

**Módulo interactivo de bajo costo y consumo para el aprendizaje de sistemas de control:  
Diseño e implementación**

**Juan Camilo Tibaduiza Acevedo, Manuel Sebastián Solano Cantillo, Héctor Felipe  
Gamboa Álvarez**

**Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electrónico**

**Director**

**Rodolfo Villamizar Mejía**

**Ph.D en tecnologías de la información**

**Universidad Industrial de Santander**

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas**

**Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones**

**Bucaramanga**

**2026**

## **Agradecimientos**

### **Juan Camilo Tibaduiza Acevedo**

Este trabajo es el resultado de un camino lleno de aprendizajes, esfuerzo y apoyo constante. En primer lugar, agradezco a Dios, por acompañarme en cada etapa de este proceso, darme la fortaleza necesaria para no desistir y permitirme culminar esta meta que marca un hito importante en mi formación profesional. A mis padres, mi más profundo agradecimiento por su amor, respaldo incondicional y confianza. Su paciencia, sus consejos y su ejemplo fueron el motor que me impulsó a seguir adelante incluso en los momentos de mayor dificultad. Todo logro alcanzado es reflejo directo de su dedicación y sacrificio. A mi familia, por estar siempre presente y por brindarme un entorno de apoyo que hizo de mi paso por la universidad una experiencia significativa y enriquecedora. A mi abuela, quien fue una fuente permanente de inspiración en mi vida. Aunque ya no se encuentra físicamente con nosotros, su amor, sus enseñanzas y su ejemplo continúan guiando mis pasos. Este logro también es suyo, y sé que estaría orgullosa de verlo hecho realidad. Expreso un sincero agradecimiento a mi director de tesis, Rodolfo Villamizar, por su orientación, disposición y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo. Su experiencia y compromiso fueron determinantes para el cumplimiento de los objetivos propuestos y para fortalecer mi formación académica y profesional. Finalmente, agradezco a la universidad, a los docentes, compañeros y a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a hacer posible este proyecto. Cada enseñanza, apoyo y experiencia compartida dejó una huella importante en mi formación como ingeniero y como persona.

### **Manuel Sebastián Solano Cantillo**

Quiero agradecer a mi familia, por el apoyo constante que me brindaron durante toda la carrera. Su paciencia, comprensión y apoyo fueron necesarios especialmente en los momentos de mayor frustración y saber que siempre estuvieron ahí me dio la fuerza y la confianza para seguir adelante y no rendirme. Agradezco de manera especial a mi director de tesis, por su acompañamiento durante el desarrollo de este proyecto. Su trato amable y su forma de orientarme en el proceso académico fueron de gran apoyo. Lo considero una persona de alto valor y un ejemplo a seguir en mi formación como ingeniero y persona. También quiero agradecer a mis

profesores, quienes a lo largo de la carrera no solo aportaron conocimientos técnicos, sino también críticas constructivas, exigencia académica y consejos que me ayudaron a mejorar mi forma de pensar y a afrontar los problemas que se me presenten en la vida. Finalmente, agradezco a la universidad y a las oportunidades de crecimiento que me brindaron durante esta etapa. Este proyecto representa el cierre de una etapa importante en mi vida y el inicio de nuevos retos, llevando conmigo todo lo aprendido a lo largo del camino.

### **Héctor Felipe Gamboa Álvarez**

A Dios, por ser mi guía constante, brindarme fortaleza, sabiduría y perseverancia en cada etapa de este camino, y por permitirme culminar con éxito esta meta profesional. A mis padres, por su apoyo incondicional, sus consejos, su paciencia y su confianza en mí. Gracias por estar siempre presentes, incluso en los momentos más difíciles, y por ser el pilar fundamental de mi formación personal y académica. A la Universidad, por la formación académica recibida, por los conocimientos impartidos y por los espacios que hicieron posible mi crecimiento como ingeniero electrónico. Finalmente, a mis compañeros, por las experiencias compartidas, el trabajo en equipo y las amistades que quedarán como parte invaluable de esta etapa de mi vida.

**Tabla de contenido**

Introducción.....	13
1. Objetivo General.....	15
1.1 Objetivos Específicos.....	15
2. Marco Conceptual.....	16
2.1 Enseñanza de sistemas de control en ingeniería .....	16
2.2 Formación práctica y aprendizaje experimental .....	17
2.3 Simulación y sistemas físicos didácticos .....	18
2.4 Fundamentos técnicos del control clásico.....	20
2.5 Fundamentos pedagógicos del módulo MIACON.....	21
2.6 Estado del arte y aportes del proyecto .....	24
2.6.1 Aprendizaje activo y aprendizaje basado en proyectos en control .....	24
2.6.2 Plataformas didácticas basadas en hardware real .....	24
2.6.3 Laboratorios remotos y plataformas híbridas .....	25
2.6.4 Plataformas de bajo costo y sistemas embebidos .....	25
2.6.5 Brechas identificadas en los trabajos relacionados .....	26
2.6.6 Aportes y diferenciación del proyecto MIACON .....	26
3. Desarrollo de la Solución MIACON .....	29
3.1 Descripción general del módulo .....	29
3.1.1 Funcionamiento general del módulo.....	30
3.1.2 MIACON como práctica pedagógica.....	31
3.1.3 Sustento pedagógico del módulo .....	32
3.2 Metodología de desarrollo .....	32

3.3 Propuesta pedagógica.....	33
3.3.1 Modelo de enseñanza propuesto .....	34
3.3.2 Principios didácticos del módulo .....	35
3.3.3 Rol del estudiante.....	35
3.3.4 Rol del docente .....	36
3.4 Diseño de las prácticas educativas .....	36
3.4.1 Formato de guía de laboratorio utilizado .....	37
3.5 Diseño técnico del módulo.....	38
3.6 Validación educativa exploratoria .....	39
3.6.1 Propósito y alcance de la validación .....	39
3.6.2 Enfoque metodológico de la validación.....	39
3.6.3 Guías de laboratorio como herramienta pedagógica.....	40
3.6.4 Rol del facilitador durante la validación .....	40
3.6.5 Criterios de evaluación cualitativa.....	40
3.6.6 Instrumentos de recolección de información y sus resultados .....	41
3.6.7 Resultados de la validación mediante encuestas.....	41
3.6.8 Limitaciones de la validación .....	44
3.6.9 Síntesis de la validación educativa .....	44
3.7 Replicabilidad y proyección .....	46
4. Conclusiones.....	47
5. Recomendaciones y trabajo futuro .....	49
5.1 Recomendaciones pedagógicas.....	49

5.2 Recomendaciones técnicas con enfoque educativo .....	50
5.3 Líneas de trabajo futuro .....	50
Referencias Bibliográficas.....	52
Apéndices .....	56

**Lista de Tablas**

Tabla 1. <i>Comparación entre simulación y sistemas físicos didácticos en la enseñanza del control.</i> .....	19
Tabla 2. <i>Comparación entre trabajos relacionados y el módulo MIACON</i> .....	27
Tabla 3. <i>Resultados porcentuales de la encuesta de validación educativa del módulo MIACON</i> .....	43
Tabla 4. <i>Indicadores cualitativos consolidados durante la validación del módulo MIACON.</i> .....	45
Tabla 5. <i>Selección de elementos del módulo MIACON.</i> .....	103

