el costo. En segundo lugar, de prioridad se encuentran la precisión y fiabilidad de la medición, así como la medición de la deflexión.

4.5.1 Selección de sujeción de viga

Para el diseño del sistema didáctico se requiere un método de sujeción que garantice el apoyo adecuado de la viga durante los ensayos, permitiendo su libre deformación sin introducir restricciones adicionales. Además, el sistema debe ser resistente, estable, de bajo costo y capaz de operar con desplazamientos pequeños sin generar mayor fricción.

Alternativa 1: Bisagra y rodamientos lineales.

Alternativa 2: Eje y guías metálicas.

En la Tabla 4.3 se muestra la evaluación de las alternativas de sujeción de la viga.

Tabla 4.3 Evaluación de sujeción de viga

Tipo de sujeción	Alternativa 1	Alternativa 2	Suma +1	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
		Suma	3	1

Según lo presentado en la Tabla 4.3, la primera alternativa obtuvo la mejor valoración.

4.5.2 Selección de generación de deflexión

Para definir el mecanismo encargado de generar la deflexión en la viga, es necesario seleccionar una alternativa que facilite la observación clara del comportamiento estructural y que, al mismo tiempo, mantenga un costo accesible para el sistema didáctico.

Alternativa 1: Palanca con pesas.

Alternativa 2: Sistema de polea y cuerda.

Alternativa 3: Motorreductor con control de torque.

En la Tabla 4.4 se muestra la evaluación de las alternativas de generación de deflexión.

Tabla 4.4 Evaluación de generación de deflexión

Tipo de generación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Suma +1	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,46
Alternativa 2	0,5		1	2,5	0,38
Alternativa 3	0	0		1	0,16
			Suma	6,5	1

Según se muestra en la Tabla 4.4, la primera alternativa tiene la mejor ponderación.

4.5.3 Selección de medición de la deflexión.

Para determinar el método más adecuado para la medición de la deflexión en el sistema didáctico, es necesario seleccionar una opción que permita obtener lecturas claras y visibles, manteniendo al mismo tiempo un costo accesible para su implementación.

Alternativa 1: Regleta graduada.

Alternativa 2: Calibrador digital adaptado.

Alternativa 3: Potenciómetro lineal.

En la Tabla 5 se muestra la evaluación de las alternativas de medición de la deflexión.

Tabla 4.5 Evaluación de medición de la deflexión

Tipo de medición	**Alternativa 1**	**Alternativa 2**	**Alternativa 3**	**Suma +1**	**Ponderación**
Alternativa 1		0	1	2	0,36
Alternativa 2	0,5		1	2,5	0,45
Alternativa 3	0	0		1	0,19
			Suma	5,5	1

Según se muestra en la Tabla 4.5, la segunda alternativa fue la que obtuvo la mejor ponderación.

4.5.4 Selección de estructura base.

Para la elección de la estructura base del sistema didáctico se requiere un soporte que garantice estabilidad, facilite la visualización del comportamiento de la viga y mantenga un costo moderado en su fabricación. Además, la estructura debe proporcionar la rigidez

necesaria para minimizar vibraciones y deformaciones propias del soporte, asegurando así la confiabilidad de las mediciones experimentales.

Alternativa 1: Madera.

Alternativa 2: Metal.

Alternativa 3: Acrílico reforzado.

En la Tabla 4.6 se muestra la evaluación de las alternativas de la estructura base.

Tabla 4.6 Evaluación de la estructura base

Tipo de estructura	**Alternativa 1**	**Alternativa 2**	**Alternativa 3**	**Suma +1**	**Ponderación**
Alternativa 1		0,5	1	2,5	0,33
Alternativa 2	1		1	3,5	0,47
Alternativa 3	0,5	0		1,5	0,2
			Suma	7,5	1

Según se muestra en la Tabla 4.6, la segunda alternativa fue la que obtuvo la mejor ponderación.

4.5.5 Selección de visualización de datos.

La selección del método de visualización de datos del sistema didáctico es fundamental elegir una alternativa que permita interpretar de manera clara la deflexión amplificada y que mantenga un costo accesible.

Alternativa 1: Observación directa.

Alternativa 2: Pantalla digital.

Alternativa 3: Aplicación PC.

En la Tabla 4.7 se muestra la evaluación de las alternativas de visualización de datos.

Tabla 4.7 Evaluación de visualización de datos

Tipo de medición	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Suma +1	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1	2	0,36
Alternativa 2	1		1	2,5	0,45
Alternativa 3	0	0		1	0,19
			Suma	5,5	1

Según se muestra en la Tabla 4.7, la segunda alternativa fue la que obtuvo la mejor ponderación.

4.6 Propuesta final

Una vez aplicado el método de criterios ponderados para determinar la alternativa más adecuada, se obtuvo el diseño final del sistema didáctico para la medición de deflexión en vigas. El mecanismo utiliza una sujeción por bisagra y rodamientos lineales, permitiendo que la viga pueda rotar y desplazarse de manera controlada sin generar restricciones adicionales. La generación de la deflexión se realiza mediante un brazo palanca con aplicación de pesas en la mitad de la viga, lo que proporciona una carga puntual clara y reproducible para el análisis estructural. Para la medición del desplazamiento se seleccionó un calibrador digital adaptado, empleando el profundímetro como elemento de lectura amplificada mediante la palanca mecánica. La estructura general del sistema está construida en material metálico, garantizando rigidez, estabilidad y durabilidad durante las prácticas. Finalmente, la visualización de datos se realiza

mediante una pantalla digital, asegurando una lectura clara y precisa de la deflexión amplificada. La Fig. 4.16 presenta la propuesta de diseño final del sistema**.**

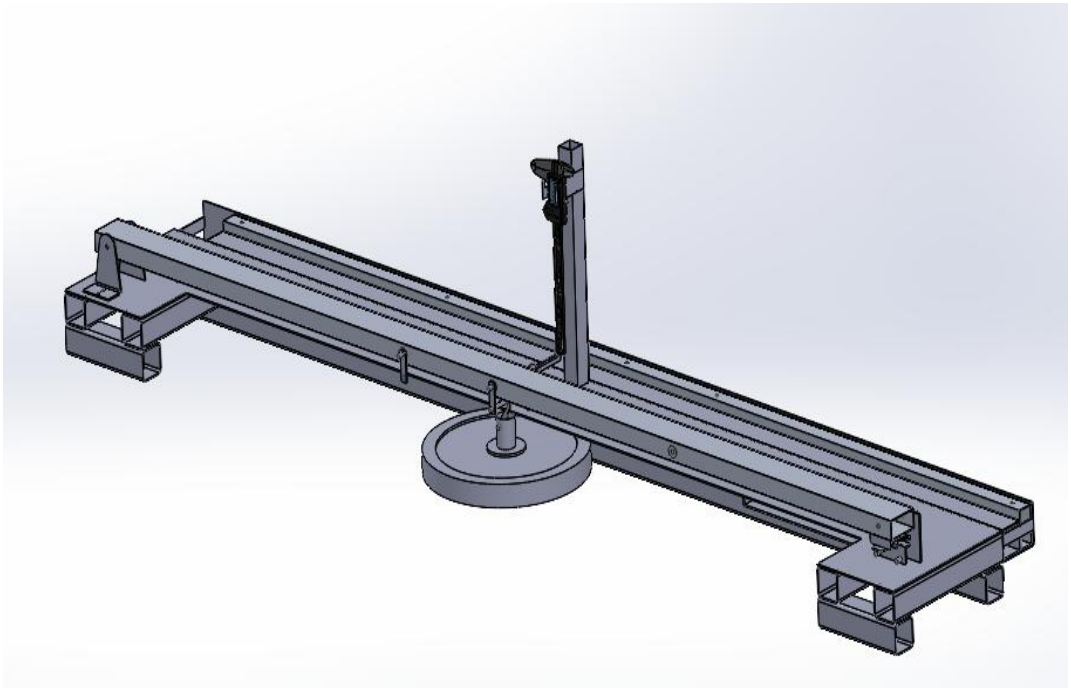


Fig. 4.16 Propuesta de diseño final.

4.7 Diseño mecánico

4.7.1 Elección de perfiles de pruebas

La selección de los perfiles se realizó considerando la disponibilidad de secciones de aluminio en el mercado y procurando que sus áreas transversales fueran lo más similares posible, con el fin de facilitar una comparación adecuada entre ellas.

Los perfiles encontrados en el mercado son los que se muestra en la Tabla 4.8.

Con la selección de estos perfiles, se modifica el diseño de los extremos para que sean ajustables y permitan adaptarse a las dimensiones de los perfiles seleccionados.

Tabla 4.8 Datos de los perfiles encontrados

Perfil	Medidas (mm)	Área (mm^2)	Módulo de sección (mm^3)	Densidad lineal (kg/m)
Cuadrado	38,1 x 1,2	177,1	2112	0,478
Rectangular horizontal	50,8 x 25,4 x 1,2	177,1	1598	0,478
Rectangular vertical	25,4x 50,8 x 1,2	177.1	2369	0,478
Circular	25,4 x 1,9	140,2	767,4	0,379

4.7.2 Análisis de deflexión

Como parte del proceso de diseño, se plantean tres casos de estudio para analizar el comportamiento de la viga y determinar la alternativa que genere la mayor deflexión para el sistema didáctico; los detalles se aprecian en el Anexo A. Para ello, se elabora una hoja de cálculo en Excel en la que se comparan los resultados obtenidos al variar parámetros como la carga aplicada y la longitud de la viga. Se selecciona el aluminio como material para el objeto de prueba debido a que posee un módulo de elasticidad menor que el del acero, lo que permite obtener mayores deflexiones y facilita la visualización del comportamiento de la viga durante las prácticas de laboratorio..

En la Tabla 4.9 se presenta la comparación de los casos analizados.

Tabla 4.9 Comparación de casos deflexión

Casos	Tipo de Apoyo	Posición de carga	Longitudes de pruebas(m)	Cargas (N)
Caso A	Viga apoyada en los extremos	Carga puntual intermedia	1,00 1,50 2,00	25 50 100
Caso B	Viga apoyada en un extremo y a ¾ de la longitud	Carga puntual en el extremo libre	1,00 1,50 2,00	25 50 100
Casos C	Viga apoyada en un extremo y a ¾ de la longitud	Carga aplicada en la mitad de los apoyos	1,00 1,50 2,00	25 50 100

El análisis de los tres casos es fundamental para comprender cómo las deflexiones cambian según el tipo de viga y las condiciones de carga. Al aplicar fórmulas de deflexión específicas para cada caso, se obtiene una base sólida para realizar comparaciones, lo que facilita la optimización del diseño del sistema didáctico. Este análisis también ofrece información clave sobre las configuraciones más efectivas para visualizar la deflexión, mejorando así la enseñanza interactiva y ayudando a los estudiantes a comprender los conceptos con mayor claridad.

Se selecciona el caso A que se presentará en el sistema, y en este caso se opta por el Caso A, donde la viga está apoyada en ambos extremos y sometida a una carga puntual en el centro. Este es el caso que genera una mayor deflexión. En cuanto a la longitud de la viga, se define según los requisitos del proyecto, específicamente el espacio disponible para las pruebas. La longitud elegida es de 1,5 metros, que corresponde a la distancia entre los apoyos, siendo esta medida menor que el sistema diseñado para las pruebas de viga.

4.7.3 Diseño y simulaciones

A) Estructura

Se seleccionaron tubos de acero ASTM A36 de 40 × 40 × 2 mm para la estructura del sistema didáctico debido a su alta resistencia y rigidez, lo que garantiza la estabilidad bajo las cargas aplicadas. Además, este material ofrece durabilidad, facilidad de fabricación y un costo accesible. Sus dimensiones se detallan en el Anexo B. Las condiciones de borde se establecen distribuyendo la carga entre los dos soportes. Como se aprecia en el diseño final, la mayor carga actúa sobre los tubos ubicados en los extremos del sistema; por ello, dicha carga se aplica a estos elementos, dividiendo la carga total entre ambos. En cuanto a las condiciones de sujeción, en un extremo se fija una restricción en todos los grados de libertad, mientras que en el otro extremo se aplica una restricción deslizante que permite

el desplazamiento longitudinal. De esta manera, se representa un modelo de simulación que reproduce un resultado más acorde a las condiciones reales de funcionamiento, tal como se muestra en la Fig. 4.17. Una vez definidos los parámetros del sistema, se procede a diseñar la estructura.

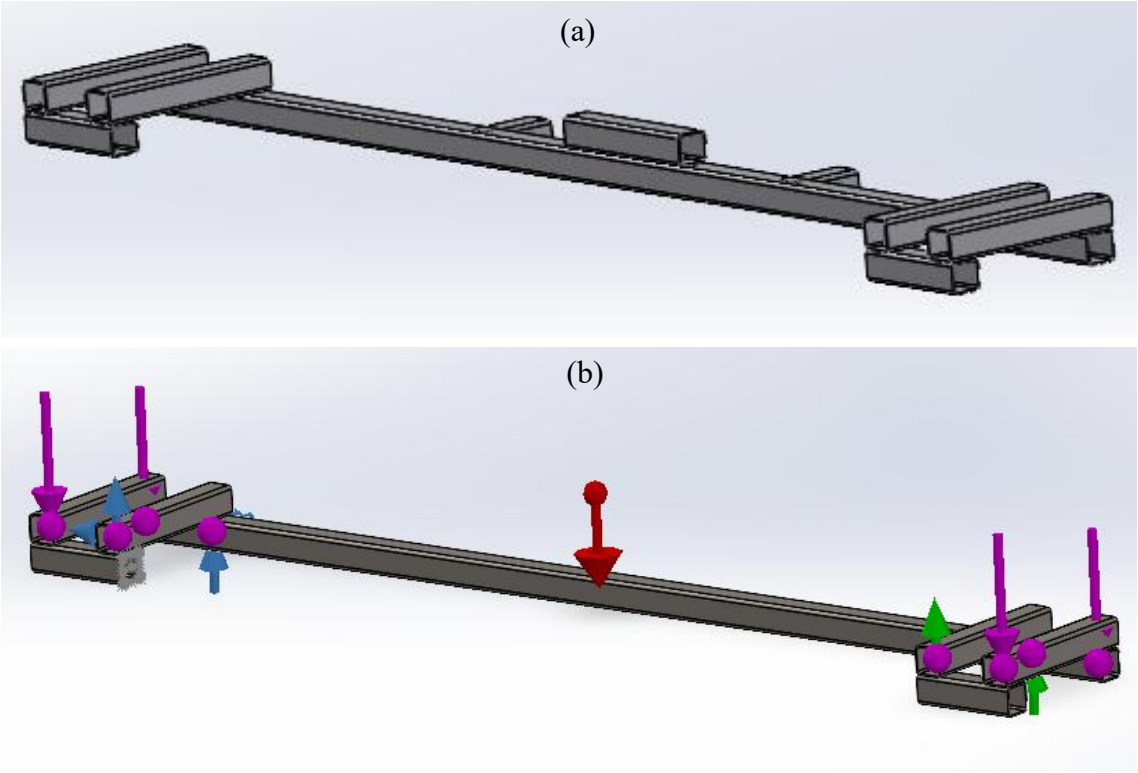


Fig. 4.17 Base del sistema (a) Estructura, (b) estructura con condiciones de borde.

Además, el tamaño de los tubos proporciona un buen equilibrio entre peso y resistencia, siendo perfecto para la construcción de una estructura estable, funcional y de menor costo.

Se diseñó la estructura con tubos de acero, los cuales fueron sometidos a pruebas de resistencia en el software. El análisis estático mostró que la viga presenta una deflexión máxima de 0,14 mm y las tensiones no superan los 3,46 MPa, valores significativamente inferiores al límite elástico del material, que es de 250 MPa (ver Fig. 4.18). Estos resultados demuestran que la estructura soporta cargas mayores sin comprometer su estabilidad o seguridad.

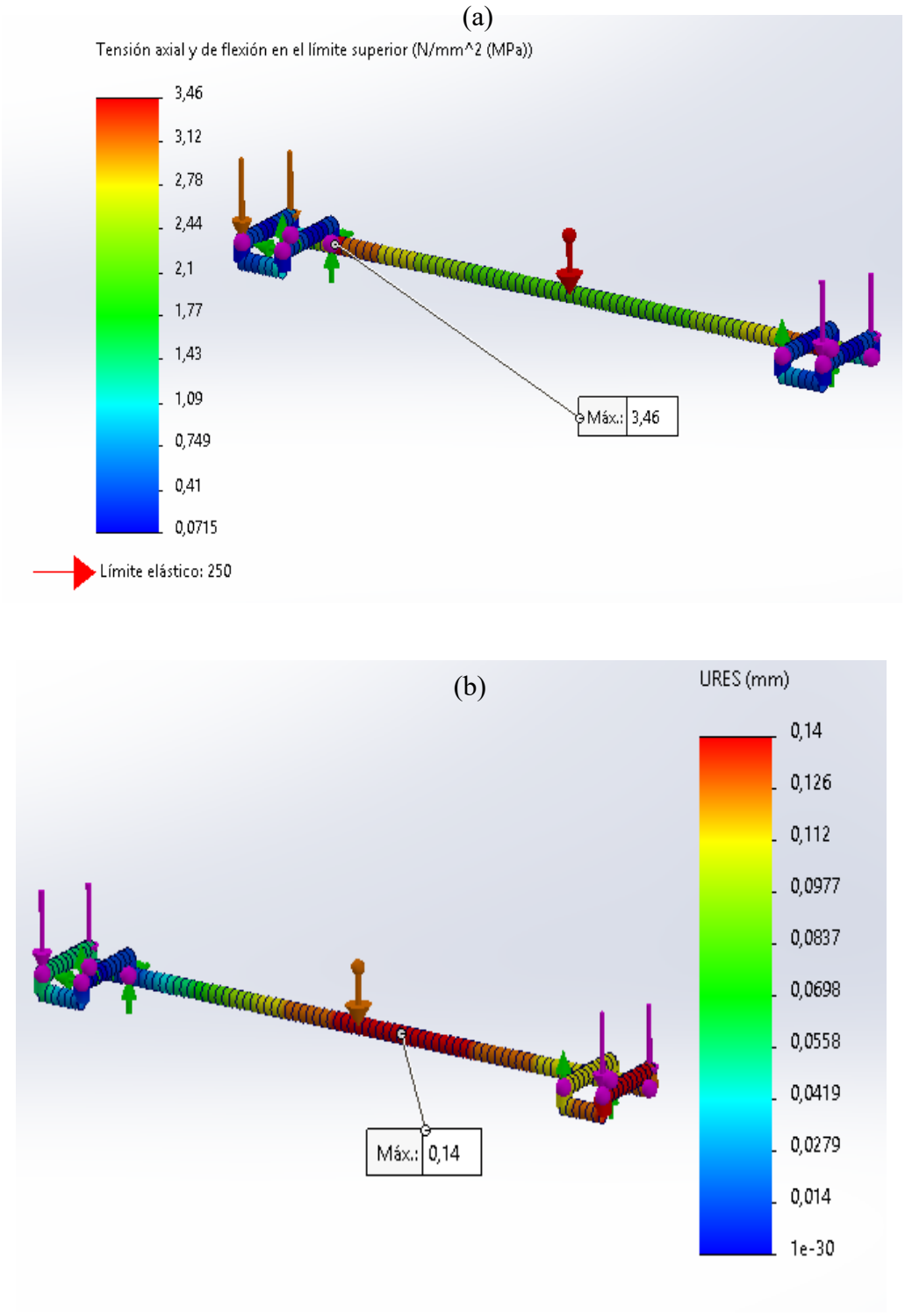


Fig. 4.18 Análisis estático de la estructura (a) Tensión, (b) Desplazamiento.

B) Soportes

Para el diseño de los soportes del sistema, se debe considerar que, en un extremo el soporte debe permitir únicamente rotación, asegurando que la viga pueda girar sin

desplazarse. En el otro extremo, se requiere un soporte que permita tanto la traslación horizontal como la rotación, facilitando el movimiento y ajuste de la viga mientras se mantiene la estabilidad y precisión en las mediciones, tal como se presenta en la Fig. 4.19. Además, debe adaptarse a tubos de diferentes medidas, específicamente de 1, 1,5 y 2 pulgadas, las cuales el sistema debe cumplir; estas piezas se encuentran detalladas en el Anexo B.

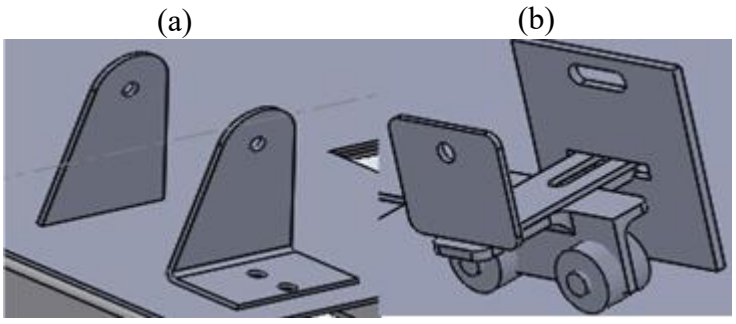


Fig. 4.19 Piezas soportes (a) Soporte fijo, (b) Soporte móvil.

De igual manera, se realizan los cálculos de resistencia para las piezas de soporte, utilizando planchas de acero de 2 mm de espesor, cuyos detalles pueden observarse en el Anexo C. En el análisis se plantean las condiciones de borde correspondientes al peso máximo de trabajo de 50 N, obteniéndose los resultados mostrados en la Fig. 4.20. El análisis estático del soporte, modelado en acero AISI 1020, evidencia que la tensión máxima de von Mises alcanza aproximadamente 2,01 MPa, valor considerablemente inferior al límite elástico del material, aproximadamente 352 MPa. Asimismo, el desplazamiento máximo registrado es de 0,00226 mm, lo que indica una deformación mínima. El diseño de los soportes es estructuralmente rígido y presentan un amplio margen de seguridad.

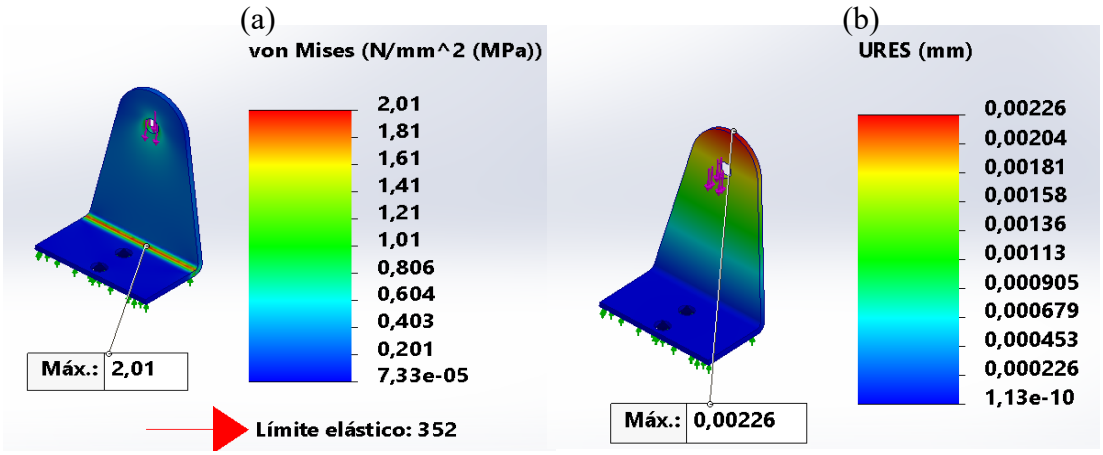


Fig. 4.20 Análisis estático de soportes soporte fijo (a) Tensión, (b) Desplazamiento.

C) Sistema de carga

La pieza destinada a la aplicación de la carga se fabrica a partir de un eje de transmisión AISI 1020, cuyas especificaciones se encuentran en el Anexo C. Esta configuración permite transmitir el peso de manera uniforme y centrada. El proceso de torneado garantiza una geometría precisa y un acabado superficial adecuado, asegurando un ajuste correcto con los elementos de fijación mediante pasador, como se muestra en la Fig. 4.21. Además, el diseño cilíndrico facilita la alineación del peso y contribuye a una aplicación estable y controlada de la carga durante los ensayos de deflexión.

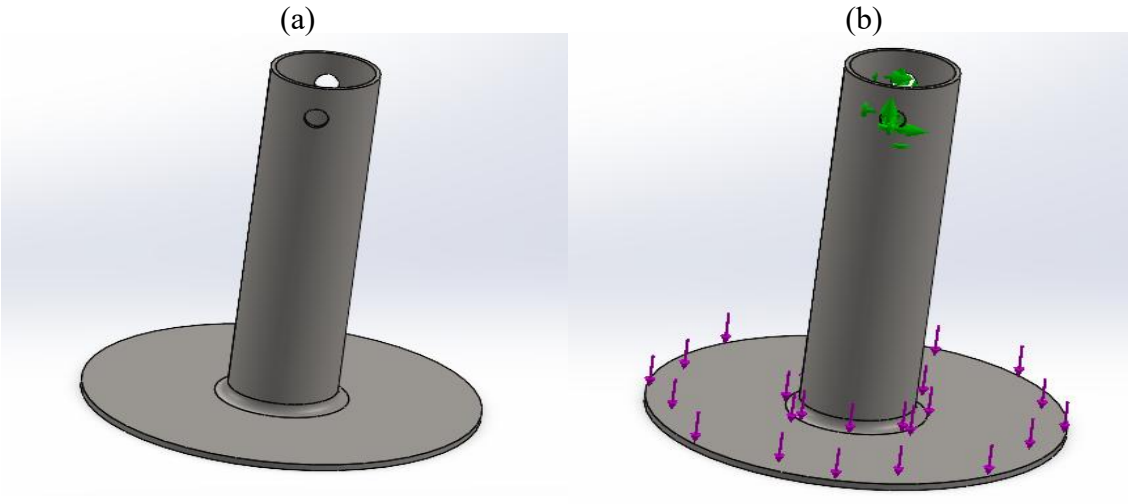


Fig. 4.21 Carga del sistema (a) Pieza de carga, (b) Condiciones de borde en la pieza.

El análisis estático muestra un desplazamiento máximo de 0,0216 mm, concentrado en el borde del disco, lo que indica una deformación mínima. La tensión von Mises máxima es de 16,6 MPa, ubicada en la unión entre el cilindro y la base, y se mantiene muy por debajo del límite elástico 352 MPa, como se presenta en la Fig. 4.22. Por ello, la pieza presenta un amplio margen de seguridad para la carga aplicada.

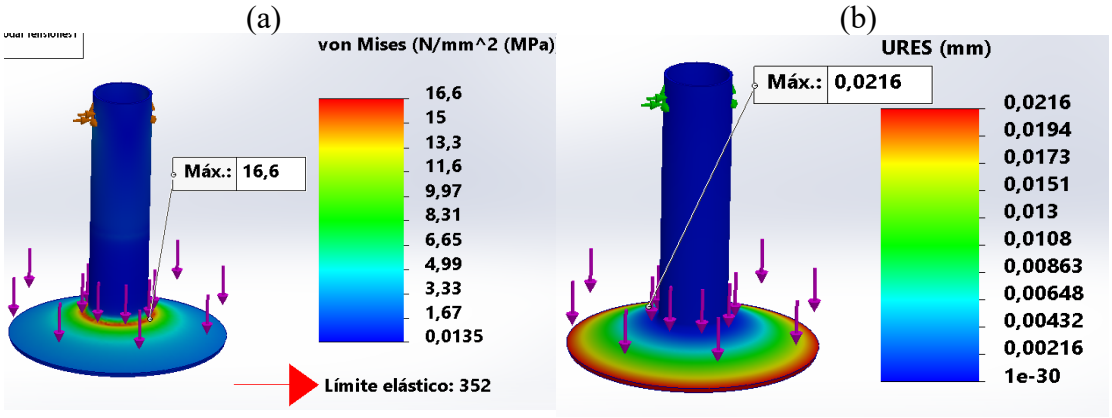


Fig. 4.22 Análisis estático de la pieza de carga (a) Tensión, (b) Desplazamiento.

D) Amplificador de medida

La Fig. 4.23 muestra el amplificador de medida basado en un sistema de palanca con una relación de amplificación del desplazamiento vertical de 1 a 3.

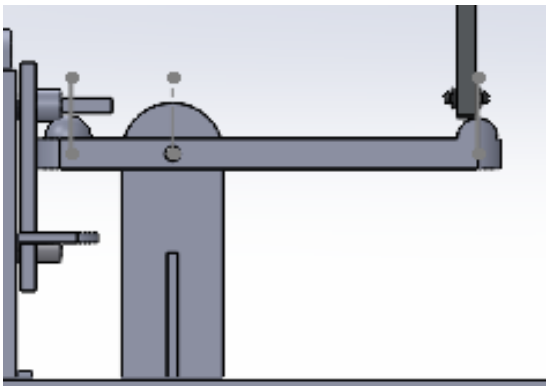


Fig. 4.23 Amplificador sistema palanca.

El sistema está compuesto por una barra articulada para permitir su rotación, adaptándose canicas de acero en los extremos para garantizar un contacto tangente a los seguidores y mantener la relación 1:3 en todo el rango de rotación. Este diseño aumenta la medida registrada por el calibrador y reduce los errores de apreciación.

E) Gancho de soporte

En la Fig. 4.24 se muestra el gancho diseñado para soportar y transmitir el peso aplicado durante las pruebas de la viga. Su estructura permite un fácil enganche y sujeción, mientras que el orificio central proporciona el punto de fijación al sistema de medición, asegurando que la carga se aplique en un punto específico de la viga de ensayo. Sus dimensiones se detallan en el Anexo B. El gancho se fabrica en acero AISI 1020, a partir de una plancha de 3 mm de espesor, material que proporciona la resistencia y durabilidad necesarias para soportar las condiciones de ensayo. Sus características se presentan en el Anexo C.

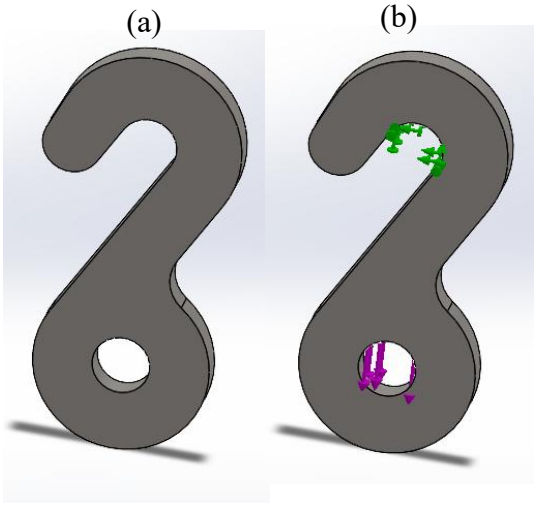


Fig. 4.24 Gancho (a) Modelo del gancho, (b) Condiciones de borde del gancho.

El análisis realizado para el gancho muestra que el desplazamiento máximo es de 0,0106 mm, lo que indica una deformación mínima, concentrada en el área donde se sujeta el

pasador. Por otro lado, el esfuerzo equivalente de von Mises muestra una tensión máxima de 76,0 MPa, que está por debajo del límite elástico del material aproximadamente 352 MPa, lo que garantiza que el gancho funciona dentro de los márgenes de seguridad. Estos resultados demuestran que el gancho soportará sin problemas las cargas previstas sin riesgo de fallos estructurales (ver Fig. 4.25).

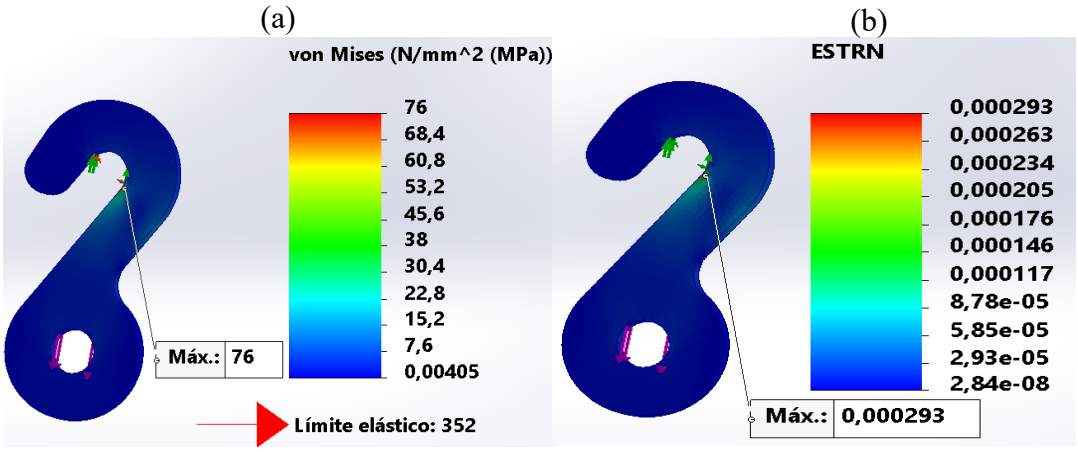


Fig. 4.25 Análisis estático del gancho (a) Tensión, (b) Desplazamiento.

F) Soporte del tubo de carga

El soporte del tubo de carga, diseñado en acero ASTM A36, tiene como función brindar apoyo durante la aplicación de las cargas. Para ello, cuenta con dos varillas, una platina fija y otra móvil, que permiten realizar un ajuste hacia el tubo y mantener el soporte en su posición. En cada varilla se incorporaron ranuras que funcionan como guías para facilitar el ajuste de la platina móvil. Asimismo, estas ranuras contribuyen al centrado del alma del tubo con la carga, favoreciendo una correcta ubicación de la carga y una distribución controlada de la misma. Las dimensiones del soporte se detallan en el Anexo B, mientras que la fuerza aplicada en la ranura mostrada representa el caso crítico de carga la cual se presenta en la Fig. 4.26.

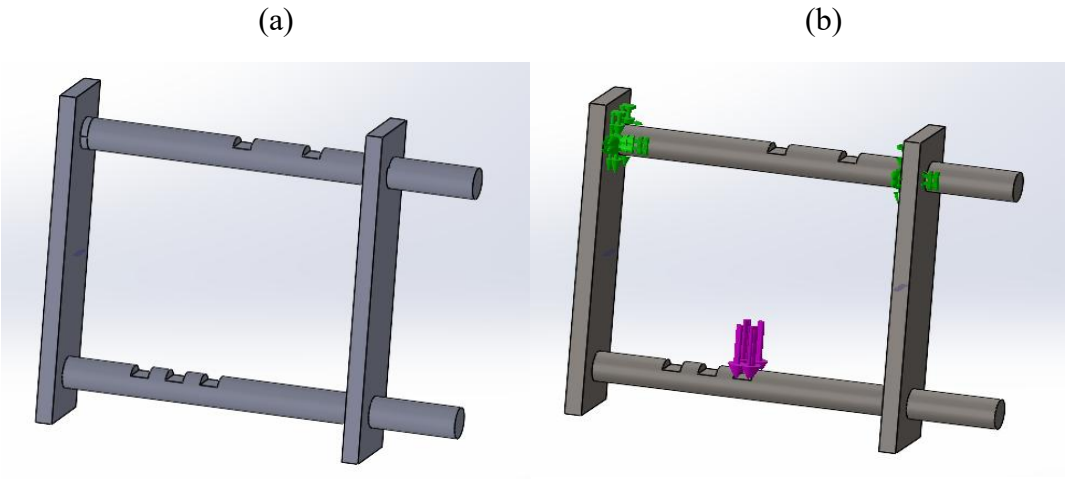


Fig. 4.26 Pasador tubo carga (a) Modelo, (b) Condiciones de borde del pasador tubo carga.

El análisis estático del pasador tubo carga muestra un desplazamiento máximo de 0,0225 mm, lo que indica una deformación mínima en la zona central, donde se aplica la carga. Este comportamiento es adecuado para soportar la carga sin poner en riesgo el sistema. En cuanto a la tensión de von Mises, el valor máximo registrado es de 66,4 MPa, debajo del límite elástico del material 250 MPa, lo que garantiza que la pieza opera dentro de un rango seguro. Los resultados del análisis se muestran en la Fig. 4.27.

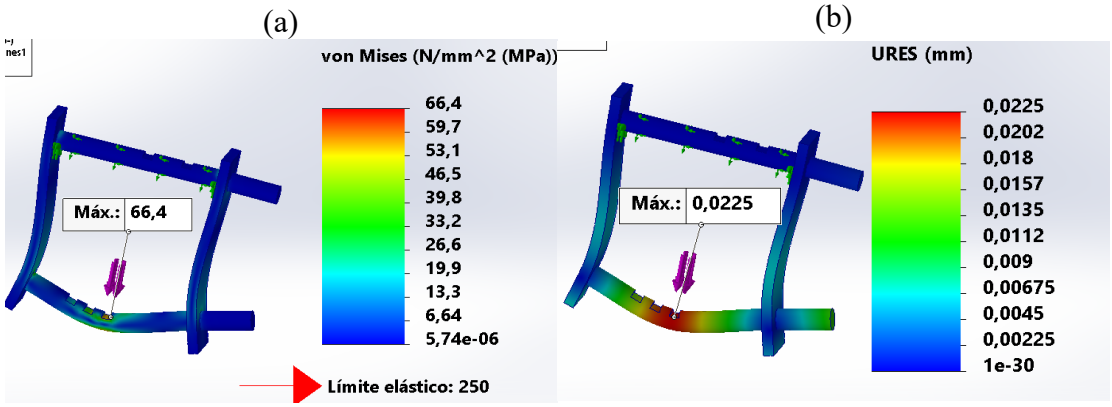


Fig. 4.27 Análisis estático del pasador tubo carga (a) Tensión, (b) Desplazamiento.

G) Pasador para los soportes

Al igual que el soporte del tubo de carga, estos pasadores se fabrican en acero ASTM A36. Se ubican en los extremos del sistema y cumplen la función de restringir el movimiento de acuerdo con el diseño establecido. Sus dimensiones se presentan en el Anexo B, mientras que su modelo se muestra en la Fig. 4.28.

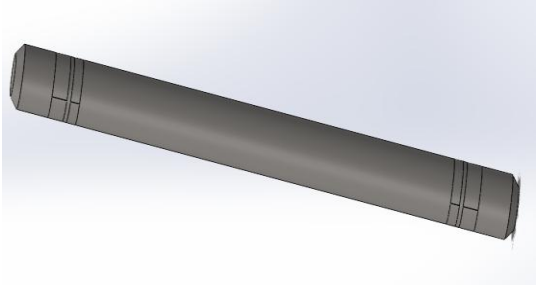


Fig. 4.28 Pasador para los soportes.

Para verificar la resistencia mecánica del eje, se realizó un análisis considerando una varilla fabricada en acero ASTM A36, material que posee un límite de fluencia de 250 MPa. El elemento analizado tiene una longitud de 67,5 mm y un diámetro *d* de 6 mm. Las condiciones de carga establecidas corresponden a la aplicación de dos fuerzas F de 25 N, una en cada extremo de la varilla y ambas dirigidas hacia abajo. Asimismo, el sistema cuenta con dos apoyos ubicados a una distancia *a* de 0,5 mm de cada extremo Las condiciones de carga establecidas corresponden a la aplicación de dos fuerzas de 25 N, una en cada extremo de la varilla y ambas dirigidas hacia abajo. Asimismo, el sistema cuenta con dos apoyos ubicados a una distancia de 0,5 mm de cada extremo, configuración que permite determinar los esfuerzos de flexión y cortante generados, tal como se muestra en la Fig. 4.29.

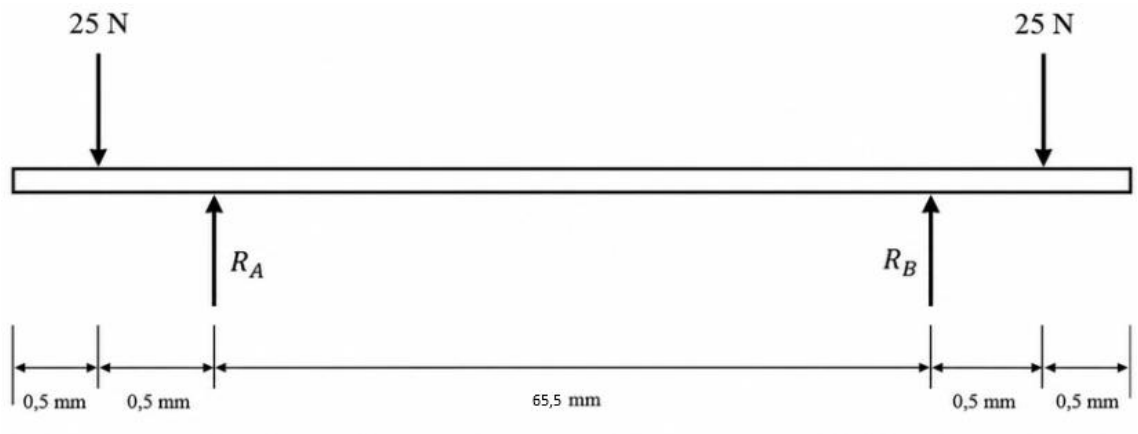


Fig. 4.29 Diagrama del pasador.

Calculo:

Momento flector máximo: $M = F * a = 12{,}5\ N \cdot mm.$

Momento de inercia de la sección circular: $I = \frac{\pi d^4}{64} = 63{,}62\ mm^4.$

Distancia al extremo: $c = \frac{d}{2} = 3\ mm.$

Esfuerzo flector máximo: $\sigma = Mc/I = 0{,}59\ MPa.$

El esfuerzo cortante máximo se presenta en las zonas cercanas a los extremos, donde actúan las fuerzas de 25 N. por lo tanto V = 25 N.

Esfuerzo cortante máximo: $\tau = \frac{16V}{3\pi d^2} = 1{,}18\ MPa.$

Los esfuerzos obtenidos en el análisis se compararon con los límites de fluencia del acero ASTM A36, para verificar la seguridad del eje. El esfuerzo máximo de flexión calculado es significativamente inferior al límite de fluencia a tracción del material, correspondiente a Sy = 250 MPa. De igual manera, el esfuerzo cortante máximo es mucho menor que el límite de fluencia al cortante estimado mediante el criterio de von Mises es aproximadamente Sys = 144 MPa. Estos resultados muestran que el eje trabaja dentro del régimen elástico y cumple con las condiciones de resistencia mecánica requeridas.

4.8 Construcción

La construcción del sistema didáctico inicia con la adquisición de los materiales seleccionados. Posteriormente, se realiza el corte de los tubos de acero estructural de acuerdo con las dimensiones establecidas en los planos de diseño. A continuación, se efectúa el corte de la placa metálica que conforma la cubierta del sistema, respetando las medidas especificadas. Una vez obtenidas todas las piezas, se fabrican los elementos complementarios requeridos y se ensambla el sistema mediante soldadura verificando el correcto acoplamiento y alineación de cada uno de sus componentes. La fabricación del sistema se muestra en la Fig. 4.30.

(a) (b)



Fig. 4.30 Ensamble del sistema (a) Estructura, (b) Placa acoplada con estructura.