**Lista de figuras**

Figura 1. *Resumen de la problemática en la enseñanza tradicional de los sistemas de control.* ..... 17

Figura 2. *Fundamentos pedagógicos del módulo MIACON.* ..... 23

Figura 3. *Modelo de enseñanza secuencial propuesto para el uso de MIACON.* ..... 28

Figura 4. *Plano de corte láser de la estructura mecánica del módulo MIACON.* ..... 57

Figura 5. *Piezas estructurales del módulo MIACON obtenidas tras el proceso de corte láser.* ..... 58

Figura 6. *Vista del módulo físico MIACON completamente ensamblado y con los componentes electrónicos montados.* ..... 60

Figura 7. *Vista general de la guía pedagógica MIACON en la plataforma web (Google Sites).* ..... 64

Figura 8. *Sección de competencias técnicas y competencias blandas desarrolladas en la práctica.* ..... 65

Figura 9. *Sección de materiales y recursos necesarios para la práctica de laboratorio.* 66

Figura 10. *Organización de archivos y recursos digitales asociados a la práctica (repositorio y modelos base).* ..... 67

Figura 11. *Sección de investigación guiada con recursos audiovisuales de apoyo.* ..... 68

Figura 12. *Estructura general del desarrollo de la práctica organizada por etapas.* ..... 69

Figura 13. *Sección de conclusiones esperadas y cierre reflexivo de la práctica.* ..... 70

Figura 14. *Visualización de hitos o etapas pedagógicas completadas dentro de la guía MIACON.* ..... 71

Figura 15. <i>Ensamblaje paredes frontales y tapa.</i> .....	88
Figura 16. <i>Ensamblaje paredes laterales y tapa.</i> .....	89
Figura 17. <i>Detalle piezas de la sección de la polea.</i> .....	90
Figura 18. <i>Detalle explosionado piezas del eje con encoder.</i> .....	91
Figura 19. <i>Detalle explosionado piezas del eje con encoder.</i> .....	92
Figura 20. <i>Detalle explosionado sección temperatura y pantalla OLED.</i> .....	93
Figura 21. <i>Placa expansora del microcontrolador ESP32.</i> .....	94
Figura 22. <i>Página principal del sitio web.</i> .....	95
Figura 23. <i>Página de instalación de software necesario para MIACON.</i> .....	96
Figura 24. <i>Página del acceso a guías del laboratorio en el sitio web.</i> .....	97
Figura 25. <i>Estructura general de las encuestas.</i> .....	105
Figura 26. <i>Tabulación encuesta comprensión, modelado y control del sistema.</i> .....	108
Figura 27. <i>Tabulación encuesta aplicación, análisis y dificultad del sistema.</i> .....	109
Figura 28. <i>Resultados de la reflexión final del sistema.</i> .....	110
Figura 29. <i>Tabulación encuesta de la evaluación global del sistema.</i> .....	111
Figura 30. <i>Evidencias de la implementación del módulo MIACON en contextos de laboratorio académico y semillero de investigación, donde se observa la participación activa de los estudiantes y el acompañamiento docente durante el desarrollo de prácticas experimentales.</i> .....	113
Figura 31. <i>Diagramas funcionales en la herramienta Simulink.</i> .....	114

### **Lista de Apéndices**

Apéndice A. Descripción del módulo físico MIACON.....	56
Apéndice B. Guías pedagógicas de laboratorio y estructura modular de aprendizaje MIACON.....	61
Apéndice C. Planos de diseño y ensamblaje físico del módulo MIACON .....	87
Apéndice D. Plataforma web del proyecto MIACON como soporte técnico y pedagógico .....	94
Apéndice E. Modelado de los sistemas del módulo MIACON .....	98
Apéndice F. Listado de componentes y análisis de costos del módulo MIACON.....	101
Apéndice G. Instrumentos de validación educativa: diseño y desarrollo de encuestas ..	104
Apéndice H. Evidencias de implementación experimental del módulo MIACON .....	112

## Resumen

**Título:** Módulo interactivo de bajo costo y consumo para el aprendizaje de sistemas de control: Diseño e implementación.\*

**Autores:** Juan Camilo Tibaduiza Acevedo, Manuel Sebastián Solano Cantillo, Héctor Felipe Gamboa Álvarez.\*\*

**Palabras clave:** Sistemas de control, aprendizaje activo, módulo didáctico, experimentación física, enseñanza en ingeniería, ESP32.

### Descripción:

La enseñanza de los sistemas de control en los programas de ingeniería electrónica se ha caracterizado por un enfoque predominantemente teórico, lo que limita en muchos casos la comprensión significativa de los conceptos y su aplicación en contextos reales. Frente a esta situación, la presente tesis desarrolla y fundamenta el Módulo Interactivo de Bajo Costo y Consumo para el Aprendizaje de Sistemas de Control (MIACON), concebido como un recurso pedagógico autónomo que apoya la enseñanza en el aula y fortalece los procesos de aprendizaje práctico, sin sustituir los laboratorios tradicionales.

MIACON se plantea desde un enfoque pedagógico centrado en el aprendizaje activo, significativo y autónomo, promoviendo la experimentación guiada, la reflexión sobre los resultados y la toma de decisiones por parte del estudiante. El módulo integra actividades progresivas orientadas a la comprensión de conceptos fundamentales del control automático, facilitando la conexión entre la teoría y la experiencia física mediante la interacción directa con sistemas reales.

Desde el punto de vista técnico, el módulo se apoya en una arquitectura de bajo costo y bajo consumo energético, alimentada mediante un puerto USB de 5 V, e incorpora un microcontrolador ESP32, sensores, actuadores y un motor de corriente continua. Estas características permiten reproducir condiciones reales de diseño propias de los sistemas embebidos, sirviendo como medio para el análisis experimental del comportamiento dinámico de sistemas de control clásicos.

La implementación del módulo en contextos educativos permitió evidenciar su aporte al proceso formativo, favoreciendo una mayor apropiación de los conceptos fundamentales de control, así como el desarrollo de criterios básicos de análisis y diseño ingenieril. En este sentido, MIACON se consolida como una propuesta pedagógica viable, replicable y adaptable para el apoyo a la enseñanza de los sistemas de control en distintos entornos académicos.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director Rodolfo Villamizar Mejía

### Abstract

**Title:** Low-Cost, Low-Power Interactive Module for Control Systems Learning: Design and Implementation.\*

**Authors:** Juan Camilo Tibaduiza Acevedo, Manuel Sebastián Solano Cantillo, Héctor Felipe Gamboa Álvarez.\*\*

**Key words:** Control systems, active learning, educational module, physical experimentation, engineering education, ESP32.

#### Description:

The teaching of control systems in electronic engineering programs has traditionally been characterized by a predominantly theoretical approach, which often limits students' meaningful understanding of concepts and their application in real-world contexts. In response to this situation, this thesis presents the development and pedagogical foundation of the Low-Cost and Low-Power Interactive Module for Learning Control Systems (MIACON), conceived as an autonomous educational resource that supports classroom teaching and strengthens practical learning processes without replacing traditional laboratories.

MIACON is grounded in a pedagogical approach focused on active, meaningful, and autonomous learning, promoting guided experimentation, reflection on results, and decision-making by students. The module integrates progressive learning activities aimed at understanding fundamental concepts of automatic control, facilitating the connection between theoretical knowledge and physical experience through direct interaction with real systems.

From a technical perspective, the module is based on a low-cost, low-power architecture powered by a 5 V USB port and incorporates an ESP32 microcontroller, sensors, actuators, and a DC motor. These characteristics allow the reproduction of real embedded system design constraints, serving as a medium for experimental analysis of the dynamic behavior of classical control systems.

The implementation of the module in educational contexts demonstrated its contribution to the learning process, fostering a better appropriation of fundamental control concepts as well as the development of basic analysis and engineering design criteria. In this regard, MIACON is established as a viable, replicable, and adaptable pedagogical proposal to support the teaching of control systems in different academic environments.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director Rodolfo Villamizar Mejía

## Introducción

Los sistemas de control constituyen una de las áreas fundamentales en la formación de ingenieros electrónicos, al proporcionar las bases teóricas y prácticas necesarias para llevar a cabo el análisis, diseño y regulación de sistemas dinámicos presentes en múltiples aplicaciones tanto industriales como tecnológicas. Sin embargo, en muchos programas académicos, su enseñanza se ha basado principalmente en el desarrollo formal de modelos matemáticos, ecuaciones diferenciales y técnicas analíticas, lo cual puede generar dificultades en el proceso de aprendizaje cuando estos conceptos no se acompañan de experiencias prácticas que faciliten su comprensión e interpretación.

La escasez de infraestructura destinada a los laboratorios físicos disponibles en la universidad, además de los elevados costos que implican adquisición, mantenimiento y actualización de equipos especializados, generan limitaciones significativas para el acceso constante a las prácticas. Adicionalmente como problemática se incorpora la necesidad de ajustarse a horarios rígidos, la disponibilidad de las aulas específicas y la presencia de un supervisor de manera obligatoria, lo que reduce la flexibilidad en el desarrollo de las actividades. Las condiciones mencionadas dificultan que los estudiantes interactúen de manera frecuente, y progresiva con los sistemas reales, lo que como consecuencia genera que se restrinjan el aprendizaje enfocado en la práctica.

En este contexto surge MIACON, un Módulo Interactivo de Bajo Costo para el Aprendizaje Autónomo de Sistemas de Control, concebido como una herramienta educativa que permite al estudiante interactuar directamente con sistemas reales a través de hardware accesible y de bajo consumo energético. El módulo está diseñado para operar exclusivamente con una alimentación de 5 V proveniente de un puerto USB, estableciendo desde el inicio restricciones reales de diseño asociadas a la disponibilidad limitada de energía. Para garantizar un funcionamiento seguro y estable, el sistema se dimensiona considerando únicamente el 80 % de la corriente nominal del puerto USB, incorporando así márgenes de seguridad propios de la práctica ingenieril.

MIACON integra un microcontrolador ESP32, sensores, actuadores y un motor de corriente continua operado de forma subalimentada, cuya señal de actuación es generada mediante

algoritmos de control digital implementados en el microcontrolador. Aunque la señal aplicada al actuador se materializa a través de una modulación digital del nivel de excitación del motor, el énfasis del módulo se centra en el análisis del comportamiento dinámico del sistema y no en la entrega de potencia mecánica. Esta decisión permite que el estudiante analice fenómenos fundamentales de los sistemas de control, como la respuesta transitoria, la estabilidad y la regulación, dentro de un entorno seguro, portátil y autónomo.

Desde el punto de vista pedagógico, el módulo se fundamenta en principios de aprendizaje activo, autónomo y significativo, promoviendo que el estudiante asuma un rol protagónico en su proceso de formación. A través de retos progresivos inspirados en la metodología de Design Thinking, MIACON fomenta la experimentación guiada, la toma de decisiones de diseño y la reflexión sobre los límites reales de los sistemas físicos, incluyendo el consumo energético y la gestión eficiente de recursos.

La evaluación del impacto del módulo se realiza a partir de la percepción de los estudiantes, recopilada mediante encuestas, las cuales permiten analizar cómo la interacción con MIACON influye en la comprensión de los conceptos fundamentales de los sistemas de control y en el desarrollo de competencias técnicas y transversales. De esta manera, el proyecto busca aportar una alternativa viable, replicable y sostenible que complemente la enseñanza tradicional de los sistemas de control, ampliando el acceso a experiencias prácticas y fortaleciendo la formación integral de futuros ingenieros electrónicos.

## **1. Objetivo General**

Diseñar y validar un módulo interactivo de bajo costo que facilite el aprendizaje práctico y autónomo de los estudiantes en las asignaturas de control.

### **1.1 Objetivos Específicos**

Establecer las variables físicas a medir con el módulo, tales como temperatura, velocidad y posición, para asegurar un aprendizaje práctico y relevante.

Determinar la estructura más adecuada para el desarrollo del módulo, garantizando su funcionalidad y eficiencia en el proceso educativo, así como su autonomía energética para que no dependa de fuentes adicionales de laboratorio.

Diseñar herramientas didácticas que faciliten la comprensión de los conceptos de control por parte de los estudiantes, promoviendo una experiencia de aprendizaje efectiva.

Validar los diseños del módulo a través de pruebas y retroalimentación, asegurando su eficacia y adaptabilidad en el entorno educativo.

## 2. Marco Conceptual

### 2.1 Enseñanza de sistemas de control en ingeniería

La enseñanza de los sistemas de control en los programas de ingeniería electrónica presenta diversos retos para docentes y estudiantes, principalmente por la forma en que estos contenidos suelen abordarse en el aula. Con frecuencia, los cursos de control se apoyan fuertemente en el desarrollo matemático y en explicaciones abstractas, lo que puede dificultar que los estudiantes comprendan el sentido práctico de lo que están aprendiendo.

En muchos contextos educativos, el proceso de enseñanza se centra en el análisis teórico y en el uso de simulaciones por computador. Estas herramientas son valiosas y necesarias, ya que permiten visualizar el comportamiento de los sistemas y analizar diferentes escenarios. Sin embargo, cuando no se complementan con experiencias prácticas, el aprendizaje puede volverse poco significativo, ya que el estudiante no siempre logra relacionar los resultados obtenidos en pantalla con el funcionamiento de un sistema real.

Como consecuencia, es común que los estudiantes logren resolver ejercicios y comprender procedimientos durante la simulación, pero presenten dificultades cuando deben interpretar el comportamiento de un sistema físico o implementar una solución de control en la práctica. Esta situación genera brechas entre lo que se enseña en el aula y lo que se espera que el futuro ingeniero pueda hacer en contextos reales.