La parte final de la construcción del sistema corresponde al ensamblaje de todos sus componentes, seguido del proceso de pintado para obtener el acabado final y la protección de la estructura, tal como se muestra en la Fig. 4.31.



Fig. 4.31 Sistema construido.

4.9 Pruebas de funcionamiento

Una vez ensamblado el sistema se realizaron diferentes pruebas de funcionamiento para cada uno de los tubos seleccionados (ver Fig. 4.32), con el propósito de verificar experimentalmente los resultados obtenidos mediante la máquina desarrollada.

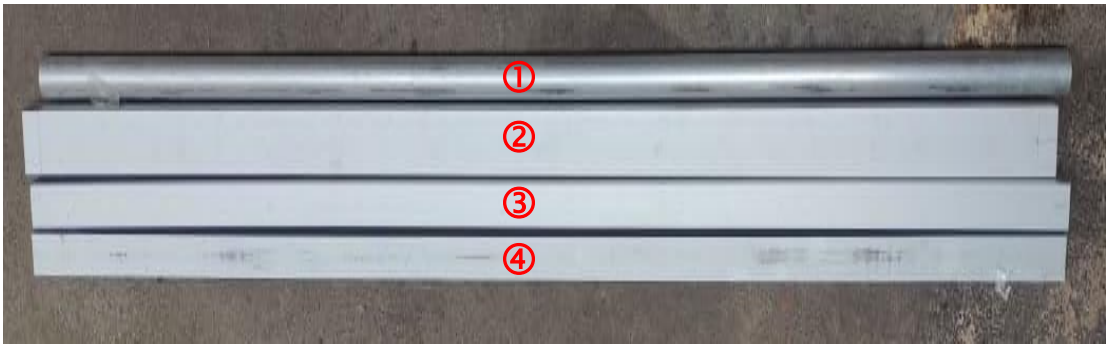


Fig. 4.32 Tubos de aluminio, 1 tubo circular, 2 tubo cuadrado, 3 tubo rectangular horizontal, 4 tubo rectangular vertical.

El funcionamiento inicia con la sujeción del tubo en los soportes fijo y móvil, asegurando su correcta alineación y estabilidad. Posteriormente, se selecciona el tubo y la carga para ejecutar las experimentaciones (peso de 50,2 N).

Se insertan los pasadores en los extremos para asegurar el tubo a ensayar; a continuación, se inserta el soporte del tubo de carga a través de las perforaciones realizadas previamente en el tubo. Una vez instalado el soporte en el punto de carga, se posiciona el calibrador digital de manera que su elemento móvil pueda desplazarse libremente durante la aplicación de la carga, tal como se muestra en la Fig. 4.33.



Fig. 4.33 Colocación de los pasadores.

Tras verificar la correcta instalación del instrumento, se ajusta el calibrador a cero, garantizando que la medición de la deflexión se realice a partir de una referencia inicial nula como se indica en la Fig. 4.34.

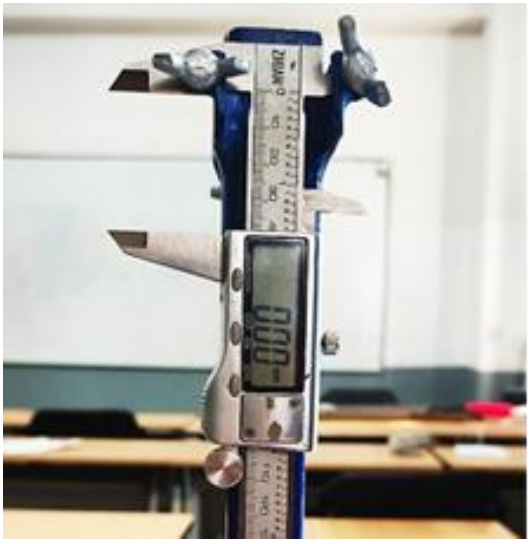


Fig. 4.34 Referencia inicial del calibrador.

Finalmente, se coloca el peso sobre el pasador de carga y se registra la deflexión producida en el tubo. Se repiten los experimentos para todos los perfiles seleccionados en los distintos puntos de carga, tabulando los resultados para comparar los resultados experimentales obtenidos con los valores teóricos calculados previamente. Estos valores se muestran en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10 Resultados de las pruebas de la primera versión del dispositivo con peso de 50,2 N

Tubos	**Ubicación de peso mm**	**Deflexión experimental mm**	**Deflexión teórica mm**	**Error %**
Tubo circular	400,0	5,65	3,74	51,07
	749,0	6,05	5,17	17,00
	926,0	5,45	4,78	14,00
Tubo cuadrado	401,0	1,28	0,90	42,00
	750,0	2,48	1,25	98,00
	926,0	1,92	1,15	66,90
Tubo rectangular horizontal	399,5	1,87	1,79	4,46
	749,5	2,82	2,48	13,70
	924,0	2,6	2,29	13,50
Tubo rectangular vertical	399,0	1,01	0,60	68,0
	751,0	1,66	0,83	100,0
	926,0	1,38	0,77	79,00

De acuerdo con los resultados obtenidos y presentados en la tabla 4.10, se observó que el error entre las deflexiones experimentales y teóricas alcanzaba valores elevados, lo que evidenció la necesidad de realizar ajustes en la máquina. Con el propósito de mejorar la precisión de las mediciones y reducir la discrepancia entre los resultados experimentales y los teóricos, se plantearon e implementaron diversas acciones correctivas.

4.9.1 Ajustes

Entre las modificaciones realizadas, se sustituyó el carrito ajustable del apoyo móvil por una pieza diseñada específicamente para esta función con el fin de mejorar la alineación y acercar el modelo físico al modelo teórico de la viga. Asimismo, se instalaron soportes

regulables para garantizar una adecuada nivelación de la máquina. Otra modificación consistió en retirar el amplificador de medida, permitiendo obtener lecturas directas de la deflexión y reduciendo posibles fuentes de error asociadas al sistema de amplificación. Finalmente, se incrementó la carga aplicada con el objetivo de generar deflexiones más representativas y facilitar la comparación entre los resultados experimentales y los valores teóricos.

A) Pieza móvil

La pieza adicional se diseñó para reemplazar el carrito ajustable, debido a que este presentaba inestabilidad durante los ensayos, lo que afecta la precisión de las mediciones. Además, se observó que el desplazamiento horizontal requerido por el sistema era mínimo, por lo que se diseñó e instaló una pieza similar a la utilizada en el apoyo fijo. La principal diferencia radica en que esta nueva pieza incorpora una ranura que permite el desplazamiento horizontal, cuyos detalles se evidencian en el Anexo B, garantizando al mismo tiempo una mayor estabilidad y un funcionamiento más consistente del sistema. Se validó el análisis estático de la pieza el cual muestra un desplazamiento de 0,000924 mm y una tensión de 1,25 MPa, lo cual asegura un funcionamiento correcto en los ensayos del sistema (ver Fig. 4.35).

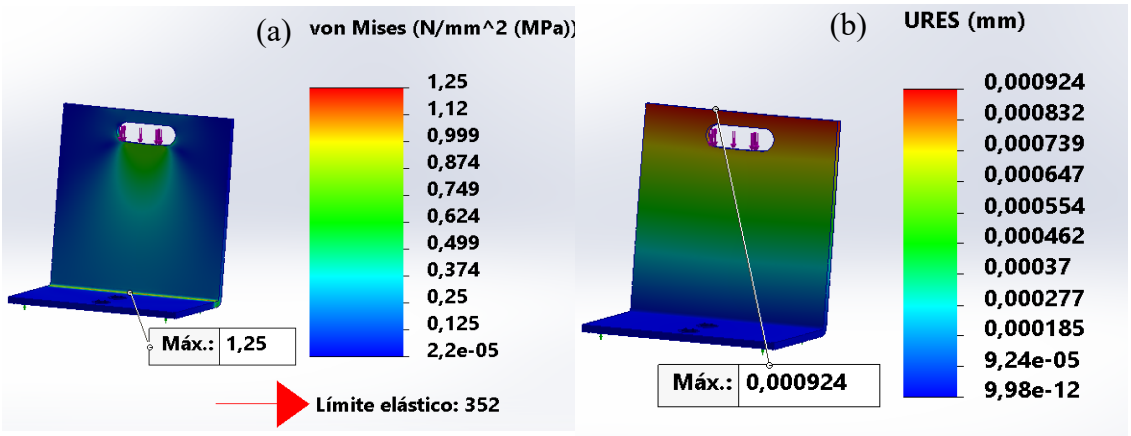


Fig. 4.35 Análisis estático de la pieza móvil (a) Desplazamiento, (b) Tensión.

Una vez implementadas las modificaciones propuestas y completado el ensamblaje de los componentes ajustados, se realizaron nuevamente pruebas experimentales.

Estas pruebas tuvieron como objetivo verificar la efectividad de las mejoras introducidas, analizando su influencia en la precisión de las mediciones y en la reducción de las diferencias entre los resultados experimentales y teóricos (ver Fig. 4.36).

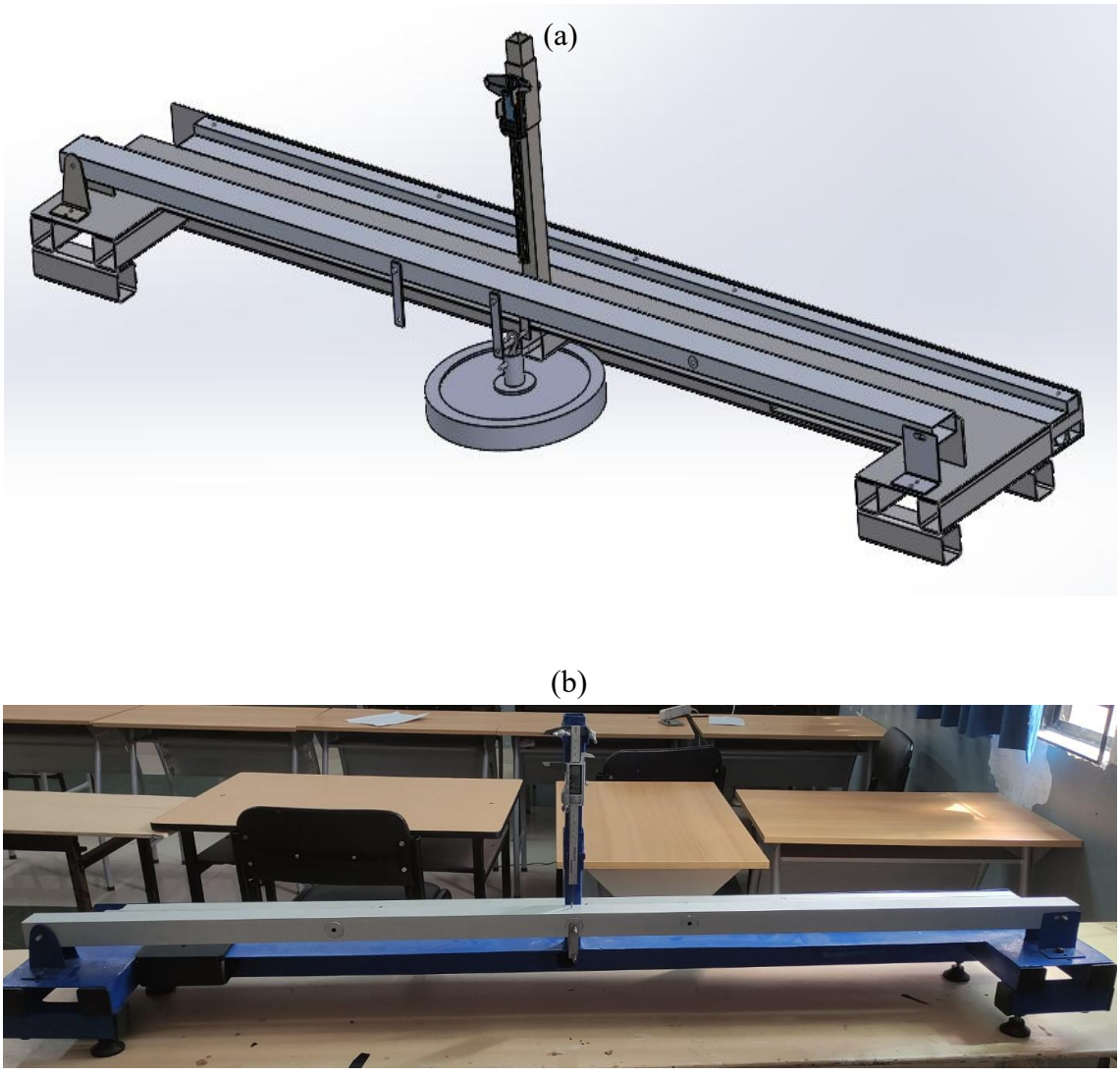


Fig. 4.36 Diseño corregido, (a) Modelo geométrico, (b) Sistema construido.

Adicionalmente, como parte del diseño del sistema didáctico, se planteó la fabricación de una caja de almacenamiento destinada a guardar las piezas elaboradas cuando no se encuentren en uso. Esta caja dispone de un compartimento que permite integrarla en la

estructura del equipo, lo que facilita mantener todos los componentes organizados y disponibles durante las prácticas. Además, se incorporó un espacio específico para el calibrador digital, con el propósito de proteger el instrumento de posibles golpes o daños y asegurar su correcto almacenamiento, contribuyendo a prolongar su vida útil y a mantener el sistema ordenado (ver Fig. 4.37).



Fig. 4.37 Caja de almacenamiento.

4.10 Resultados

En la tabla 4.11 se presentan los resultados obtenidos durante los ensayos. Para cada punto de aplicación de carga, se realizaron tres mediciones de la deflexión con el fin de obtener valores promedio. Posteriormente, se compararon con los resultados teóricos determinados mediante los modelos analíticos correspondientes. Asimismo, se calcularon los errores relativos para evaluar el grado de concordancia entre los valores experimentales y teóricos, permitiendo analizar la influencia de las modificaciones sobre la precisión de los resultados obtenidos.

Tabla 4.11 Resultados de las pruebas de la segunda versión del dispositivo con peso de 55,5 N

Tubos	Ubicación del peso mm	Deflexión experimental mm	Deflexión teórica mm	Error %
Tubo circular	400,0	5,00	4,23	18,20
	749,0	6,84	5,84	17,00
	926,0	6,29	5,40	16,30
Tubo cuadrado	401,0	1,12	1,02	9,60
	750,0	1,54	1,41	9,20
	926,0	1,46	1,30	12,00
Tubo rectangular horizontal	399,5	2,23	2,02	10,50
	749,5	2,85	2,79	2,20
	924,0	2,65	2,58	2,70
Tubo rectangular vertical	399,0	0,80	0,68	17,6
	751,0	0,99	0,95	4,60
	926,0	0,95	0,87	9,00

Con base en los resultados presentados en la tabla 4.11, la cual muestra la comparación entre las deflexiones teóricas y experimentales para los tubos circular, cuadrado y rectangular, se observa que las deflexiones experimentales son levemente superiores a las teóricas, registrándose errores relativos entre el 2% y el 18%. Estas diferencias pueden atribuirse a las condiciones reales del ensayo, tales como pequeñas variaciones en los apoyos, el módulo de elasticidad del material, las tolerancias geométricas de los perfiles y los efectos asociados a la perforación utilizada para aplicar la carga. A pesar de estas pequeñas diferencias, los resultados se consideran aceptables para un equipo educativo, lo que permite validar el funcionamiento de la máquina y la metodología empleada para la medición de la deflexión.

Prácticas de laboratorios

Una vez finalizadas las pruebas con los diferentes tubos, el sistema didáctico queda preparado para la realización de las prácticas de laboratorio. En la asignatura de Estática, la práctica tiene como propósito comparar el comportamiento de distintas secciones transversales, permitiendo evidenciar la influencia del momento de inercia de área sobre

la deflexión de cada tubo al aplicar una misma carga. Posteriormente, en la asignatura de Resistencia de Materiales, se determina la deflexión de un tubo mediante el análisis teórico y su correspondiente verificación experimental. De este modo, se establece una comparación entre los resultados teóricos y experimentales, lo que facilita la comprensión del comportamiento de los elementos sometidos a flexión y la validación de los fundamentos estudiados; ambas prácticas se encuentran en el anexo D.

CONCLUSIONES

Para este proyecto se establecieron los requerimientos necesarios para el desarrollo del sistema didáctico, considerando aspectos relacionados con la enseñanza del momento de inercia de área, la facilidad de uso, dimensiones adecuadas tanto en laboratorio como en aula, además de garantizar la seguridad durante la experimentación y la posibilidad de realizar mediciones de deflexión en diferentes perfiles estructurales. Estos requerimientos sirvieron como base para el desarrollo del proyecto.

Para diseño final del sistema didáctico se tomaron en cuenta aspectos relacionados con las dimensiones, la comodidad de uso, la funcionalidad y los costos, con el propósito de obtener un sistema estable, fácil de operar y capaz de proporcionar mediciones consistentes. Además, se consideraron los principios de la resistencia de materiales y las ecuaciones de deflexión de vigas para comparar los resultados experimentales con los valores teóricos.

Se adoptó una configuración estructural que permite realizar ensayos de manera segura y accesible para fines académicos. El sistema fue diseñado considerando dos subsistemas principales: el sistema mecánico, encargado del soporte de las vigas, la aplicación de las cargas y las condiciones de apoyo; y el sistema de medición, destinado a la obtención de las deflexiones experimentales. El funcionamiento del equipo se desarrolla de forma manual, permitiendo al usuario aplicar las cargas y registrar las deformaciones de manera controlada, lo que favorece el proceso de aprendizaje y la comprensión del momento de inercia de área.

La construcción del sistema didáctico se llevó a cabo conforme al diseño establecido para el estudio experimental del momento de inercia de área. La estructura principal fue fabricada utilizando tubo estructural de acero aleado de 40 × 40 × 2 mm, mientras que la

mayoría de sus componentes fueron elaborados a partir de plancha de acero AISI 1020 de 2 mm de espesor. El sistema construido presenta dimensiones generales de 1615 mm de longitud, 310 mm de ancho y 432 mm de altura, proporcionando un espacio adecuado para la realización de ensayos en diferentes perfiles estructurales. La selección de los materiales empleados permitió obtener una estructura rígida, estable y resistente, garantizando condiciones apropiadas para la ejecución de las prácticas de laboratorio y la obtención de resultados confiables durante la determinación experimental de la deflexión y del momento de inercia de área.

El proceso de validación del sistema didáctico se realizó mediante la comparación entre las deflexiones teóricas y experimentales obtenidas en perfiles de sección circular, cuadrada y rectangular. Los resultados mostraron una adecuada concordancia entre ambos análisis, registrándose errores porcentuales comprendidos entre aproximadamente el 2% y el 18%. Las diferencias observadas se atribuyen principalmente a las condiciones reales de ensayo, tales como las condiciones de apoyo, la aplicación de la carga y las tolerancias del instrumento de medición. Sin embargo, los resultados obtenidos permitieron verificar el correcto funcionamiento del sistema y su capacidad para representar experimentalmente la influencia del momento de inercia de área sobre la deflexión de los elementos estructurales.

Asimismo, la estructura construida proporcionó la estabilidad necesaria para el desarrollo de las prácticas de laboratorio, asegurando al sistema como una herramienta adecuada para el proceso de enseñanza-aprendizaje en las asignaturas de Estática y Resistencia de Materiales.

RECOMENDACIONES

Se recomienda verificar, antes de cada ensayo, que el calibrador digital se encuentre correctamente posicionado y perpendicular a la superficie del perfil a evaluar, con el fin de evitar errores en la medición de la deflexión.

Se recomienda comprobar que el instrumento se encuentre previamente ajustado a cero tomando una referencia inicial adecuada, garantizando que los desplazamientos registrados correspondan únicamente al desplazamiento producid por la carga aplicada.

Se recomienda evaluar la utilización de materiales alternativos para la fabricación de la estructura del sistema didáctico, tales como perfiles de aluminio, con el propósito de reducir el peso total del equipo sin comprometer la resistencia y rigidez necesarias para soportar las cargas aplicadas durante los ensayos.

Se puede considerar el desarrollo de un sistema de medición móvil que permita registrar la deflexión en diferentes puntos a lo largo de la probeta, ampliando las posibilidades de análisis durante las prácticas de laboratorio.

Se sugiere incorporar un microcontrolador para la adquisición y almacenamiento automático de los datos experimentales, permitiendo generar registros digitales y gráficas de deflexión de manera inmediata.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] J. Guzmán, "La calidad de la enseñanza en educación superior," *Perfiles Educativos*, vol. XXXIII, 2011.

[2] P. Ramsden, *Learning to Teach in Higher Education, 2nd Edition*. 2003. doi: 10.4324/9780203507711.

[3] S. A. López Ortiz, L. S. Orozco Cantos, and M. I. Quinga Morales, "Enseñanza de la dinámica rotacional mediante la construcción de un prototipo para la determinación de los momentos de inercia," *RECIMUNDO*, vol. 2, no. Esp, 2018, doi: 10.26820/recimundo/2.esp.2018.611-628.

[4] A. I. Wilson and R. Calderon, "Verificación y usabilidad de un software educativo para el cálculo de centroides y momentos de inercia de figuras planas de contorno recto orientado a estudiantes de ingeniería."

[5] E. Bodegom, E. Jensen, and D. Sokoloff, " Adapting RealTime Physics for Distance Learning with the IOLab ," *Phys. Teach.*, vol. 57, no. 6, 2019, doi: 10.1119/1.5124277.

[6] D. F. da Paixão, L. F. Gonçalves, and A. L. Alves, "Obtaining moments of inertia using rotation sensor and filming with cellphone," *Revista Brasileira de Ensino de Fisica*, vol. 46, 2024, doi: 10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0218.