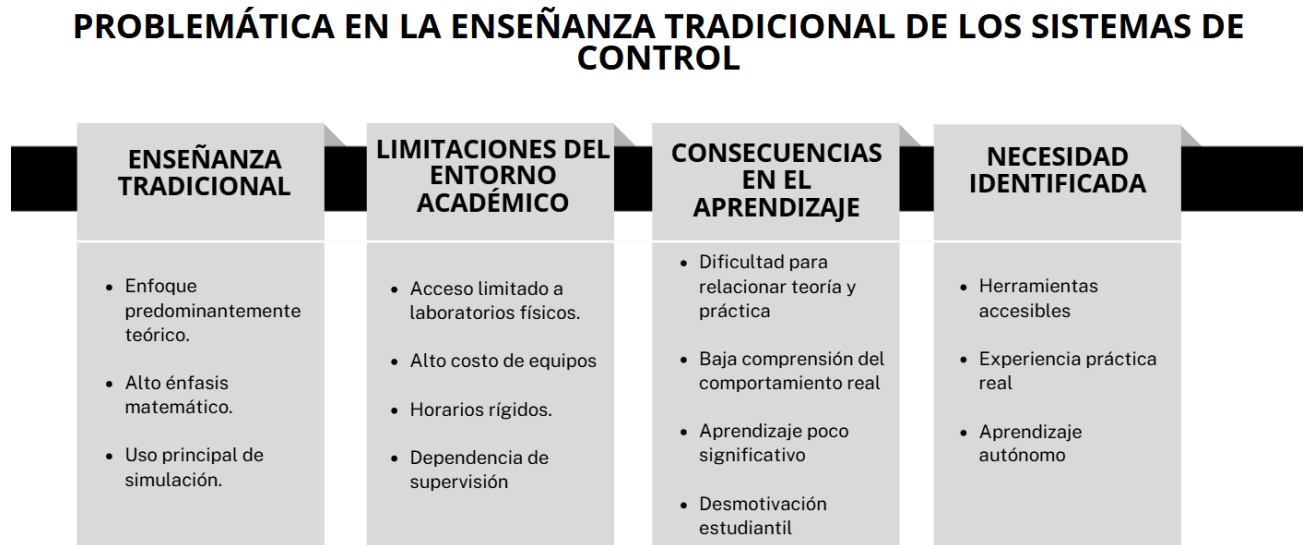
Desde la perspectiva docente, una enseñanza efectiva del control automático requiere estrategias que acerquen al estudiante a la experimentación, la observación directa y la manipulación de sistemas reales. Cuando el estudiante puede ver, medir y modificar el comportamiento de un sistema físico, los conceptos dejan de percibirse como ideas abstractas y adquieren sentido dentro de un contexto concreto.

En este marco, el uso de módulos didácticos experimentales se presenta como una alternativa pedagógica que facilita la integración entre teoría y práctica. Estos recursos permiten que el aprendizaje sea más activo, favorecen la comprensión progresiva de los conceptos

fundamentales del control automático y contribuyen al desarrollo del criterio ingenieril a partir de la experiencia directa.

**Figura 1**

*Resumen de la problemática en la enseñanza tradicional de los sistemas de control.*



*Nota.* La figura presenta una síntesis de las principales dificultades identificadas en la enseñanza tradicional de los sistemas de control, incluyendo el predominio del enfoque teórico, la limitada experimentación práctica, la baja interacción con sistemas reales y la escasa integración entre modelado, simulación e implementación física. Este panorama fundamenta la necesidad de propuestas didácticas interactivas como el módulo MIACON. Elaboración propia.

**2.2 Formación práctica y aprendizaje experimental**

En la formación en sistemas de control, uno de los retos más frecuentes es ayudar al estudiante a comprender que los resultados obtenidos en simulación no siempre se reflejan de manera exacta en un sistema físico real. Las herramientas de simulación son fundamentales en el proceso de enseñanza, ya que permiten explorar el comportamiento de los sistemas y analizar diferentes estrategias de control de forma segura y ordenada. Sin embargo, estas herramientas suelen trabajar con modelos idealizados que simplifican la realidad.

Desde la experiencia del estudiante, esta diferencia puede generar confusión. En muchas ocasiones, el estudiante asume que el comportamiento observado en la simulación se repetirá de forma idéntica en la práctica. Cuando esto no ocurre, aparecen dificultades para interpretar los resultados, frustración frente al proceso y, en algunos casos, desmotivación hacia el estudio del control automático. Estas situaciones son comunes, especialmente en las primeras etapas del aprendizaje, cuando aún no se ha desarrollado un criterio técnico sólido.

A esta problemática se suman las limitaciones propias de muchos entornos académicos, como la disponibilidad reducida de laboratorios físicos, el alto costo de los equipos y el tiempo limitado asignado a las prácticas experimentales. Estas condiciones restringen las oportunidades del estudiante para experimentar, repetir pruebas, cometer errores y aprender a partir de ellos, elementos clave en la formación práctica de un ingeniero.

Desde una perspectiva pedagógica, estas dificultades evidencian la necesidad de propuestas que acerquen al estudiante a la experimentación real de manera accesible y continua. Es fundamental contar con estrategias que permitan realizar prácticas de forma autónoma, analizar el comportamiento real de los sistemas y comprender que las diferencias entre teoría y práctica forman parte natural del proceso de aprendizaje.

El análisis experimental, entendido como la observación, medición y reflexión sobre el comportamiento de sistemas reales, se convierte así en un componente esencial de la formación en control. No se trata únicamente de validar modelos o controladores, sino de ofrecer al estudiante un espacio donde pueda contrastar la teoría con la realidad, desarrollar criterio ingenieril y construir un aprendizaje más profundo y significativo.

### **2.3 Simulación y sistemas físicos didácticos**

La simulación es una herramienta ampliamente utilizada en la enseñanza de los sistemas de control, ya que permite al estudiante explorar el comportamiento de los sistemas dinámicos de manera controlada y sin riesgos. A través de modelos matemáticos y entornos gráficos, el estudiante puede observar la respuesta del sistema ante diferentes condiciones, modificar parámetros y analizar los efectos de distintas estrategias de control.

Desde una perspectiva pedagógica, la simulación cumple un papel fundamental en las etapas iniciales del aprendizaje, ya que facilita la comprensión de conceptos abstractos y reduce la carga cognitiva asociada al análisis matemático. Al trabajar con simulaciones, el estudiante puede concentrarse en la lógica del control y en la relación entre variables, sin enfrentar de inmediato las complejidades propias de los sistemas reales.

No obstante, cuando la enseñanza se limita exclusivamente al uso de simulaciones, se corre el riesgo de que el aprendizaje se perciba como incompleto. El estudiante puede llegar a interpretar los modelos simulados como representaciones exactas de la realidad, sin desarrollar una comprensión clara de las limitaciones y comportamientos no ideales presentes en los sistemas físicos.

En este contexto, los sistemas físicos didácticos se convierten en un complemento pedagógico esencial. Estos sistemas permiten que el estudiante experimente con procesos reales, observe directamente fenómenos como retardos, ruido, saturaciones y variaciones de comportamiento, y comprenda que el diseño de sistemas de control implica adaptarse a condiciones cambiantes y restricciones prácticas.