[7] S. Z. Gebrehiwot, L. Espinosa Leal, J. N. Eickhoff, and L. Rechenberg, "The influence of stiffener geometry on flexural properties of 3D printed polylactic acid (PLA) beams," *Progress in Additive Manufacturing*, vol. 6, no. 1, 2021, doi: 10.1007/s40964-020-00146-2.

[8] P. Fellipe Martins Pires and T. dos Santos, "Cálculo numérico de propriedades de área de vigas compuestas." Even3, Nov. 2019. doi: 10.29327/2cab2019.224817.

[9] M. Alexandra Paguay Ambi, "Guía didáctica de prácticas de laboratorio para el aprendizaje de Movimiento Rotacional," Riobamba, Oct. 2023.

[10] J. Paulo, C. Barbosa, P. Augusto, and L. Freitas, "Desenvolvimento de software educacional para cálculo do momento de inércia de área para perfis estruturais. development of educational software to calculate the moment of inertia of area for structural profiles." Jan. 2023, Accessed: Jan. 21, 2025. [Online]. Available: https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/20960

[11] B. F. Adolfo, "'La aplicación de la teoría de timoshenko al método de área - momento, mejora la exactitud de la curva elástica en vigas isostáticas' tesis" *Repositorio institucional – UNAC*, 2019.

[12] J. Prado-Morales, J. P. Molina, and C. Romo-Fuentes, "Determinación del centro de masa y los momentos de inercia principales de un nanosatélite CubeSat 3U," Oct. 2017. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/372854878

[13] Ada Rocio Samaniego Pantigoso, "Análisis de artículos periodísticos de diarios impresos y digitales para desarrollar el pensamiento crítico y la toma de decisiones en asuntos públicos," lima, Sep. 2018.

[14] Miranda Espinoza, “ABP como estrategia educativa para el aprendizaje práctico de los estudiantes,” 2022. Accessed: Jan. 19, 2025. [Online]. Available: http://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/2772

[15] Y. Torres-pérez and J. E. Martinez Rincón, “Aplicación de la teoría de vibraciones mecánicas para el diseño de bancos de prueba que permitan medir experimentalmente el momento de inercia de un cuerpo,” *XXV Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, 2019.

[16] D. Coverdale Rangel Velasco and F. Puglia, “Influência do momento polar de inércia no projeto mecânico: como a geometria pode afetar na resistência dos materiais,” in *Anais do Congresso Internacional de Engenharia Mecânica e Industrial*, Even3, 2023. doi: 10.29327/aconemi.412593.

[17] F. P. Pimbo Palate, “Análisis estructural del desempeño sísmico del edificio de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica mediante la medición de vibraciones,” Mar. 2021. Accessed: Jan. 20, 2025. [Online]. Available: https://repositorio.uta.edu.ec/items/8f1fe545-0755-440e-8865-acf4e1ca1210

[18] Ferdinand P. Beer, JR. E. Russell Johnston, David F. Mazurek, and Elliot R. Eisenberg, “Mecánica Vectorial para ingenieros Estática,” 2010.

[19] R. Dorado Saucedo and B. Ugarte Lucuy, “Desarrollo de programa computacional para la verificación de corte por punzonamiento en losas de hormigón armado,” *Revista Ingeniería*, vol. 6, no. 14, 2022, doi: 10.33996/revistaingenieria.v6i14.92.

[20] R. N. de C. Pedro Henrique Castro Pereira1, “Desenvolvimento de uma planilha para o cálculo de deslocamentos em vigas submetidas a carregamentos estáticos ultilizando o método das forças virtuais.,” 2021, Accessed: Jan. 25, 2025. [Online]. Available: https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/a2bacf70-6c2b-4182-8b9e-220c30d4af21/content

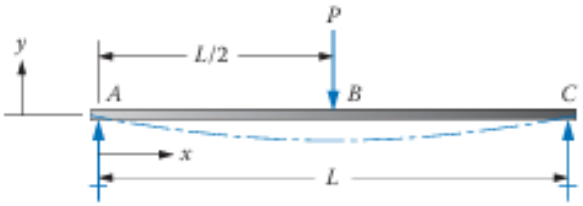
[21] L. Reyes-Ruiz and F. Carmona Alvarado, “La investigación documental para la comprensión ontológica del objeto de estudio,” *Universidad Simón Bolívar*, 2020.

[22] Jiménez Goyeneche Rubén Fernay and Niño Jaimes Fredy Augusto, “Diseño y construcción de un banco de laboratorio para medir esfuerzos normales y deflexiones en vigas,” 2019. Accessed: Jul. 20, 2026. [Online]. Available: https://repository.upb.edu.co/server/api/core/bitstreams/b9b68c5b-dcbc-4313-b467-d3c54057fe1d/content

ANEXOS

ANEXO A – Formulas

(a)

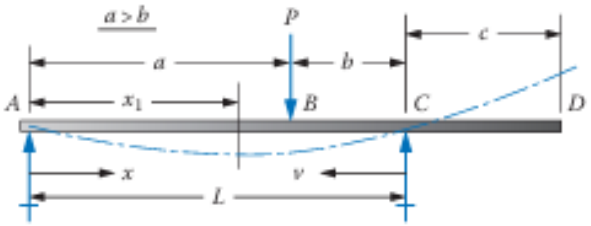


$$y_b = y_{max} = \frac{-PL^3}{48EI} \text{ at the center}$$

Between A and B:

$$y = \frac{-Px}{48EI}\left(3L^2 - 4x^2\right)$$

(b)



$$y_{max} = \frac{Pab(L+b)\sqrt{3a(L+b)}}{27EIL}$$

at $x_1 = \sqrt{a(L+b)/3}$

$$y_B = \frac{-Pa^2b^2}{3EIL} \text{ at the load}$$

Between A and B (the longer segment):

$$y = \frac{-Pbx}{6EIL}\left(L^2 - b^2 - x^2\right)$$

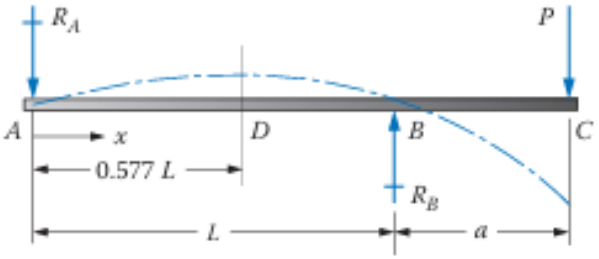
Between B and C (the shorter segment):

$$y = \frac{-Pav}{6EIL}\left(L^2 - v^2 - a^2\right)$$

At the end of the overhang at D:

$$y_D = \frac{Pabc}{6EIL}(L+a)$$

(g)



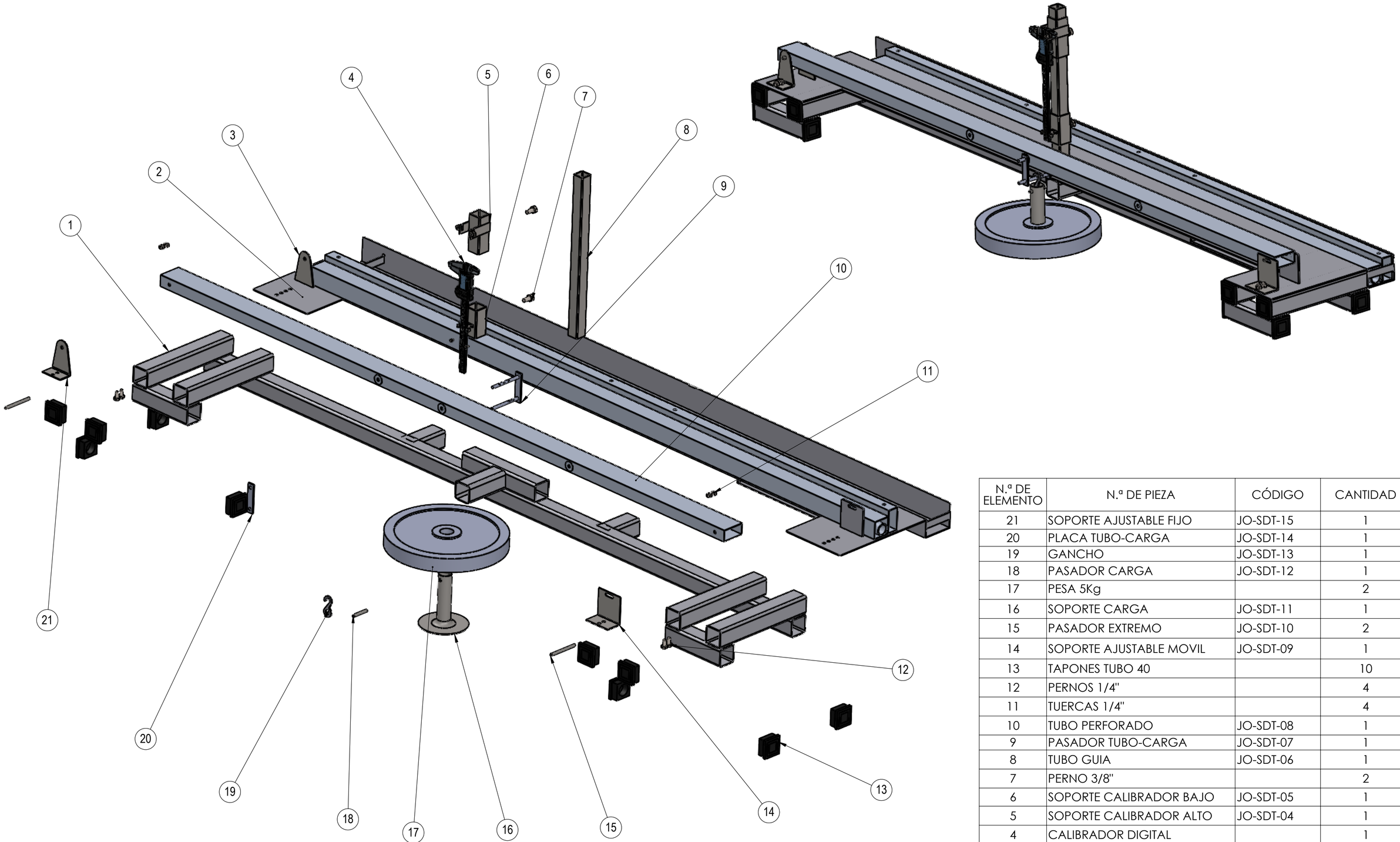
At C at end of the overhang:

$$y_C = \frac{-Pa^2}{3EI}(L+a)$$

At D, maximum upward deflection:

$$y_D = 0.06415\frac{PaL^2}{EI}$$

ANEXO B - Planos del sistema



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CÓDIGO	CANTIDAD
21	SOPORTE AJUSTABLE FIJO	JO-SDT-15	1
20	PLACA TUBO-CARGA	JO-SDT-14	1
19	GANCHO	JO-SDT-13	1
18	PASADOR CARGA	JO-SDT-12	1
17	PESA 5Kg		2
16	SOPORTE CARGA	JO-SDT-11	1
15	PASADOR EXTREMO	JO-SDT-10	2
14	SOPORTE AJUSTABLE MOVIL	JO-SDT-09	1
13	TAPONES TUBO 40		10
12	PERNOS 1/4"		4
11	TUERCAS 1/4"		4
10	TUBO PERFORADO	JO-SDT-08	1
9	PASADOR TUBO-CARGA	JO-SDT-07	1
8	TUBO GUIA	JO-SDT-06	1
7	PERNO 3/8"		2
6	SOPORTE CALIBRADOR BAJO	JO-SDT-05	1
5	SOPORTE CALIBRADOR ALTO	JO-SDT-04	1
4	CALIBRADOR DIGITAL		1
3	SOPORTE FIJO	JO-SDT-03	1
2	PLANCHA CUBIERTA	JO-SDT-02	1
1	ESTRUCTURA	JO-SDT-01	1

FICA CIME

PROYECTO: SISTEMA DIDACTICO

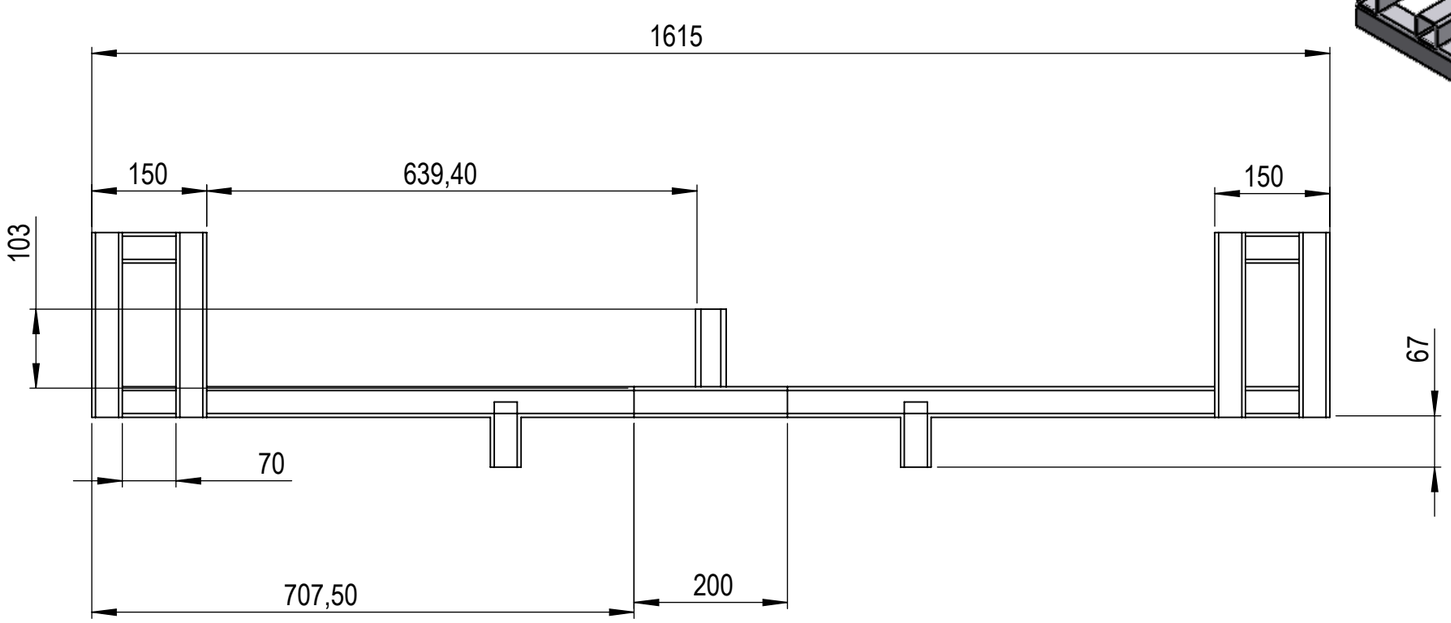
CONJUNTO: ENSAMBLE COMPLETO

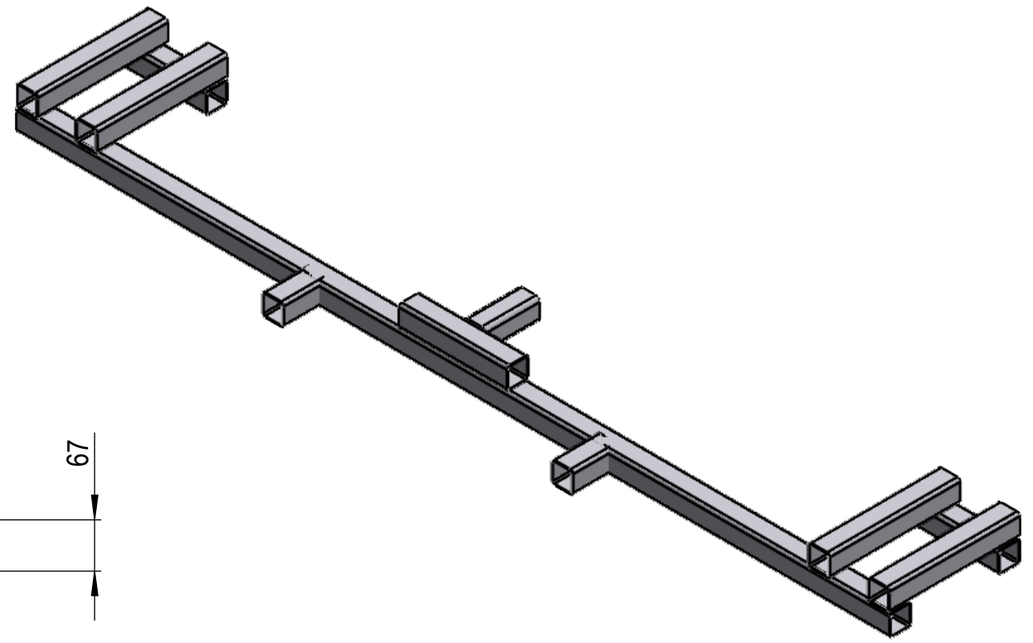
CÓDIGO: JO-SDT-00

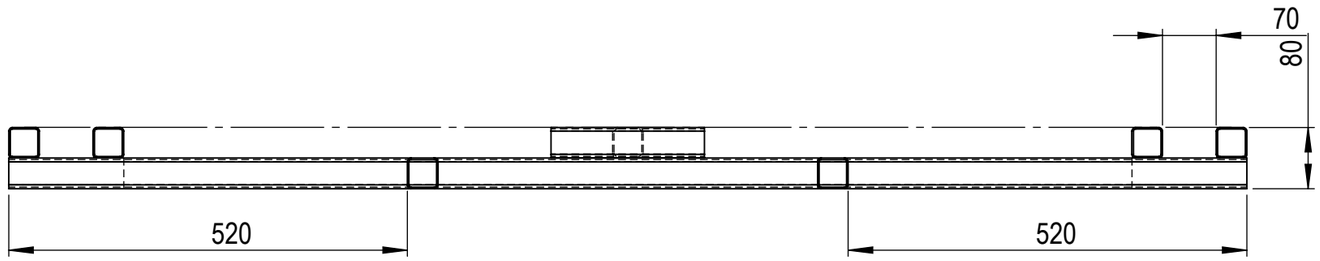
ESCALA 1:5

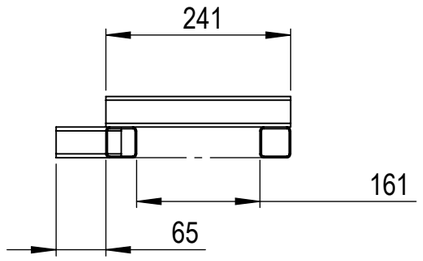
PESO	21958.60 g	DISEÑÓ	OLMEDO J.	15/1/2026
LARGO	1615 mm	DIBUJÓ	OLMEDO J.	15/1/2026
ANCHO	310 mm	REVISÓ	ING. CIACCIA M.	16/1/2026
ALTO	432 mm	APROBÓ	ING. CIACCIA M.	16/1/2026

HOJA 1/1 A2





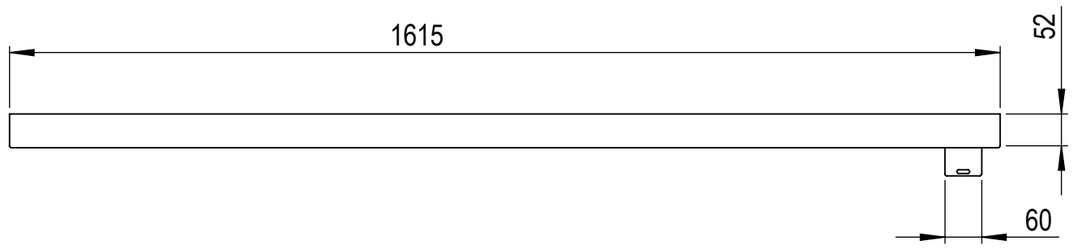


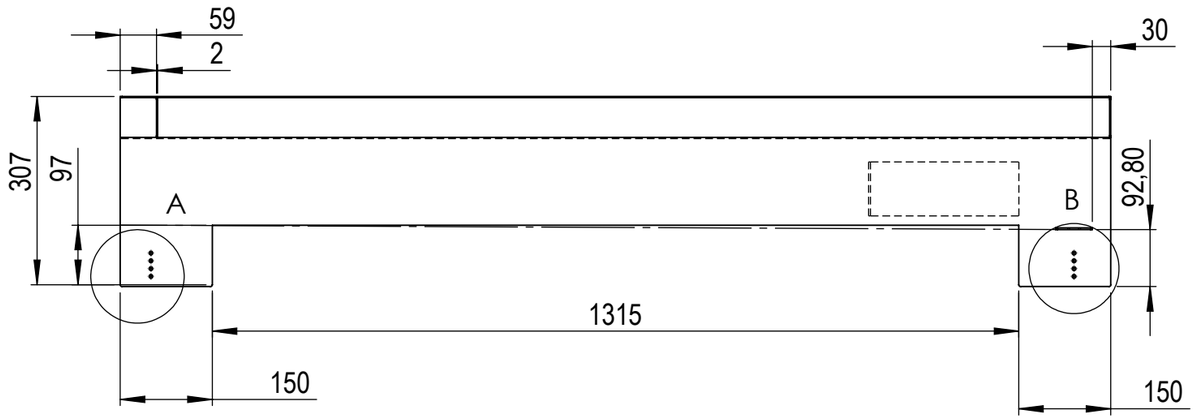


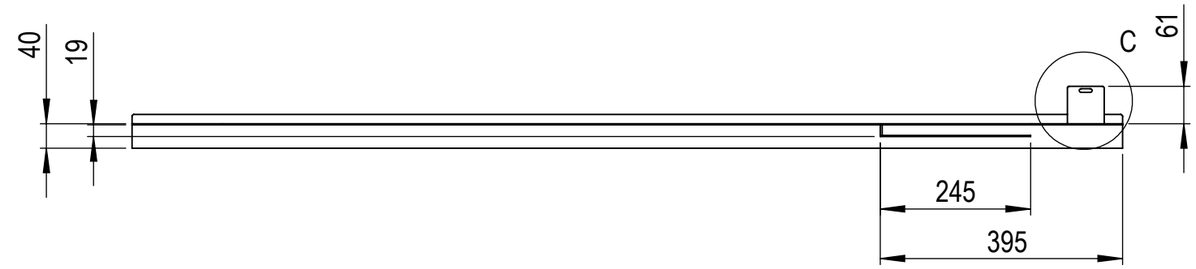
TUBO CUADRADO DE 40 X 2 MM

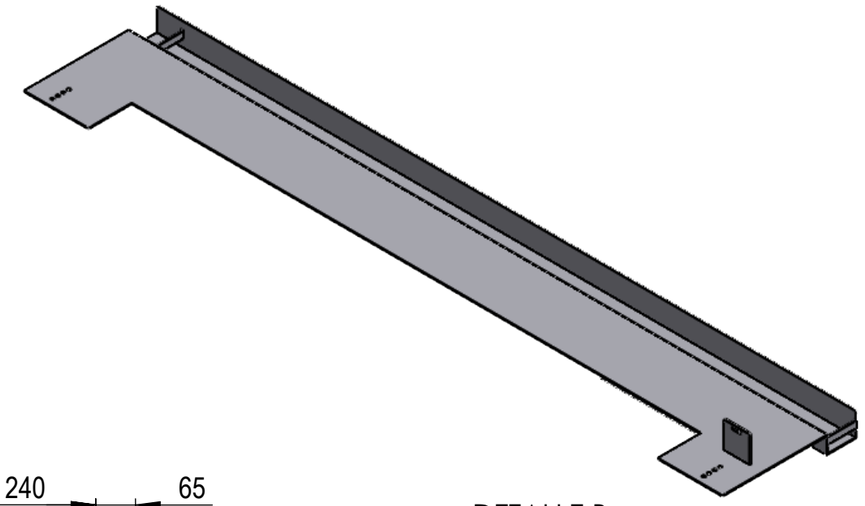
UTN	CIME	PROYECTO: SISTEMA DIDACTICO				ESCALA: 1:8
		PARTE: ESTRUCTURA				
		CÓDIGO: JO-SDT-01				TOLERANCIA: ± 1
		MATERIAL:	ACERO	DISEÑÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026
		TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026
		RECUBRIMIENTO:	PINTURA	REVISÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026
		CANTIDAD:	1 mm	APROBÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026