**Tabla 1**

*Comparación entre simulación y sistemas físicos didácticos en la enseñanza del control.*

**COMPARACIÓN ENTRE SIMULACIÓN Y SISTEMAS FÍSICOS DIDÁCTICOS EN LA ENSEÑANZA DEL CONTROL**

ASPECTO	SIMULACIÓN	SISTEMA FÍSICO
REALISMO	IDEALIZADO	PRESENTE
RUIDO	NO PRESENTE	PRESENTE
SATURACIONES	GENERALMENTE IGNORADAS	EVIDENTES
RESTRICCIONES ENERGÉTICAS	NO CONSIDERADAS	CONSIDERADAS
ESTADO ESTACIONARIO	TEORICO	REAL

*Nota.* La tabla presenta una comparación entre el uso de simulaciones computacionales y sistemas físicos didácticos en la enseñanza de los sistemas de control, considerando aspectos como comprensión conceptual, nivel de experimentación, costos, accesibilidad y desarrollo de competencias prácticas. Este análisis permite identificar las fortalezas y limitaciones de cada enfoque, justificando la integración de ambos dentro de la propuesta pedagógica del módulo MIACON. Elaboración propia.

La combinación de simulación y sistemas físicos didácticos favorece un aprendizaje progresivo y coherente. Primero, el estudiante explora y comprende el sistema en un entorno simulado; posteriormente, enfrenta la implementación real y analiza las diferencias observadas. Este proceso de comparación promueve la reflexión, el análisis crítico y el desarrollo del criterio ingenieril.

Desde el rol docente, esta integración permite diseñar experiencias de aprendizaje más completas, donde la simulación se utiliza como una herramienta de preparación y el sistema físico como un espacio de validación y descubrimiento. De esta manera, el estudiante no solo aprende a diseñar controladores, sino también a interpretar resultados, justificar decisiones y comprender la realidad de los sistemas de control más allá de los modelos teóricos.

## **2.4 Fundamentos técnicos del control clásico**

Los sistemas de control clásicos constituyen el punto de partida en la formación en control automático dentro de los programas de ingeniería. Su estudio permite al estudiante comprender cómo es posible regular el comportamiento de un sistema físico para que responda de manera deseada frente a una referencia o condición de operación específica.

Desde una perspectiva formativa, el control clásico introduce al estudiante en la lógica básica de la realimentación, es decir, en la idea de medir una variable de salida, compararla con un valor deseado y actuar sobre el sistema para corregir el error. Este principio resulta fundamental no solo en el control automático, sino en múltiples aplicaciones de la ingeniería y la tecnología.

En el ámbito educativo, el análisis de los sistemas de control clásicos se enfoca principalmente en sistemas lineales e invariantes en el tiempo, debido a que permiten una

comprensión gradual y estructurada de los fenómenos dinámicos. A través de estos sistemas, el estudiante puede analizar cómo cambian las variables del sistema ante distintas entradas y cómo influyen los parámetros del controlador en su comportamiento.

Los controladores proporcional (P), proporcional–integral (PI) y proporcional–integral–derivativo (PID) se emplean como herramientas didácticas centrales en la enseñanza del control clásico. Estos controladores permiten observar de manera clara la relación entre la acción de control y aspectos como la rapidez de respuesta, la estabilidad y el error en estado estacionario. Su simplicidad conceptual los hace adecuados para introducir al estudiante en el diseño y ajuste de sistemas de control sin una carga matemática excesiva en las primeras etapas.

Más allá de su aplicación técnica, el estudio del control clásico cumple un rol pedagógico importante al fomentar el razonamiento lógico, el análisis causa–efecto y la toma de decisiones basada en criterios de desempeño. Al ajustar un controlador y observar el efecto de los cambios realizados, el estudiante desarrolla una comprensión intuitiva del sistema, fortaleciendo su capacidad para interpretar resultados y justificar decisiones de diseño.

En este sentido, los fundamentos técnicos del control clásico no solo constituyen un conjunto de herramientas matemáticas, sino una base formativa que permite al estudiante construir progresivamente competencias para enfrentar sistemas más complejos, integrando teoría, experimentación y análisis crítico.

## **2.5 Fundamentos pedagógicos del módulo MIACON**

El módulo MIACON se fundamenta en una concepción pedagógica que entiende el aprendizaje de los sistemas de control como un proceso activo, progresivo y centrado en la experiencia del estudiante. En la enseñanza del control automático, no basta con la transmisión de conceptos teóricos o el dominio de herramientas matemáticas; es necesario que el estudiante construya significado a partir de la interacción directa con sistemas reales.

Desde esta perspectiva, MIACON se concibe como un mediador pedagógico entre la teoría y la práctica. El módulo no busca reemplazar las clases teóricas ni los ejercicios analíticos, sino

complementarlos mediante experiencias experimentales que permitan observar, analizar y reflexionar sobre el comportamiento de los sistemas de control en condiciones reales.

El diseño pedagógico del módulo se apoya en el enfoque del aprendizaje significativo, en el cual los nuevos conceptos adquieren sentido cuando pueden relacionarse con conocimientos previos y con situaciones concretas. Al trabajar con plantas físicas reales, el estudiante puede vincular nociones abstractas como estabilidad, error o respuesta transitoria con fenómenos observables, facilitando una comprensión más profunda y duradera de los contenidos.

Asimismo, MIACON promueve el aprendizaje activo al situar al estudiante como protagonista del proceso formativo. El módulo está diseñado para que el estudiante explore, experimente, ajuste parámetros y analice resultados, en lugar de limitarse a seguir procedimientos rígidos. Este enfoque favorece el desarrollo de habilidades como el análisis crítico, la toma de decisiones y la interpretación de resultados, fundamentales en la formación de un ingeniero.

Un elemento central de la propuesta pedagógica es la incorporación de restricciones reales de diseño, como el consumo energético y las limitaciones de la fuente de alimentación. Estas restricciones obligan al estudiante a tomar decisiones informadas y a reflexionar sobre las consecuencias técnicas de sus elecciones, acercándolo a prácticas propias del ejercicio profesional. De esta manera, el aprendizaje del control se contextualiza dentro de un escenario realista y formativo.

Desde el rol docente, el módulo MIACON se plantea como una herramienta flexible que puede integrarse a diferentes estrategias de enseñanza. Permite acompañar explicaciones teóricas, apoyar actividades de laboratorio, facilitar el trabajo autónomo del estudiante y promover discusiones basadas en la observación y el análisis experimental. El docente actúa como orientador y mediador del aprendizaje, guiando la reflexión y ayudando a interpretar los resultados obtenidos durante la experimentación.

En conjunto, los fundamentos pedagógicos del módulo MIACON se orientan a fortalecer la formación integral del estudiante de ingeniería electrónica, articulando teoría, práctica y reflexión. Esta propuesta busca no solo mejorar la comprensión de los sistemas de control, sino

también contribuir al desarrollo de un criterio ingenieril sólido, capaz de enfrentar problemas reales de manera crítica y fundamentada.