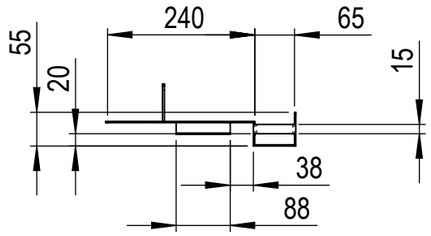
HOJA: 1/1 A3



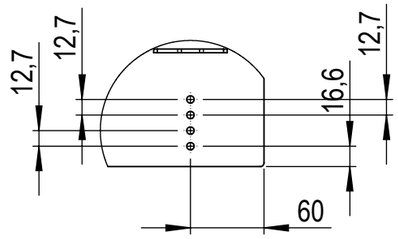






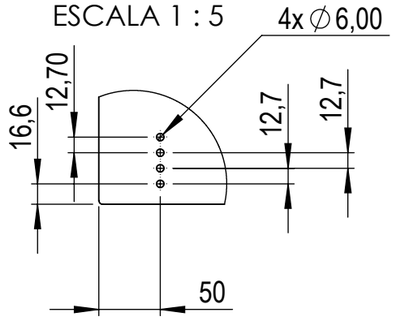


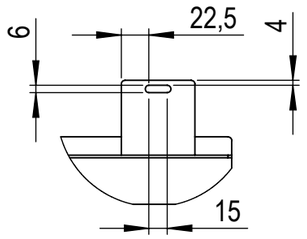
DETALLE B
ESCALA 1 : 5



DETALLE C
ESCALA 1 : 5

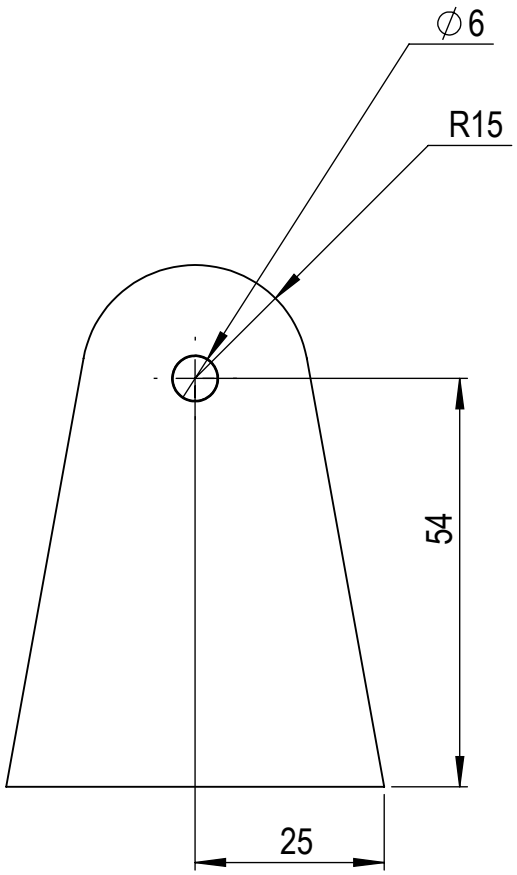
DETALLE A
ESCALA 1 : 5

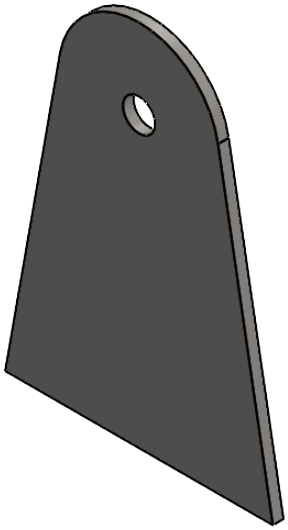


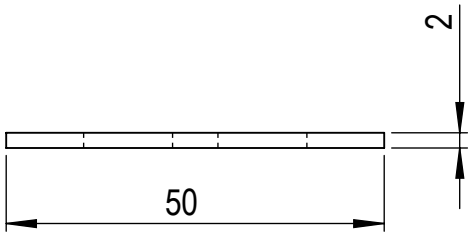


PLANCHA DE 2MM

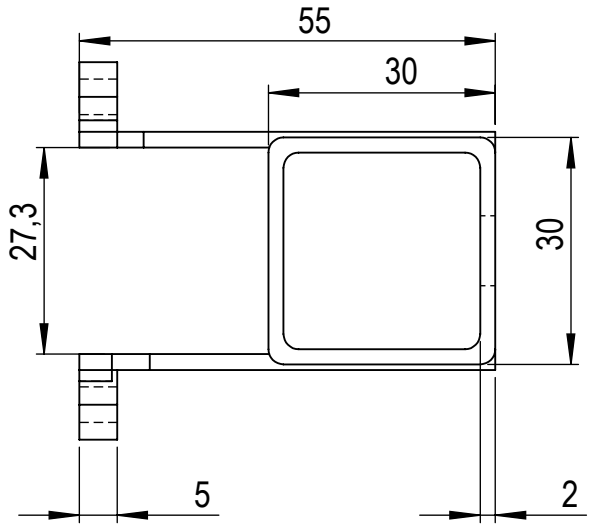
UTN	CIME	PROYECTO: SISTEMA DIDACTICO				ESCALA: 1:10	
		PARTE: PLANCHA CUBIERTA					
		CÓDIGO: JO-SDT-02				TOLERANCIA: ± 1	
		MATERIAL:	ACERO	DISEÑÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	HOJA: 1/1 A3
		TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	
		RECUBRIMIENTO:	PINTURA	REVISÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	
		CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	

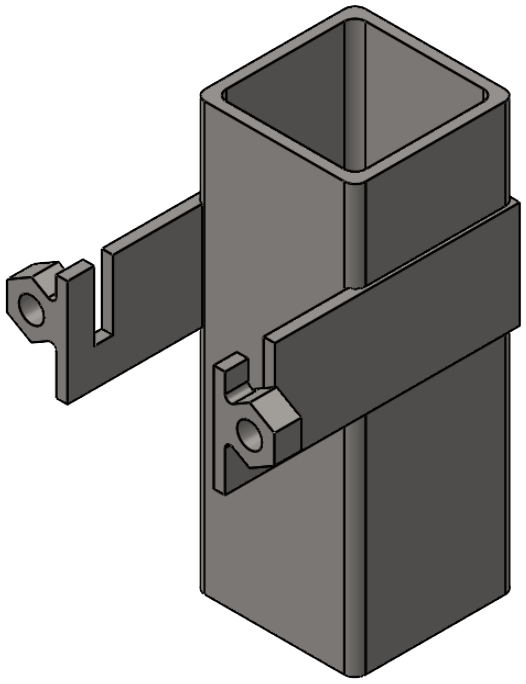


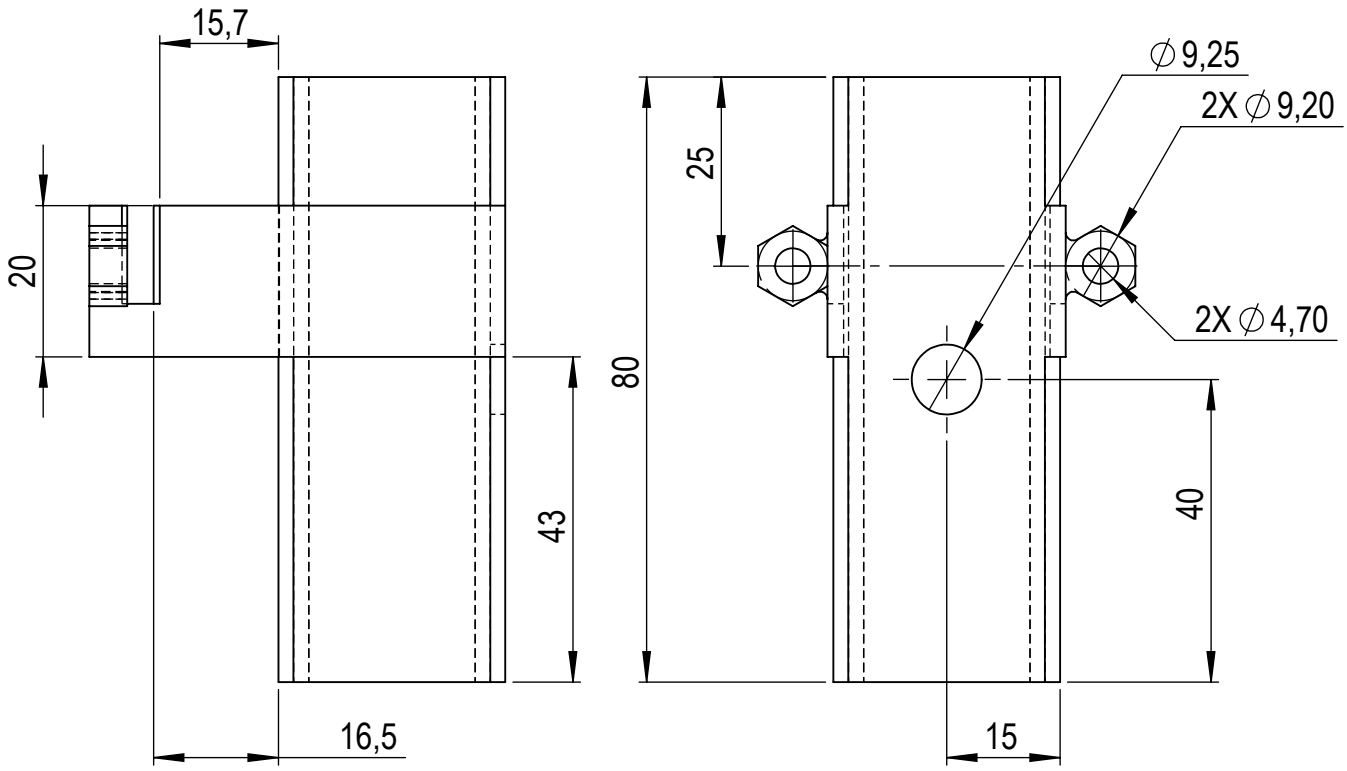




		PROYECTO: SISTEMA DIDACTICO				ESCALA: 1:1	
		PARTE: SOPORTE FIJO					
		CÓDIGO: JO-SDT-03				TOLERANCIA: ± 0,2	
		MATERIAL:	ACERO	DISEÑÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	HOJA: 1/1 A4
		TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	
UTN	CIME	RECUBRIMIENTO:	PINTURA	REVISÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	
		CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	



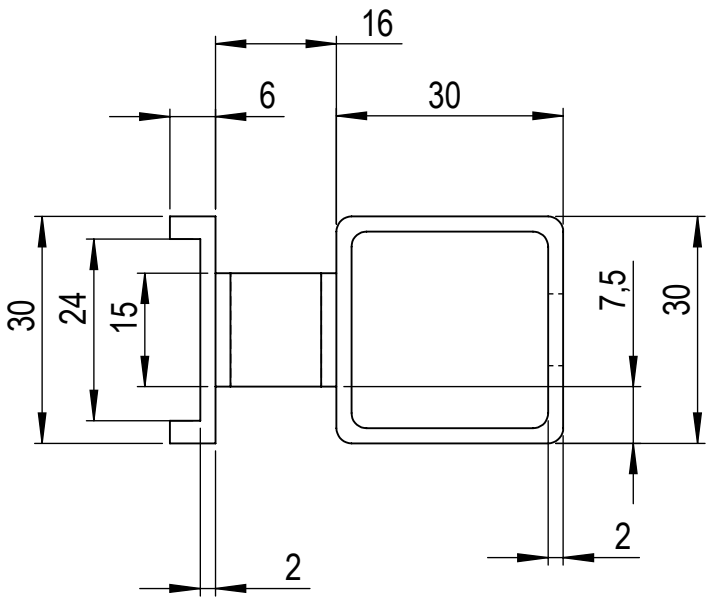


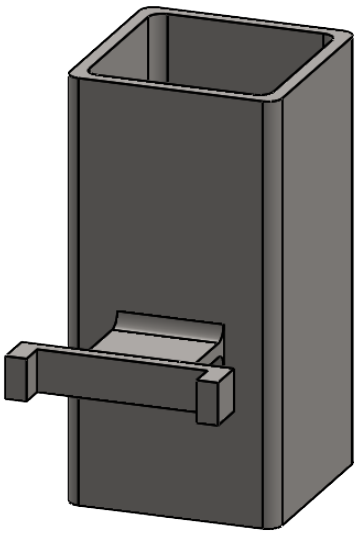


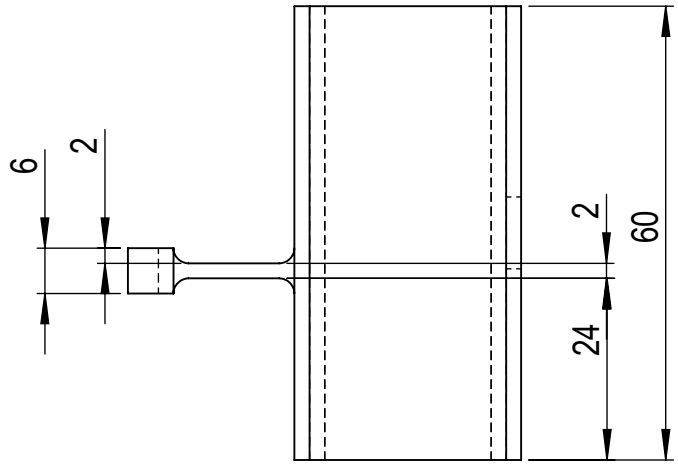
TUBO CUADRADO DE 30 X 2MM

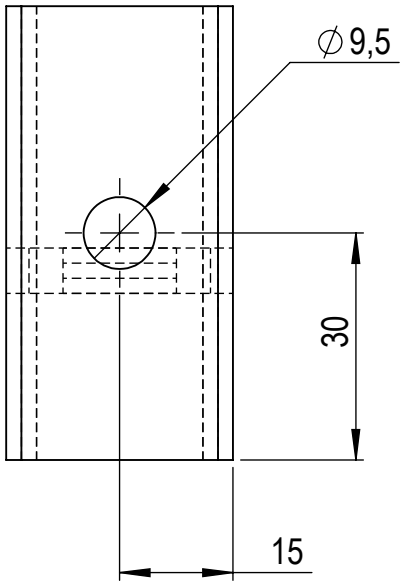
UTN	CIME	PROYECTO: SISTEMA DIDACTICO				ESCALA: 1:1
		PARTE: SOPORTE CALIBRADOR ALTO				
		CÓDIGO: JO-SDT-04				TOLERANCIA: ± 0,2
		MATERIAL:	ACERO	DISEÑÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026
		TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026
		RECUBRIMIENTO:	PINTURA	REVISÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026
		CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026

HOJA: 1/1 A4





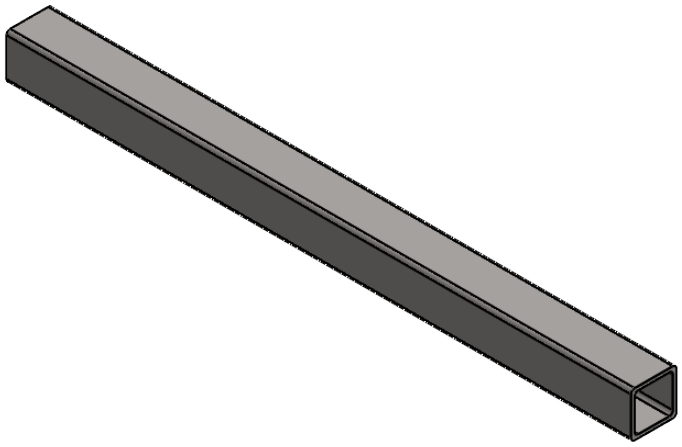


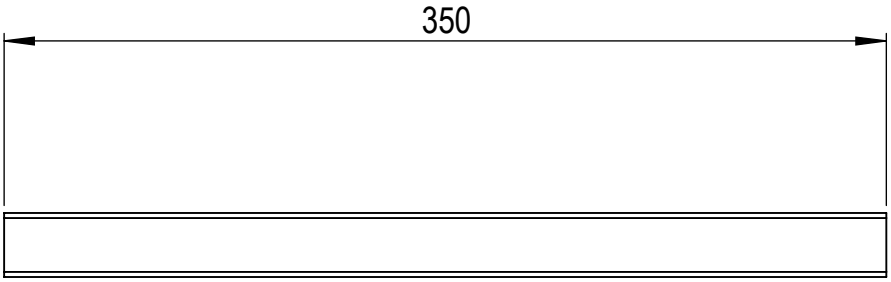


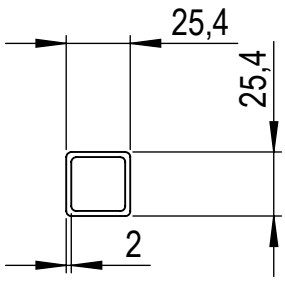
TUBO CUADRADO DE 30 X 2 MM

UTN	CIME	PROYECTO: SISTEMA DIDACTICO				ESCALA: 1:1
		PARTE: SOPORTE CALIBRADOR BAJO				
		CÓDIGO: JO-SDT-05				TOLERANCIA: ± 0,2
		MATERIAL:	ACERO	DISEÑÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026
		TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026
		RECUBRIMIENTO:	PINTURA	REVISÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026
		CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026