**Figura 2**

*Fundamentos pedagógicos del módulo MIACON.*



*Nota.* La figura ilustra los fundamentos pedagógicos que sustentan el diseño del módulo MIACON, integrando enfoques como el aprendizaje activo, el aprendizaje basado en proyectos, la experimentación práctica y la retroalimentación inmediata. Estos principios orientan la estructuración del módulo para promover la comprensión conceptual, el desarrollo de competencias técnicas y la autonomía en el aprendizaje de los sistemas de control. Elaboración propia.

## 2.6 Estado del arte y aportes del proyecto

La enseñanza de los sistemas de control en programas de ingeniería ha sido tradicionalmente abordada mediante clases magistrales, análisis matemático y simulaciones computacionales. Si bien estos enfoques permiten una comprensión inicial de los modelos dinámicos y las estrategias de control, diversos autores coinciden en que resultan insuficientes para desarrollar criterios de diseño ingenieril y una comprensión profunda del comportamiento de sistemas reales, especialmente cuando los estudiantes no interactúan con plantas físicas reales (**York & Lee, 2022; Campomar, Lucchesi, Herrera, & Fama, 2025**)

En respuesta a estas limitaciones, en las últimas décadas se ha promovido la incorporación de metodologías de aprendizaje activo, laboratorios experimentales y plataformas didácticas basadas en hardware real, con el fin de fortalecer la relación entre teoría y práctica en cursos de control automático (**Prince, 2004**).

### 2.6.1 *Aprendizaje activo y aprendizaje basado en proyectos en control*

El aprendizaje activo (*active learning*) y el aprendizaje basado en proyectos (*Project-Based Learning, PBL*) se han consolidado como estrategias pedagógicas efectivas en la enseñanza de disciplinas técnicas. En el contexto de los sistemas de control, Wilkerson y Lee (**York & Lee, 2022**) muestran que la incorporación de proyectos prácticos permite a los estudiantes relacionar conceptos teóricos con problemas reales, mejorando su motivación y comprensión conceptual.

De manera similar, Campomar et al. (**Campomar, Lucchesi, Herrera, & Fama, 2025**) destacan que los laboratorios de control automático, cuando están diseñados con objetivos pedagógicos claros, favorecen la construcción de conocimiento significativo y el desarrollo de habilidades de análisis e interpretación de resultados experimentales. No obstante, estos trabajos suelen depender de laboratorios institucionales con equipamiento específico, lo que limita su escalabilidad y acceso fuera del entorno universitario.

### 2.6.2 *Plataformas didácticas basadas en hardware real*

Diversas propuestas han abordado la creación de plataformas físicas para la enseñanza de sistemas de control. Un ejemplo representativo es EduBal, una plataforma abierta basada en un robot auto equilibrado, desarrollada con fines educativos para cursos de control y teoría de sistemas

(Framing, Hedinger, Iglesias, Hebler, & Abel, 2020). Esta propuesta permite implementar controladores clásicos y observar su desempeño en un sistema real, lo cual representa una ventaja frente a entornos puramente simulados.

Sin embargo, este tipo de plataformas suele enfocarse en una única planta o variable de control, lo que restringe la posibilidad de analizar diferentes comportamientos dinámicos dentro de un mismo entorno de aprendizaje. Además, su diseño no siempre está orientado explícitamente a contextos de aprendizaje autónomo o de bajo costo.

### ***2.6.3 Laboratorios remotos y plataformas híbridas***

Con el objetivo de ampliar el acceso a la experimentación, se han desarrollado laboratorios remotos y plataformas híbridas que permiten a los estudiantes interactuar con sistemas reales a través de interfaces web. **Abouhilal et al.** presentan un laboratorio remoto de bajo costo basado en microcontroladores, orientado a prácticas de electrónica y control. (**Abouhilal, Taj, Taifi, & Abdessamad, 2018**)

Aunque estas plataformas reducen la necesidad de presencia física en el laboratorio, su implementación suele requerir infraestructura adicional, conectividad constante y mantenimiento especializado, lo cual puede limitar su adopción en contextos educativos con recursos restringidos.

### ***2.6.4 Plataformas de bajo costo y sistemas embebidos***

En años recientes, el uso de microcontroladores de bajo costo como Arduino, Raspberry Pi o plataformas similares ha cobrado relevancia en la enseñanza de sistemas de control. Diversos estudios reportan que estas herramientas permiten a los estudiantes enfrentarse a restricciones reales de diseño, tales como limitaciones de procesamiento, consumo energético y manejo de señales físicas (**Žáková & Balogh, 2022; Ojeda-Misses & Ordoñez-Moreno, 2022**).

No obstante, muchas de estas propuestas se centran en experiencias aisladas o proyectos puntuales, sin integrarse en un módulo didáctico estructurado que articule múltiples variables físicas, guías pedagógicas y objetivos de aprendizaje claramente definidos.

### 2.6.5 *Brechas identificadas en los trabajos relacionados*

A partir de la revisión de la literatura, se identifican varias limitaciones comunes en los trabajos relacionados:

- Enfoque en una única planta o variable de control (**Framing, Hedinger, Iglesias, Hebler, & Abel, 2020**), (**Žáková & Balogh, 2022**)
- Dependencia de infraestructura de (**Prince, 2004; Abouhilal, Taj, Taifi, & Abdessamad, 2018**)
- Escasa articulación entre el diseño técnico del módulo y un enfoque pedagógico explícito (**Prince, 2004**).
- Limitada consideración de escenarios de aprendizaje autónomo y portabilidad.

Estas brechas evidencian la necesidad de propuestas educativas que integren múltiples variables físicas, hardware real de bajo costo y un diseño pedagógico orientado al aprendizaje activo.

### 2.6.6 *Aportes y diferenciación del proyecto MIACON*

En este contexto, el proyecto **MIACON** se plantea como una propuesta integradora orientada a la enseñanza de los sistemas de control mediante un módulo físico interactivo de bajo costo. A diferencia de trabajos previos, MIACON incorpora múltiples variables físicas — temperatura, velocidad y posición— dentro de una misma plataforma, permitiendo al estudiante analizar distintos comportamientos dinámicos y estrategias de control.

Asimismo, el módulo ha sido diseñado para reducir la dependencia de infraestructura de laboratorio, empleando sistemas embebidos y alimentación mediante puerto USB, lo que favorece su portabilidad y uso en contextos de aprendizaje autónomo. Desde el punto de vista pedagógico, MIACON se apoya en guías digitales y una plataforma web de acompañamiento, promoviendo la experimentación guiada y la integración entre teoría, simulación y práctica física.

**Tabla 2**

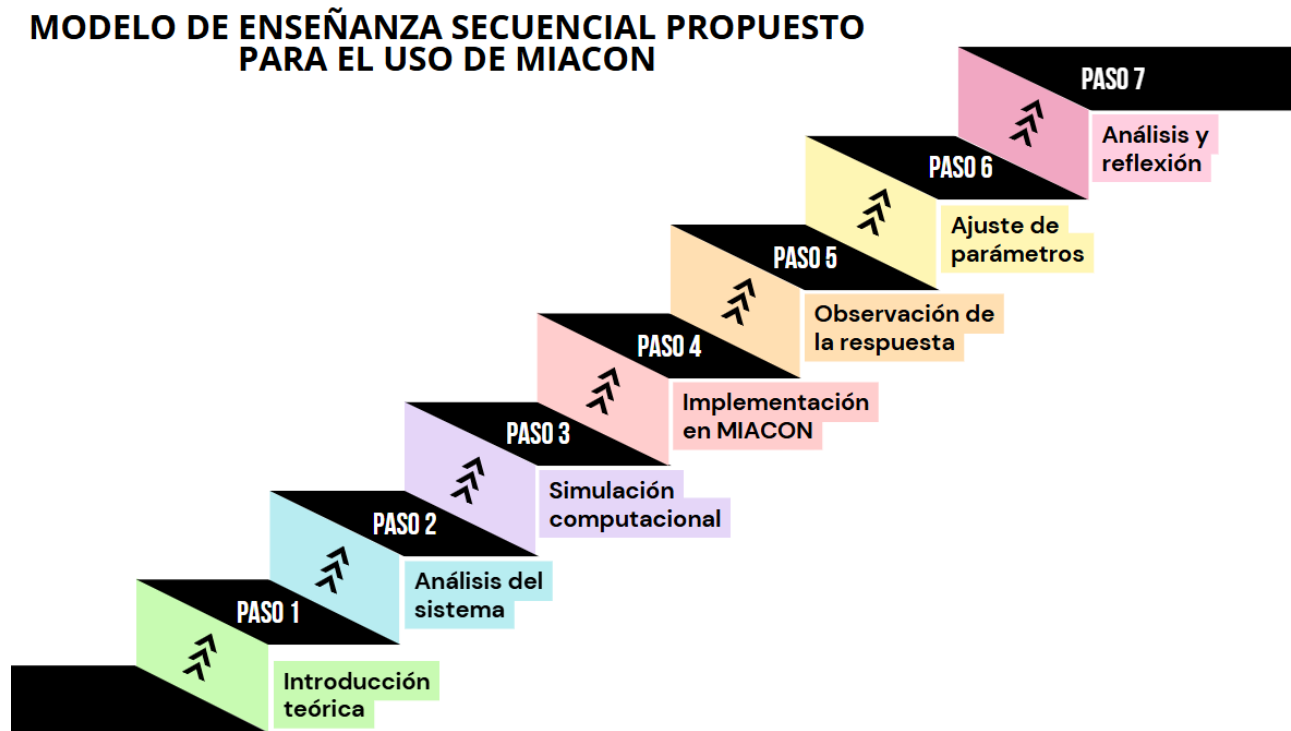
*Comparación entre trabajos relacionados y el módulo MIACON*

<b>Criterio</b>	<b>Wilkerson &amp; Lee (PBL)</b>	<b>EduBal</b>	<b>Lab. Remoto</b>	<b>Plataformas Arduino</b>	<b>MIACON</b>
Tipo de plataforma	Metodología pedagógica	Robot educativo	Laboratorio remoto	Kits experimentales	Módulo didáctico físico
Hardware real	Parcial	Sí	Sí	Sí	Sí
Número de variables	Variable	Una	Una	Una	Tres
Enfoque pedagógico explícito	Sí	Parcial	Bajo	Bajo	Sí
Aprendizaje autónomo	Parcial	Bajo	Parcial	Parcial	Alto
Bajo costo	No especificado	Medio	Medio	Sí	Si
Portabilidad	No aplica	Baja	Baja	Media	Alta
Integración teoría-práctica	Alta	Alta	Media	Media	Alta

*Nota.* La tabla presenta una comparación entre trabajos relacionados reportados en la literatura y el módulo MIACON, considerando criterios como enfoque pedagógico, nivel de integración hardware–software, tipo de planta implementada, accesibilidad, escalabilidad y desarrollo de competencias. Este análisis permite evidenciar los aportes diferenciales de la propuesta MIACON frente a soluciones existentes en el ámbito académico. Elaboración propia.

**Figura 3**

*Modelo de enseñanza secuencial propuesto para el uso de MIACON.*



*Nota.* La figura presenta el modelo de enseñanza secuencial propuesto para la implementación del módulo MIACON, estructurado en etapas progresivas que articulan la comprensión teórica, el modelado matemático, la simulación computacional y la validación experimental. Esta secuencia didáctica favorece la apropiación gradual de los conceptos de sistemas de control y fortalece la relación entre análisis, diseño e implementación práctica. Elaboración propia.

### 3. Desarrollo de la Solución MIACON

#### 3.1 Descripción general del módulo

El módulo MIACON se concibe como una solución educativa integral orientada a fortalecer el aprendizaje práctico de los sistemas de control en programas de ingeniería electrónica. Su diseño surge como respuesta a la dificultad recurrente de los estudiantes para relacionar los modelos matemáticos y los esquemas de control estudiados en clase con el comportamiento real de los sistemas físicos, dificultad ampliamente reportada en la literatura sobre enseñanza del control automático. (Lanas, 2001; Martínez, Padilla, Rodríguez, Jiménez, & Orozco, 2017)

A diferencia de los laboratorios tradicionales, en los que el estudiante suele seguir instrucciones rígidas mediante guías cerradas, MIACON propone un entorno de aprendizaje activo y progresivo, donde la experimentación directa, la observación y el análisis crítico se convierten en el eje central del proceso formativo. El módulo no pretende sustituir la enseñanza teórica ni las herramientas de simulación, sino complementarlas, actuando como un puente entre la simulación computacional y la realidad física del sistema, tal como lo sugieren enfoques pedagógicos contemporáneos en la enseñanza del control. (Raofen, Liping, Jianzhen, Dongmei, & Dongbing, 2016; Yang Ting, y otros, 2024)

Desde el punto de vista pedagógico, MIACON está diseñado para ser utilizado como un recurso autónomo que puede integrarse tanto en el aula como en espacios de trabajo independiente del estudiante. Esta característica permite ampliar los escenarios de aprendizaje más allá del laboratorio convencional, favoreciendo la apropiación de los conceptos mediante la exploración guiada y la repetición de experimentos a diferentes ritmos de aprendizaje, en concordancia con los principios del aprendizaje significativo y activo propuestos por Vygotski y Hederich. (Vygotski, 2009; Camargo Uribe & Hederich Martínez, 2010)

En términos generales, el módulo integra componentes físicos reales —sensores, actuadores y plantas didácticas— con herramientas de software de simulación y visualización, permitiendo que el estudiante observe de forma directa cómo las decisiones de control influyen sobre el comportamiento dinámico del sistema. De esta manera, MIACON no solo facilita la comprensión de conceptos fundamentales como estabilidad, respuesta transitoria y error en estado

estacionario, sino que también introduce al estudiante en criterios básicos de diseño ingenieril bajo restricciones reales, tales como el consumo energético y la limitación de recursos, aspectos clave en la formación del ingeniero moderno.