HOJA: 1/1 A4

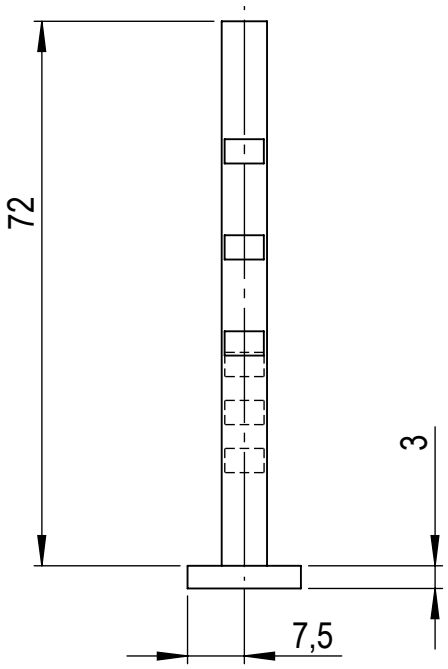


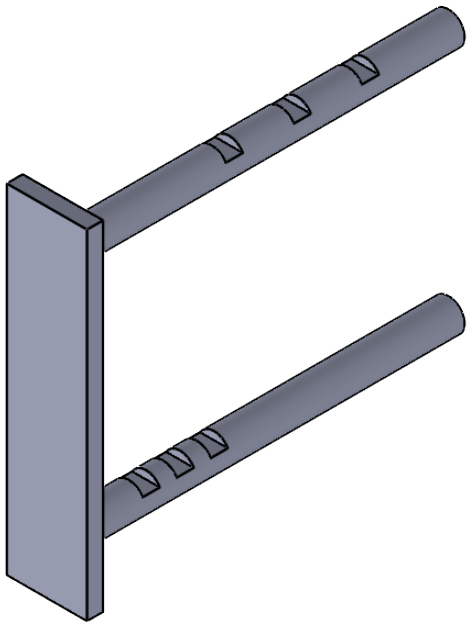


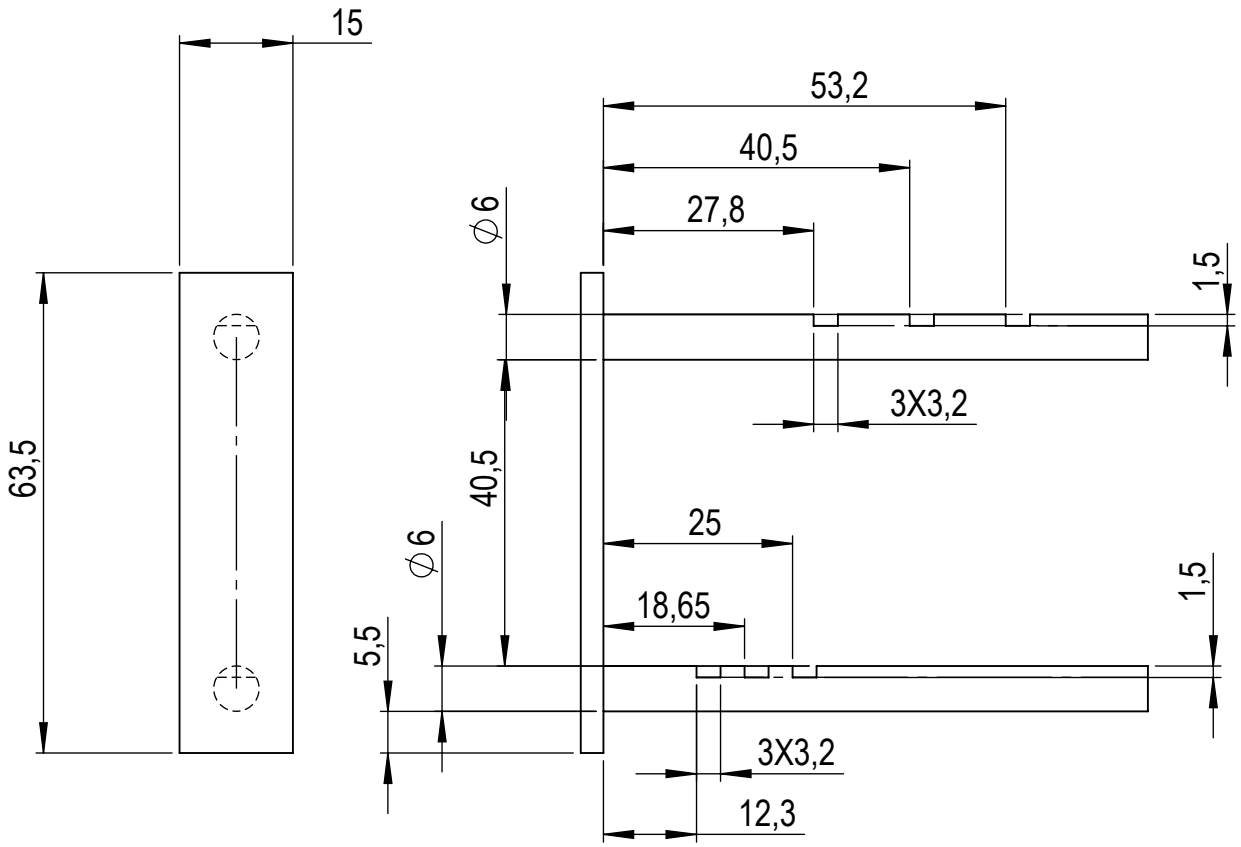


TUBO CUADRADO DE 25.4 X 2 MM

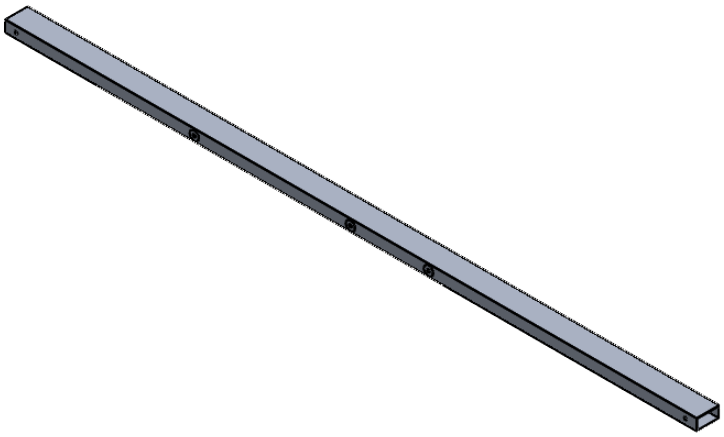
UTN	CIME	PROYECTO: SISTEMA DIDACTICO				ESCALA: 1:3	
		PARTE: TUBO GUIA					
		CÓDIGO: JO-SDT-06				TOLERANCIA: ± 1	
		MATERIAL:	ACERO	DISEÑÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	HOJA: 1/1 A4
		TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	
		RECUBRIMIENTO:	PINTURA	REVISÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	
		CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	

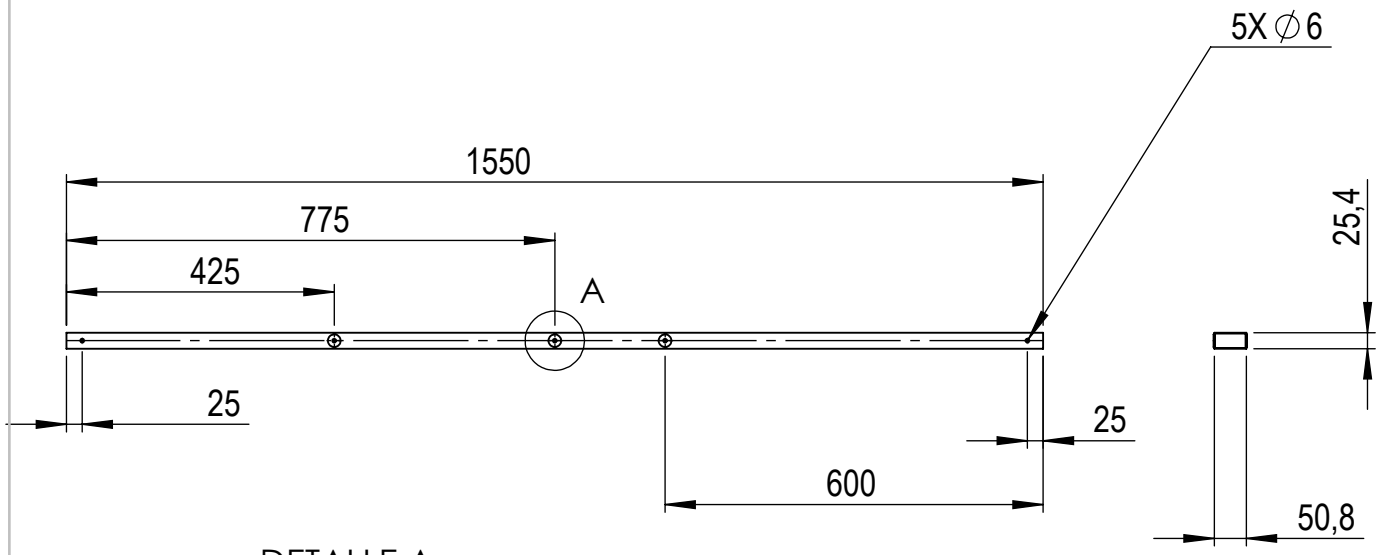


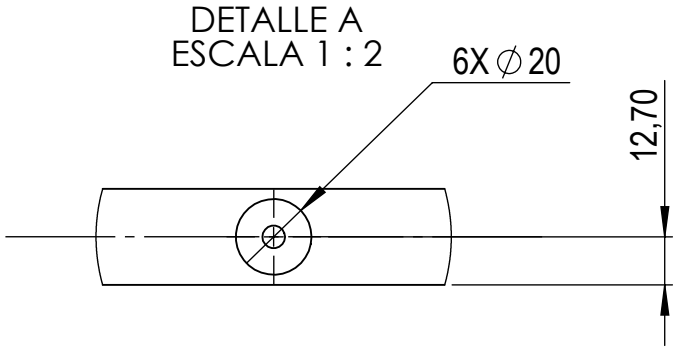




UTN	CIME	PROYECTO: SISTEMA DIDACTICO				ESCALA: 1:1	
		PARTE: PASADOR TUBO-CARGA					
		CÓDIGO: JO-SDT-07				TOLERANCIA: ± 0,2	
		MATERIAL:	ACERO	DISEÑÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	HOJA: 1/1 A4
		TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	
		RECUBRIMIENTO:	PINTURA	REVISÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	
		CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	



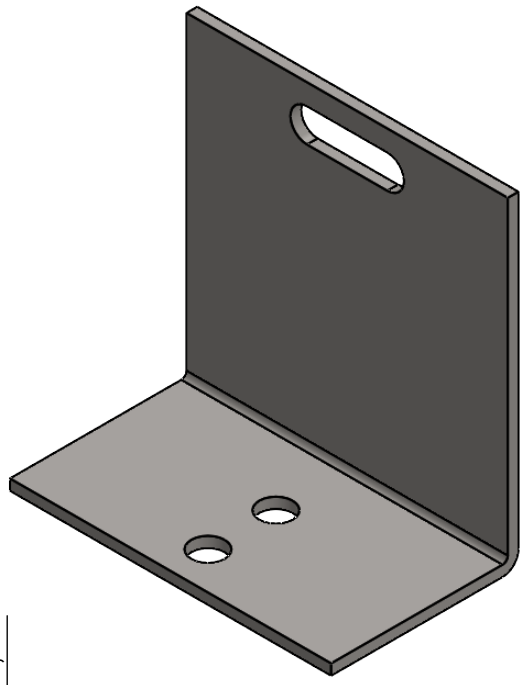


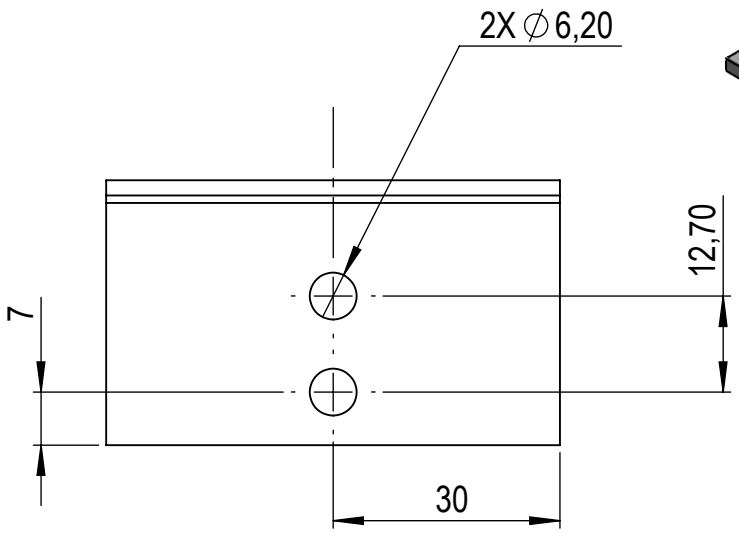


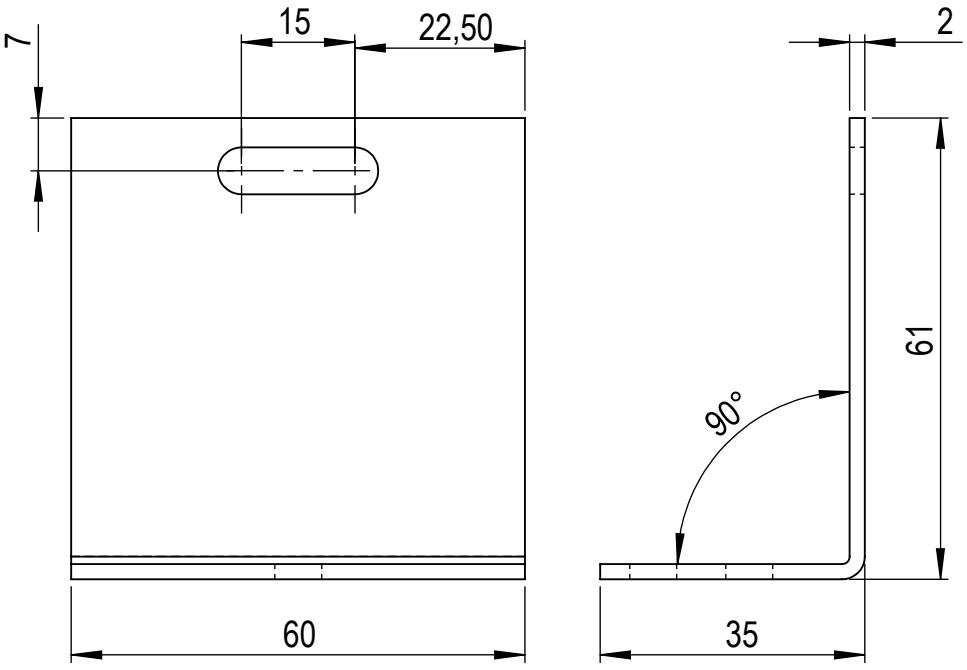
TUBO CIRCULAR 25.4 X 1.9MM
TUBO CUADRADO DE 38.1 X 1.2MM
TUBO RECTANGULAR (HORIZONTAL) DE 25.4 X 50.8 X 1.2MM
TUBO RECTANGULAR (VERTICAL) DE 25.4 X 50.8 X 1.2MM

NOTA: CADA TUBO DE EXPERIMENTACION TIENEN LAS MISMAS PERFORACIONES
CADA RODELA ESTA UBICADA EN LOS PUNTOS DE CARGA

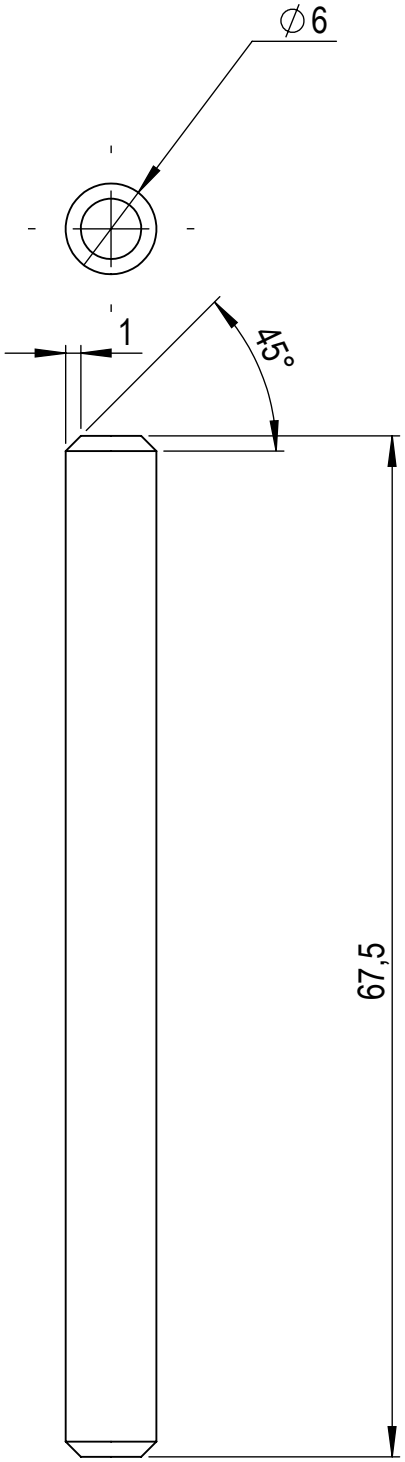
		PROYECTO: SISTEMA DIDACTICO				ESCALA: 1:12	
		PARTE: TUBO PERFORADO					
		CÓDIGO: JO-SDT-08				TOLERANCIA: ± 0,2	
		MATERIAL:	ALUMINIO	DISEÑÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	HOJA: 1/1 A4
		TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	
UTN	CIME	RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	ING. CIACCIA M.		
		CANTIDAD:	4	APROBÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	





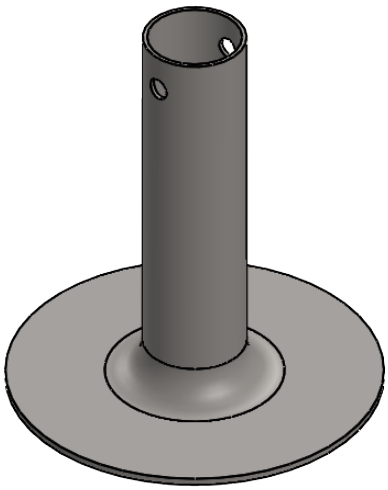


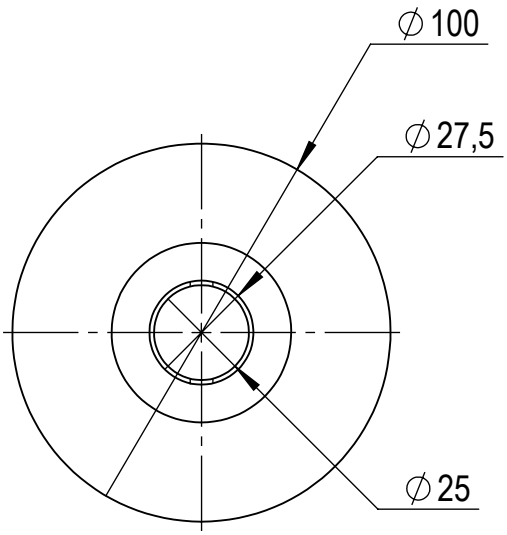
UTN	CIME	PROYECTO: SISTEMA DIDACTICO				ESCALA: 1:1	
		PARTE: SOPORTE AJUSTABLE MOVIL					
		CÓDIGO: JO-SDT-09				TOLERANCIA: ± 0,2	
		MATERIAL:	ACERO	DISEÑÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	HOJA: 1/1 A4
		TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	
		RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	
		CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	

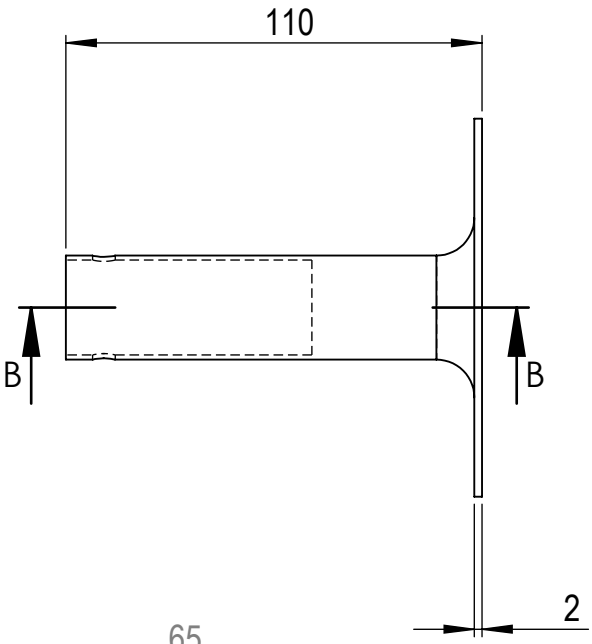


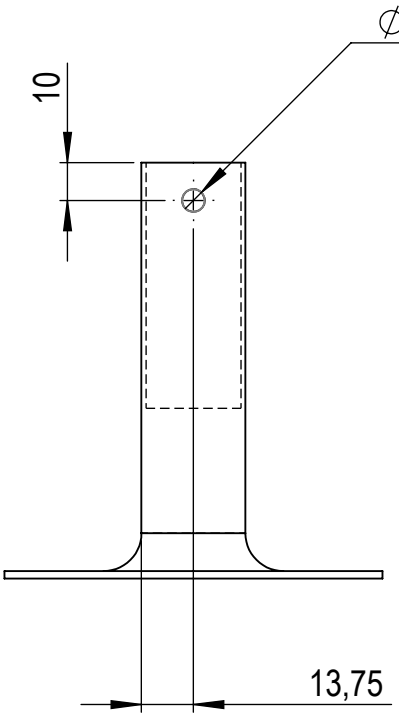


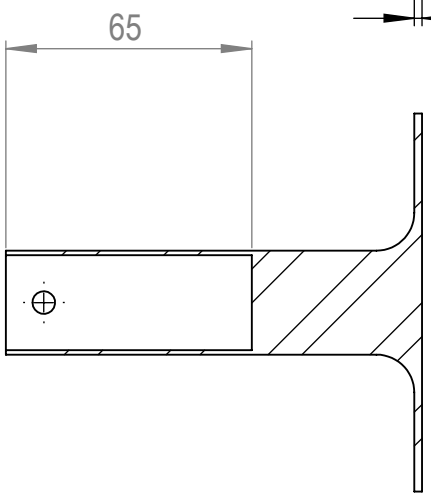
UTN	CIME	PROYECTO: SISTEMA DIDACTICO				ESCALA: 2:1	
		PARTE: PASADOR EXTREMO					
		CÓDIGO: JO-SDT-10				TOLERANCIA: ± 0,2	
		MATERIAL:	ACERO	DISEÑÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	HOJA: 1/1 A4
		TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	
		RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	
		CANTIDAD:	2	APROBÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	





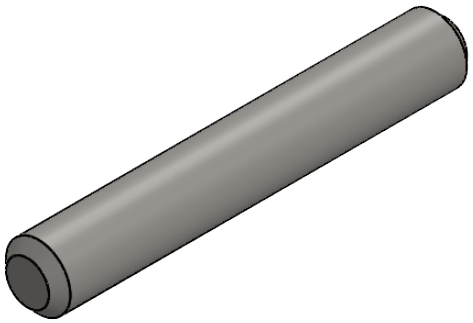


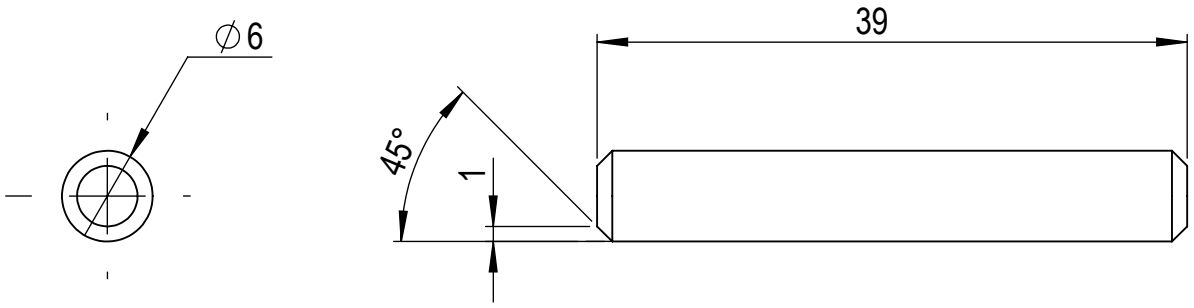




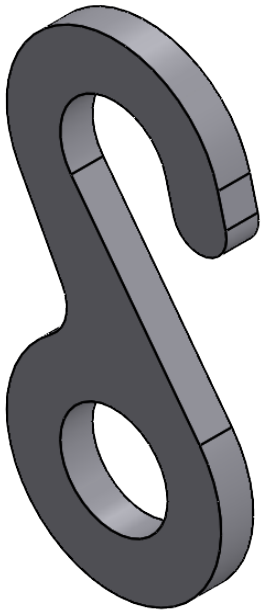
SECCIÓN B-B

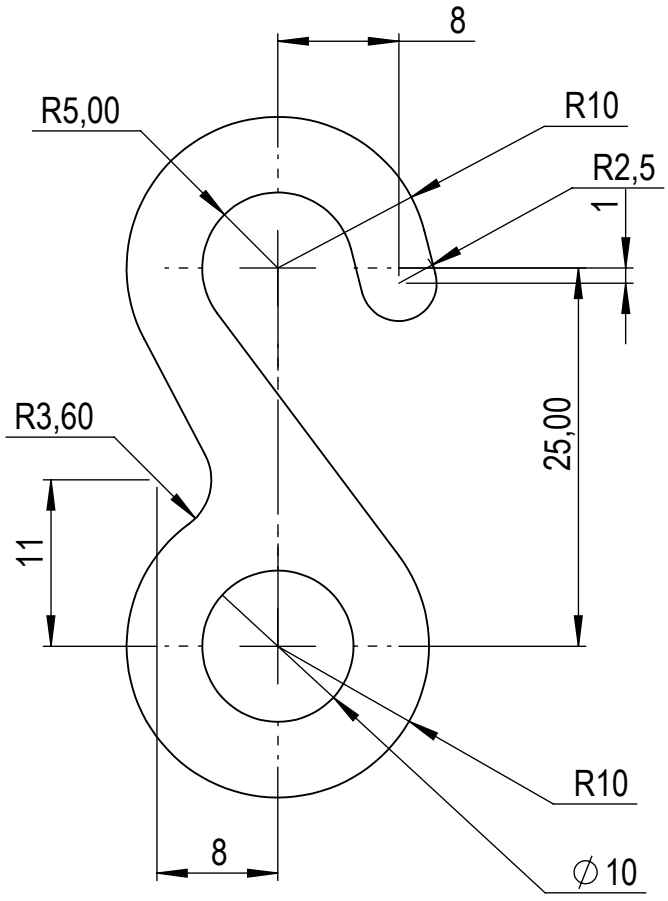
UTN	CIME	PROYECTO: SISTEMA DIDACTICO				ESCALA: 1:2
		PARTE: SOPORTE CARGA				
		CÓDIGO: JO-SDT-11				TOLERANCIA: ± 0,2
		MATERIAL:	ACERO	DISEÑÓ:	OLMEDO J. 15/1/2026	HOJA: 1/1 A4
		TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	OLMEDO J. 15/1/2026	
		RECUBRIMIENTO:	PINTURA	REVISÓ:	ING. CIACCIA M. 16/1/2026	
		CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. CIACCIA M. 16/1/2026	

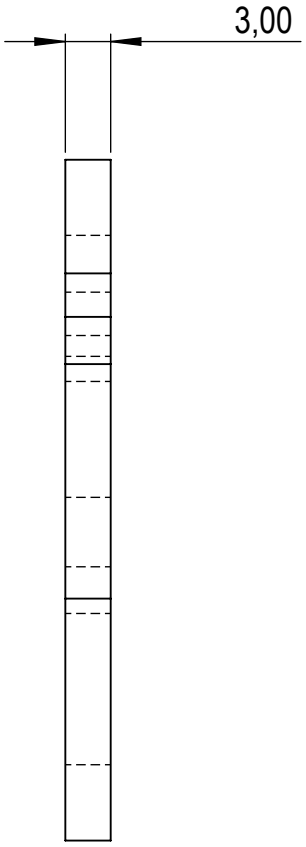




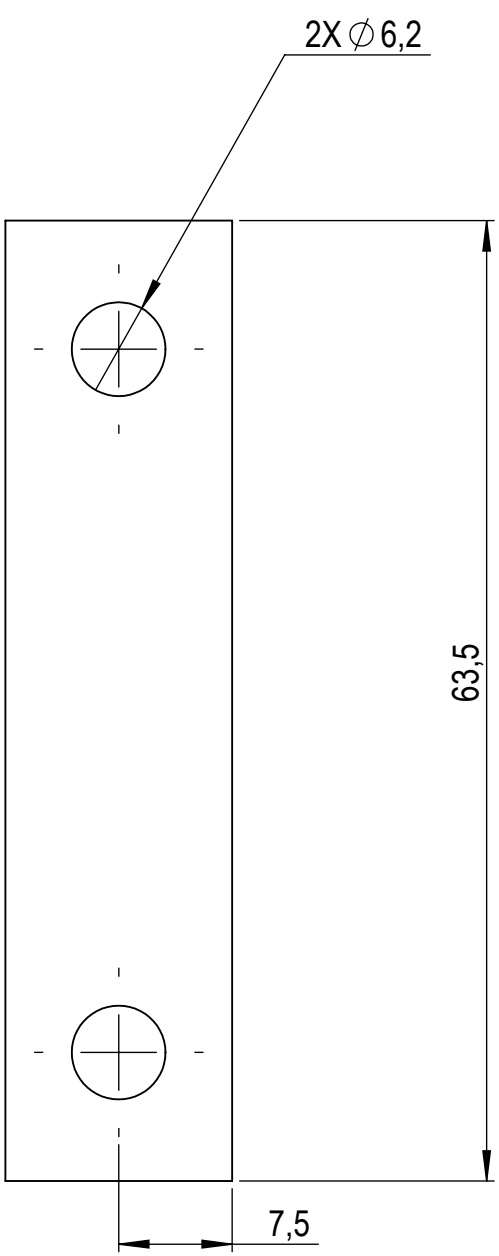
UTN	CIME	PROYECTO: SISTEMA DIDACTICO				ESCALA: 2:1	
		PARTE: PASADOR CARGA					
		CÓDIGO: JO-SDT-12				TOLERANCIA: ± 0,2	
		MATERIAL:	ACERO	DISEÑÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	HOJA: 1/1 A4
		TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	
		RECUBRIMIENTO:	PINTURA	REVISÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	
		CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	

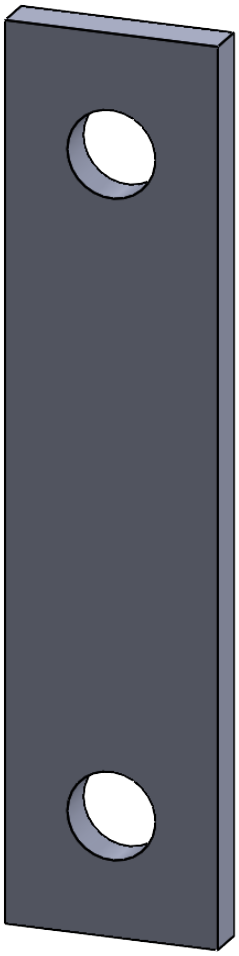


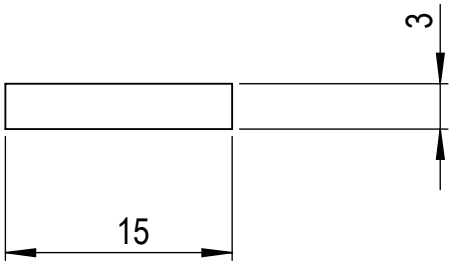




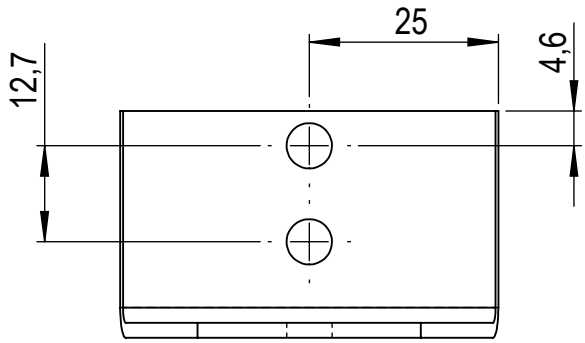
UTN	CIME	PROYECTO: SISTEMA DIDACTICO				ESCALA: 2:1	
		PARTE: GANCHO					
		CÓDIGO: JO-SDT-13				TOLERANCIA: ± 0,2	
		MATERIAL:	ACERO	DISEÑÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	HOJA: 1/1 A4
		TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	
		RECUBRIMIENTO:	PINTURA	REVISÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	
		CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	

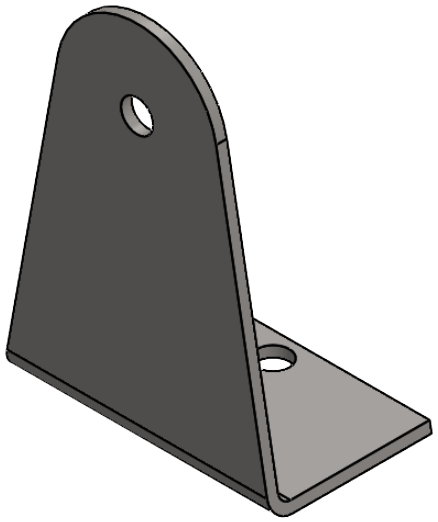


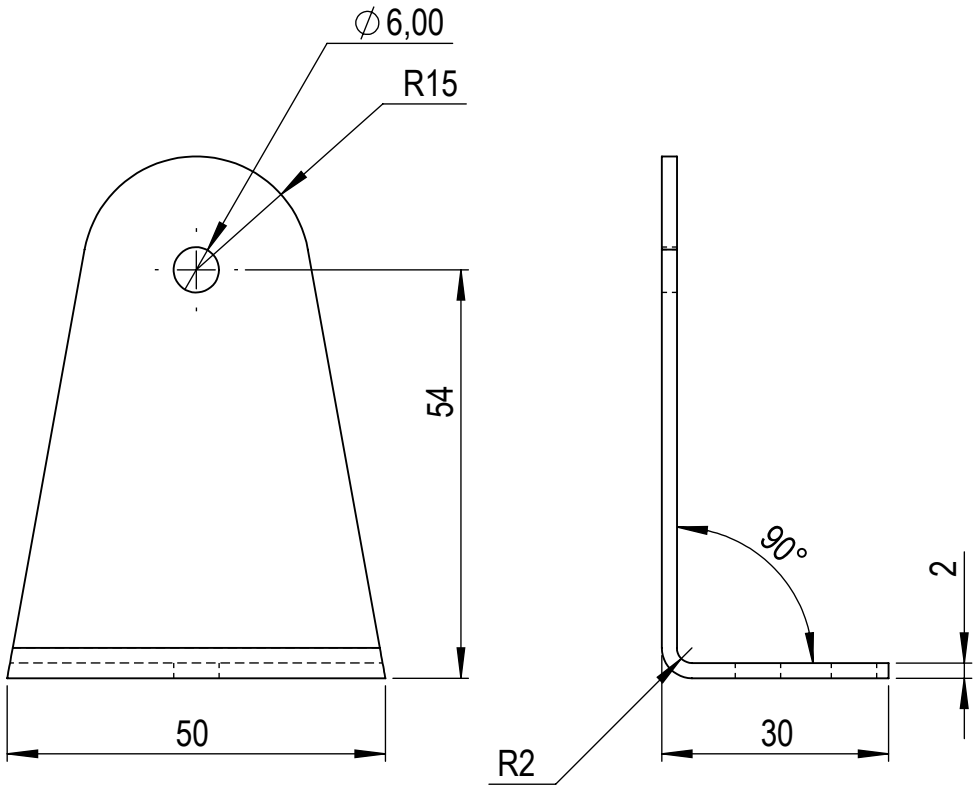




	PROYECTO: SISTEMA DIDACTICO				ESCALA: 2:1	
	PARTE: PLACA TUBO-CARGA					
	CÓDIGO: JO-SDT-14				TOLERANCIA: ± 0,2	
	MATERIAL:	ACERO	DISEÑÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	HOJA: 1/1
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	A4
UTN CIME	RECUBRIMIENTO:	PINTURA	REVISÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	
	CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	







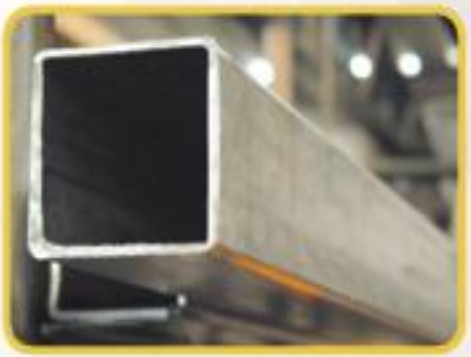
UTN	CIME	PROYECTO: SISTEMA DIDACTICO				ESCALA: 1:1	
		PARTE: SOPORTE AJUSTABLE FIJO					
		CÓDIGO: JO-SDT-15				TOLERANCIA: ± 0,2	
		MATERIAL:	ACERO	DISEÑÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	HOJA: 1/1 A4
		TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	OLMEDO J.	15/1/2026	
		RECUBRIMIENTO:	PINTURA	REVISÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	
		CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. CIACCIA M.	16/1/2026	

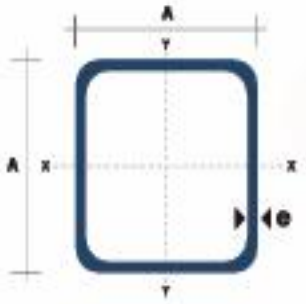
ANEXO C -Especificaciones de los materiales

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





Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm2	I cm4	W cm3	i cm3
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	1.06	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	1.76	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	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.05	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

PERFILES LAMINADOS

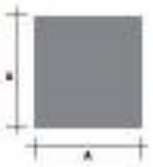


Especificaciones Generales:

Calidad:	ASTM A36
Largo Normal:	6.00m
Acabado:	Acero negro

*Otros calidades, otros largos y otros acabados previa consulta

VARILLA CUADRADA LISA





Denominación	Lado A	Peso kg/m	Peso kg/6m	Área cm2
VCU 5/16	8.0	0.57	3.41	0.72
VCU 3/8	9.0	0.64	3.83	0.81
VCU 1/2	11.0	0.95	5.70	1.21
VCU 5/8	15.0	1.77	10.60	2.25
VCU 3/4	18.0	2.54	15.28	3.24
VCU 24,5	24.5	4.72	28.30	6.00

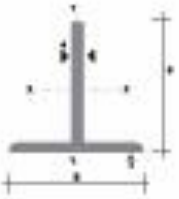
VARILLA REDONDA LISA





Denominación	Diámetro D	Peso kg/m	Peso kg/6m	Área cm2
VRL 5,5	5.5	0.34	2.04	0.43
VRL 8	8.0	0.60	2.66	0.63
VRL 10	10.0	0.62	3.70	0.79
VRL 12	13.0	0.89	5.33	1.13
VRL 15	15.0	1.39	8.32	1.77
VRL 18	18.0	2.00	11.99	2.55
VRL 22	22.0	2.88	17.90	3.80
VRL 24,5	24.0	3.70	22.20	4.71

TEES

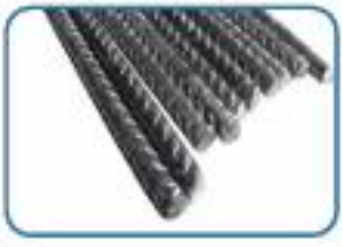




Denominación	Dimensiones mm A	B	e	Peso kg/m	kg/6m	Área cm2
TEE 20X3	20	20	3	0.88	5.40	1.15
TEE 25X3	25	25	3	1.19	7.14	1.52
TEE 30X3	30	30	3	1.41	8.46	1.80

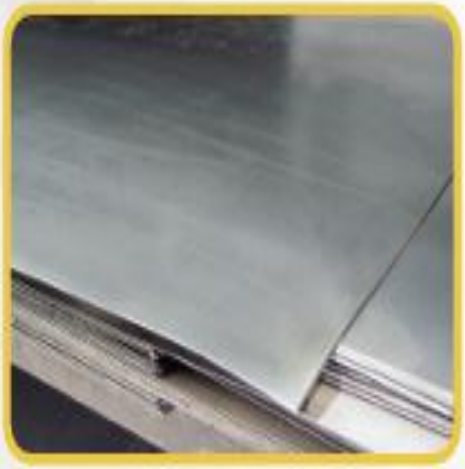
VARILLA COORRUGADA





8	0.395	5.00	0.62	0.10		
10	0.617	7.00	0.90	0.80		
12	0.888	8.40	0.46	4.76		
14	1.208	9.80	0.87	0.80		
16	1.578	11.20	0.72	0.80		
18	1.998	12.60	0.86	7.60		
20	2.466	14.00	1.01	7.80		
22	2.984	15.40	1.11	8.80		
25	3.853	17.50	1.36	9.80		
28	4.834	19.60	1.80	11.80		
32	6.313	22.40	1.84	12.60		

PLANCHAS
LAMINADAS AL FRÍO



Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 115
Calidad:	JIS 3141 SPCC SD
Espesores:	0,45mm a 1,90mm
Rollos:	X 1219mm
Planchas:	4 x 8 pies y medidas especiales
Acabado:	Acero negro

Calidad	Designación	Carbón	Manganeso	Fósforo	Azufre	Aluminio
Calidad Comercial	CS TIPO A	0,10	0,6	0,03	0,035	
	CS TIPO B	0,02 a 0,15	0,6	0,03	0,035	
	CS TIPO C	0,08	0,6	0,10	0,035	
Embutido leve	FS TIPO A	0,10	0,5	0,02	0,035	
	FS TIPO B	0,02 to 0,10	0,5	0,02	0,030	
Embutido profundo	DDS	0,06	0,5	0,02	0,025	0,01
	EDDS	0,02	0,4	0,02	0,020	0,01
Estructural SS Grd	30 (230)	0,20		0,040	0,040	
	37 (255)	0,20		0,10	0,040	
	40(275)	0,25		0,10	0,040	
	50(340)	0,40		0,20	0,040	
	50(340)	0,50		0,040	0,040	
	80 (550)	0,20		0,040	0,040	

EJES

ACERO DE TRANSMISIÓN

Especificaciones Generales:

Norma: AISI 1018

Descripción: Es un acero de cementación no aleado principalmente utilizado para la elaboración de piezas pequeñas, exigidos al desgaste y donde la dureza del núcleo no es muy importante.

Aplicaciones: Levas uniones, bujes, pines, pivotes, pernos grado 3.

Largo: 6 mts





COMPOSICIÓN QUÍMICA				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0 - 0,20	0 - 0,25	0 - 0,70	0 - 0,04	0 - 05

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm^2)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm^2)	Elongación % Min	DUREZA ROCKWELL B
410 - 520	235	20	143

DIMENSIONES
DIÁMETRO
3/8"
1/4"
5/8"
3/4"
7/8"
1"
1-1/4"
1-1/2"
1-3/4"
2"
2-1/4"
2-1/2"
2-3/4"
3"
3-1/2"
4"
4-1/2"
5"
6"

ANEXO D - Guías de los laboratorios.

GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

TEMA:	INFLUENCIA DEL MOMENTO DE INERCIA DE ÁREA	**PRÁCTICA:**	1
LABORATORIO:	Centro de Mecanizado	**SEMESTRE:**	Sep 2026- Feb 2026
DOCENTE ASIGNATURA:	Marco Ciaccia	**ASIGNATURA:**	Estática y simulación
TÉCNICO DOCENTE:	Marco Ciaccia	**NIVEL:**	2

Título de la práctica

Influencia del momento de inercia de área en la deflexión de vigas con diferentes perfiles.

Objetivos de la práctica

Realizar la medición de las dimensiones geométricas de los tubos utilizados en los ensayos experimentales.

Analizar el comportamiento mecánico de perfiles con distintas secciones transversales mediante la comparación de sus deflexiones.

Trabajo preparatorio

Responda las siguientes preguntas y presente en el informe correspondiente a la práctica.

1. ¿Qué tipos de apoyos se utilizan en las vigas?
2. ¿Qué reacciones produce un apoyo articulado?
3. ¿Qué reacciones produce un apoyo móvil o de rodillo?
4. ¿Qué es la fuerza cortante en una viga?
5. ¿Qué es el momento flector en una viga?
6. ¿Cuál es la diferencia entre una carga puntual y una carga distribuida?

7. ¿Qué unidades se utilizan para expresar fuerza y momento en el Sistema Internacional?

Materiales y Equipos

Tabla 3.1

Materiales y equipos para la práctica

Cantidad	Denominación
1	Sistema experimental de deflexión
1	Tubo cuadrado 1 ½” x 1.2mm
2	Tubo rectangular 1 x 2” x 1.2 mm
1	Soporte, Pasador y gancho (505 gr) (Presente en el laboratorio)
1	Pesa (5100 gr) (Presente en el laboratorio)
1	Pesa (4700 gr) (Presente en el laboratorio)

Procedimiento experimental

1. Identifica los perfiles disponibles especificados en la tabla 3.1.
2. Medir la sección transversal de los tres perfiles con el Vernier.
3. Registrar todas las mediciones correspondientes.
4. Conocer los puntos donde aplicara la carga, la ubicación se presenta en la tabla 3.2.

Tabla 3.2

Tabla de referencia para identificar los puntos donde se aplica la carga en los tubos

Tubo	Ubicación
Tubo cuadrado 1 ½” x 1.2mm	400 mm
Tubo cuadrado 1 ½” x 1.2mm	750 mm
Tubo cuadrado 1 ½” x 1.2mmm	926 mm
Tubo rectangular 2” x 1” x 1.2 mm (posición horizontal)	399.6 mm
Tubo rectangular 2” x 1” x 1.2 mm (posición horizontal)	749.6mm
Tubo rectangular 2” x 1” x 1.2 mm (posición horizontal)	924 mm
Tubo rectangular 1” x 2” x 1.2 mm (posición vertical)	399 mm
Tubo rectangular 1” x 2” x 1.2 mm (posición vertical)	751 mm
Tubo rectangular 1” x 2” x 1.2 mm (posición vertical)	926 mm

5. Colocar el pasador en la perforación de la mitad tal como se muestra en la figura 3.1.

Figura 3.1.

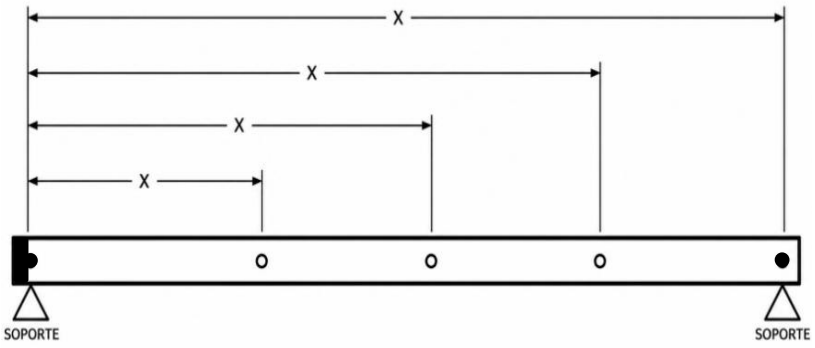
Pasador para el peso



6. Colocar el tubo en los soportes de sistema por medio de pasadores, regulando los extremos según corresponde, el extremo del tubo color negro debe estar ubicado en el soporte izquierdo del sistema ver figura 3.2.

Figura 3.2

Colocación del tubo en 2D



7. Verificar que el Vernier este perpendicular al tubo, de forma que el profundimetro este sobre el tubo en la marca señalada.
8. Asegurar el vernier con los tornillos, asegurando el desplazamiento del profundimetro
9. Colocar el Vernier digital en cero para visualizar la deflexión.
10. Pesar y registrar las masas en una balanza (soporte, gancho-pasador, pesa 1, pesa 2)
11. Colocar el peso en la ranura centrada con al alma del tubo.
12. Organizar seis grupos de trabajo, a cada uno de los cuales se le asignará un punto de aplicación y una carga específica, según se indica en la tabla 3.3.

Tabla 3.3

Distribución de grupos y ubicación de los puntos

Grupo	Masa	Tubo cuadrado	Tubo rectangular horizontal	Tubo rectangular vertical
1	Pesa 1	400.8 mm	399.6 mm	399 mm
2	Pesa 1	750.4 mm	749.6 mm	749 mm
3	Pesa 1	926 mm	924 mm	926 mm
4	Pesa 1 + Pesa 2	400.8 mm	399.6 mm	399 mm
5	Pesa 1 + Pesa 2	750.4 mm	749.6 mm	749 mm
6	Pesa 1 + Pesa 2	926 mm	924 mm	926 mm

13. Realizar 3 mediciones en el mismo punto
14. Registrar las mediciones obtenidas, indicando el punto asignado y la carga correspondiente, según se presenta en la tabla 3.4.

Tabla 3.4

Registro de mediciones de deflexión con Pesa 1 o Pesa 1 + Pesa 2

Tubo	Ubicación	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio
Cuadrado	x mm				
Rectangular posición horizontal	x mm				
Rectangular posición vertical	x mm				

15. De la misma manera se registran las mediciones según el grupo designado, definiendo la ubicación y la masa correspondiente.

Trabajo autónomo.

Llevar a cabo el procedimiento experimental y reportar los resultados en un informe.

Documentación para entregar.

- Elaborar un informe de laboratorio utilizando el formato IEEE disponible en los archivos del canal de la asignatura, anexando figuras, datos, tablas, entre otros.

GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

TEMA:	DEFLEXIÓN DE VIGAS	**PRÁCTICA:**	x
LABORATORIO:	Centro de Mecanizado	**SEMESTRE:**	Sep 2026- Feb 2026
DOCENTE ASIGNATURA:	Marco Ciaccia	**ASIGNATURA:**	Resistencia de materiales
TÉCNICO DOCENTE:	Marco Ciaccia	**NIVEL:**	4

Título de la práctica

Determinación experimental y analítica de la deflexión en vigas.

Objetivos de la práctica

Determinar experimental y teóricamente la deflexión de viga sometida a una carga puntual.

Comparar los resultados experimentales con los resultados teóricos.

Trabajo preparatorio

Responda las siguientes preguntas y presente en el informe correspondiente a la práctica.

1. ¿Qué es la deflexión de una viga?
2. ¿Cuál es la diferencia entre una carga puntual y una distribuida?
3. ¿De qué factores depende la deflexión de una viga?
4. ¿Qué representa el módulo de elasticidad (E)?
5. ¿Qué es el momento de inercia de área?
6. ¿Qué es la curva elástica?
7. ¿Qué sucede con la deflexión cuando aumenta la carga aplicada?

Materiales y Equipos

Tabla 3.1

Materiales y equipos para la práctica

Cantidad	Denominación
1	Sistema experimental de deflexión
1	Tubo circular 1” x 1.9mm
1	Tubo cuadrado 1 ½” x 1.2mm
2	Tubo rectangular 1 x 2” x 1.2 mm
1	Soporte, Pasador y gancho (505 gr) (Presente en el laboratorio)
1	Pesa (5100 gr) (Presente en el laboratorio)
1	Pesa (4700 gr) (Presente en el laboratorio)

Procedimiento experimental

1. Identificar los perfiles disponibles para la experimentación especificados en la tabla 3.1.
2. Conocer el sistema didáctico de experimentación
3. Organizar seis grupos de trabajo, a cada uno de los cuales se le asignará un punto de aplicación y una carga específica, según se indica en la tabla 3.2.

Tabla 3.2

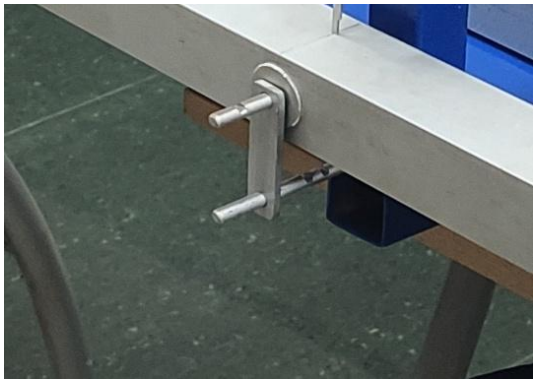
Distribución de grupos y ubicación de los puntos

Grupo	Masa	Tubo circular	Tubo cuadrado	Tubo rectangular horizontal	Tubo rectangular vertical
1	Pesa 1	400 mm	400 mm	399.6 mm	399 mm
2	Pesa 1	749 mm	750 mm	749.6 mm	749 mm
3	Pesa 1	925 mm	926 mm	924 mm	926 mm
4	Pesa 1 + Pesa 2	400 mm	400 mm	399.6 mm	399 mm
5	Pesa 1 + Pesa 2	749 mm	750 mm	749.6 mm	749 mm
6	Pesa 1 + Pesa 2	925 mm	926 mm	924 mm	926 mm

4. Adquirir la información del tubo que le corresponde a cada grupo (se encuentra en el documento)
5. Determinar la deflexión teórica del tubo asignado.
6. Colocar el pasador en la perforación de la mitad tal como se muestra en la figura 3.1.

Figura 3.1

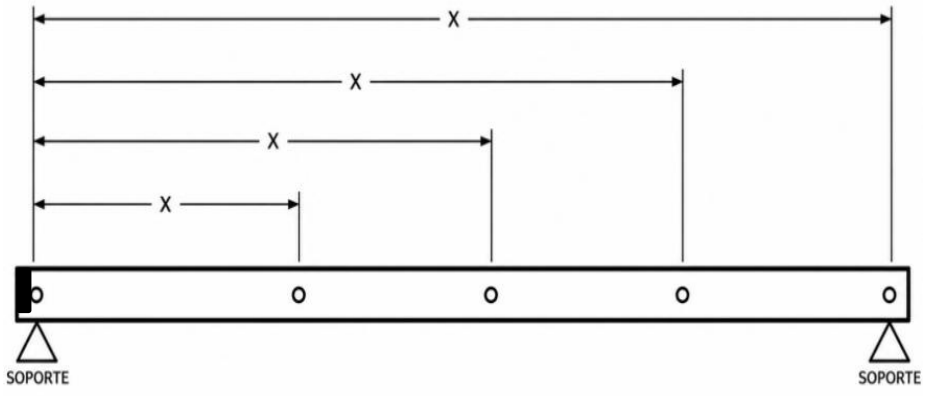
Pasador para el peso



8. Colocar el tubo en los soportes de sistema por medio de pasadores, regulando los extremos según corresponde, el extremo del tubo color negro debe estar ubicado en el soporte izquierdo del sistema ver figura 3.2.

Figura 3.2

Colocación del tubo en 2D



9. Verificar que el Vernier este perpendicular al tubo, de forma que el profundimetro este sobre el tubo en la marca señalada.
10. Asegurar el vernier con los tornillos, asegurando el desplazamiento del profundimetro

11. Colocar el Vernier digital en cero para visualizar la deflexión.
12. Pesar y registrar las masas en una balanza (soporte, gancho-pasador, pesa 1, pesa 2)
13. Colocar el peso en la ranura centrada con al alma del tubo.
14. Realizar 3 mediciones en el mismo punto
15. Registrar las mediciones obtenidas, indicando el punto asignado y la carga correspondiente, según se presenta en la tabla 3.3.

Tabla 3.3

Registro de mediciones de deflexión con Pesa 1 o Pesa 1 + Pesa 2

Tubo	Ubicación	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio
Circular- Cuadrado- Rectangular	x mm x mm x mm				

16. De la misma madera se registran las mediciones según el grupo designado, definiendo el tubo, la ubicación y la masa correspondiente.

Trabajo autónomo.

Llevar a cabo el procedimiento experimental y reportar los resultados en un informe.

Documentación para entregar.

- Elaborar un informe de laboratorio utilizando el formato IEEE disponible en los archivos del canal de la asignatura, anexando figuras, datos, tablas, entre otros.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PERFIL ESTRUCTURAL

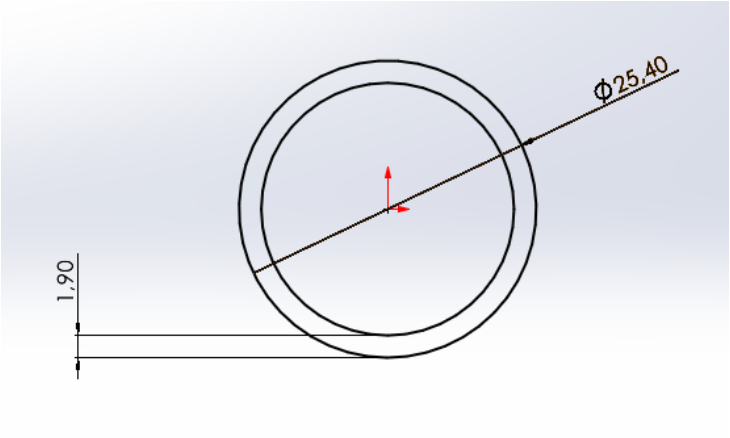
Tubo circular hueco de aluminio.

Material:

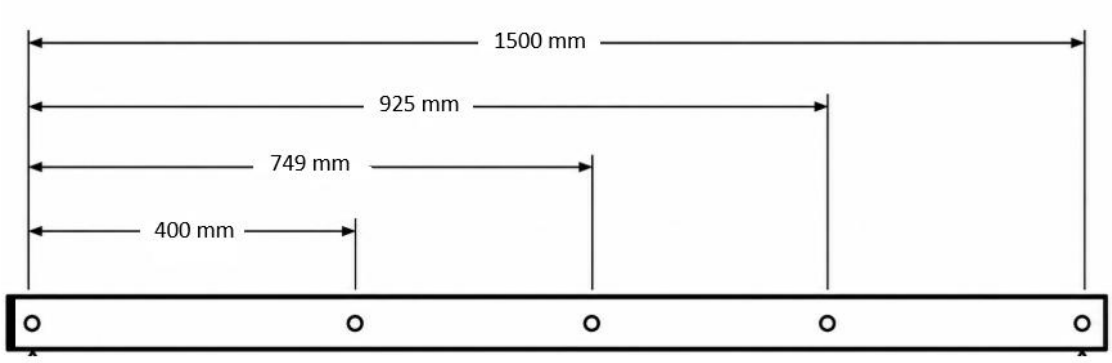
Aluminio 6063-T5.

Propiedades mecánicas:

Módulo de elasticidad (E): 69 GPa (69 000 MPa).



Ubicación de perforaciones (medidas desde el extremo izquierdo):



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PERFIL ESTRUCTURAL

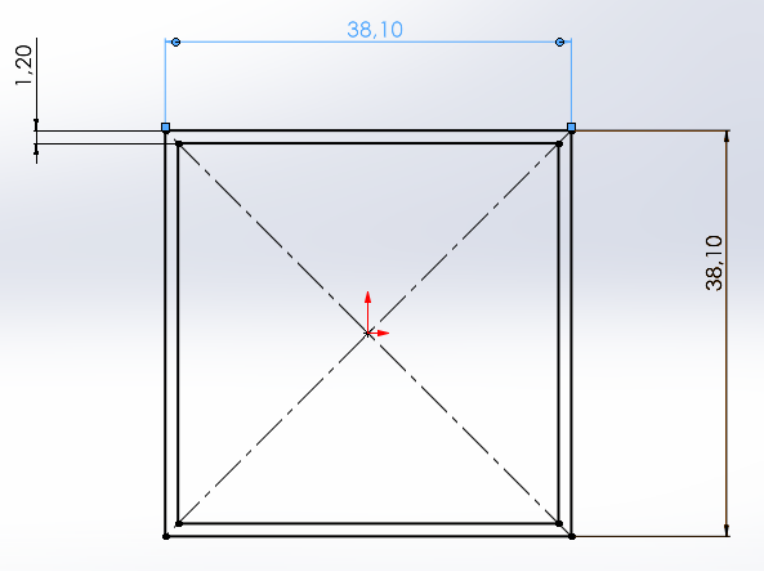
Tubo cuadrado hueco de aluminio.

Material:

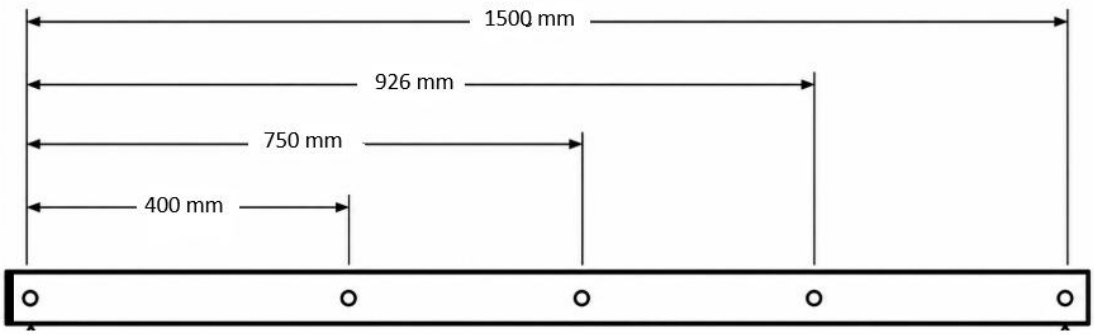
Aluminio 6063-T5.

Propiedades mecánicas:

Módulo de elasticidad (E): 69 GPa (69 000 MPa).



Ubicación de perforaciones (medidas desde el extremo izquierdo):



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PERFIL ESTRUCTURAL

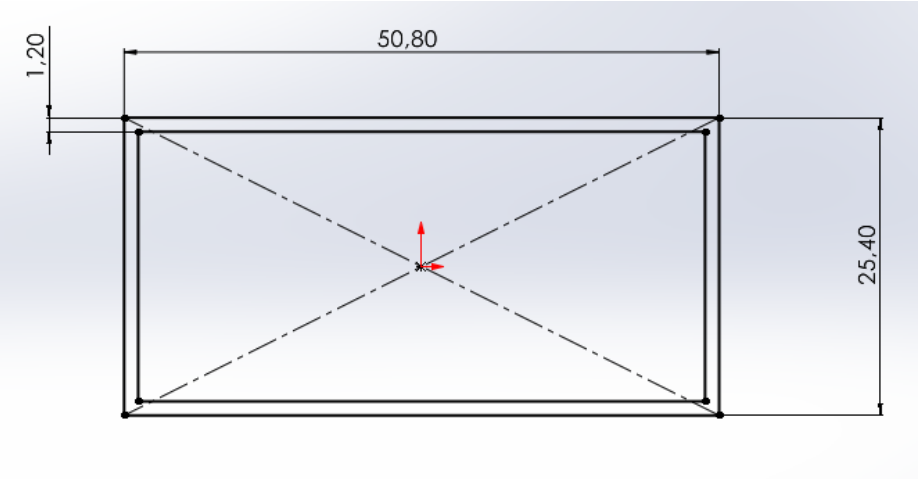
Tubo rectangular hueco de aluminio (posición horizontal).

Material:

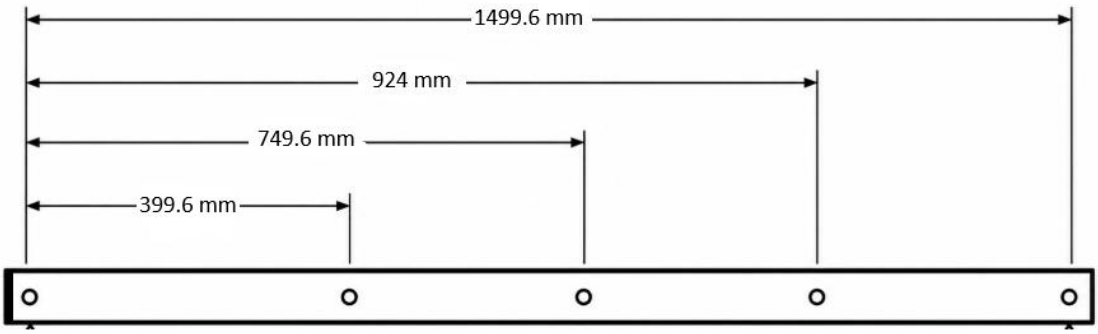
Aluminio 6063-T5.

Propiedades mecánicas:

Módulo de elasticidad (E): 69 GPa (69 000 MPa).



Ubicación de perforaciones (medidas desde el extremo izquierdo):



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PERFIL ESTRUCTURAL

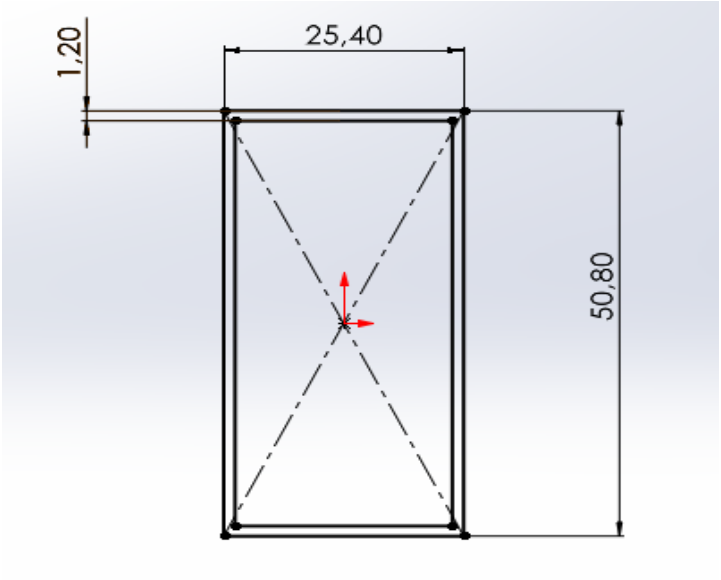
Tubo rectangular hueco de aluminio (posición vertical).

Material:

Aluminio 6063-T5.

Propiedades mecánicas:

Módulo de elasticidad (E): 69 GPa (69 000 MPa).



Ubicación de perforaciones (medidas desde el extremo izquierdo):