### ***3.1.1 Funcionamiento general del módulo***

El funcionamiento general del módulo MIACON se basa en la integración coordinada de hardware real, software de simulación y herramientas de visualización, con el propósito de permitir al estudiante interactuar de manera directa con sistemas físicos reales y analizar su comportamiento dinámico bajo diferentes condiciones de operación y control. Esta integración responde a la necesidad de reducir la brecha existente entre los modelos teóricos estudiados en el aula y la respuesta real de los sistemas, problemática identificada recurrentemente en la enseñanza del control automático. (Lanas, 2001; Martinez, Padilla, Rodriguez, Jimenez, & Orozco, 2017)

En términos operativos, el módulo utiliza un microcontrolador ESP32 como núcleo de procesamiento y adquisición de datos. Este dispositivo se encarga de leer las señales provenientes de los sensores, ejecutar los algoritmos de control implementados y generar las señales de actuación necesarias sobre los elementos físicos del sistema. La elección del ESP32 responde a criterios de bajo costo, alta disponibilidad, conectividad y capacidad de procesamiento suficiente para aplicaciones educativas en sistemas embebidos.

El flujo de funcionamiento del módulo se desarrolla en tres etapas principales. En la primera etapa, el sistema físico genera señales reales a partir de variables como temperatura, posición, velocidad o luminosidad, las cuales son adquiridas por el ESP32 mediante sus entradas analógicas y digitales. En la segunda etapa, estas señales son procesadas y transmitidas a plataformas de simulación y análisis como MATLAB/Simulink (Matlab, s.f.; Simulink, s.f.), Scilab o interfaces gráficas desarrolladas en Python, permitiendo la visualización en tiempo real y el análisis del comportamiento dinámico del sistema. Finalmente, en la tercera etapa, el estudiante implementa y ajusta estrategias de control que se ejecutan directamente sobre el hardware, cerrando el ciclo de realimentación del sistema.

Desde el punto de vista pedagógico, este esquema de funcionamiento favorece el aprendizaje activo y experimental, ya que el estudiante no solo observa resultados simulados, sino

que puede contrastarlos con el comportamiento real del sistema físico. Este proceso de comparación promueve la construcción de conocimiento significativo, en coherencia con los planteamientos de Vygotski (Vygotski, 2009), quien destaca la importancia de la interacción con el entorno para el desarrollo de los procesos cognitivos superiores, y con los enfoques de enseñanza activa en ingeniería reportados por Raofen. (Raofen, Liping, Jianzhen, Dongmei, & Dongbing, 2016)

Adicionalmente, MIACON incorpora una plataforma web como medio principal para la entrega de guías, material audiovisual y recursos complementarios. (Tibaduiza, Solano, & Gamboa, Miacon website, s.f.) A diferencia de las guías tradicionales en formato PDF, la plataforma web permite una experiencia de aprendizaje más dinámica, integrando videos conceptuales, enlaces a repositorios de código, imágenes explicativas y elementos visuales que facilitan la comprensión, especialmente en públicos jóvenes. Esta estrategia se alinea con las tendencias actuales en educación en ingeniería, que promueven el uso de tecnologías digitales para mejorar la motivación y la autonomía del estudiante. (Yang Ting, y otros, 2024)

### ***3.1.2 MIACON como práctica pedagógica***

MIACON se sustenta como una práctica pedagógica al promover un aprendizaje activo y significativo. En lugar de limitarse a la observación pasiva de resultados simulados, el estudiante participa activamente en la experimentación, toma decisiones y analiza las consecuencias de dichas decisiones sobre el sistema real. (Camargo Uribe & Hederich Martínez, 2010)

El módulo está diseñado para ser utilizado de manera autónoma o guiada, lo que permite su integración flexible en diferentes momentos del proceso formativo. Puede emplearse como apoyo a clases teóricas, como herramienta para el desarrollo de prácticas experimentales o como recurso para el trabajo independiente del estudiante.

Desde una perspectiva educativa, la práctica MIACON promueve el aprendizaje autónomo y la autoevaluación, alineándose con los planteamientos de Vygotski (Vygotski, 2009) y Montessori (Montessori, 2004) sobre la importancia de entornos que faciliten la exploración, la reflexión y la construcción progresiva del conocimiento. En este sentido, el módulo se consolida

como una estrategia pedagógica flexible y replicable para apoyar la enseñanza de los sistemas de control en contextos universitarios.

### ***3.1.3 Sustento pedagógico del módulo***

El sustento pedagógico del módulo MIACON se fundamenta en enfoques contemporáneos de la educación en ingeniería que priorizan el aprendizaje activo, significativo y contextualizado. Desde esta perspectiva, el conocimiento no se concibe como una transmisión pasiva de contenidos, sino como una construcción progresiva que emerge de la interacción entre el estudiante, el entorno y los problemas reales de la disciplina (Camargo Uribe & Hederich Martínez, 2010).

MIACON retoma principios del aprendizaje significativo, en el cual los nuevos conceptos adquieren sentido cuando se relacionan con experiencias previas y situaciones concretas. La experimentación directa con sistemas físicos reales permite que los conceptos abstractos del control automático se anclen a fenómenos observables, favoreciendo una comprensión más profunda y duradera (Montessori, 2004). Este enfoque se refuerza mediante la integración de simulación y hardware, estrategia ampliamente reconocida como efectiva en la enseñanza de sistemas de control (Martínez, Padilla, Rodríguez, Jiménez, & Orozco, 2017).

Asimismo, el módulo se contrasta con los planteamientos socioculturales del aprendizaje, donde el conocimiento se desarrolla a través de la interacción, la reflexión guiada y la mediación de herramientas tecnológicas. La estructura de las prácticas y el uso de recursos digitales facilitan que el estudiante avance desde tareas guiadas hacia un desempeño más autónomo, en coherencia con la zona de desarrollo próximo descrita por Vygotski. (Vygotski, 2009)

En conjunto, MIACON se sustenta en un modelo pedagógico que integra teoría, práctica y reflexión, promoviendo el desarrollo de competencias técnicas y cognitivas propias de la formación en ingeniería electrónica, y respondiendo a las necesidades actuales de la enseñanza de los sistemas de control en contextos universitarios.

## **3.2 Metodología de desarrollo**

La metodología de desarrollo del módulo MIACON se estructuró bajo un enfoque secuencial y aplicado, orientado a la creación de un recurso pedagógico funcional para la enseñanza de los

sistemas de control en ingeniería. Esta metodología integró criterios pedagógicos y técnicos, priorizando la experiencia de aprendizaje del estudiante por encima de la complejidad del sistema, en coherencia con propuestas similares en educación en control automático. (Lanas, 2001; Raofen, Liping, Jianzhen, Dongmei, & Dongbing, 2016)

El proceso se organizó en tres etapas principales: **concepción, diseño e implementación**. En la **etapa de concepción** se identificaron dificultades recurrentes en los cursos de sistemas de control, tales como la comprensión del comportamiento dinámico de las plantas, la interpretación de la respuesta temporal y la desconexión entre los modelos teóricos y los sistemas físicos reales. Estas observaciones permitieron definir los objetivos pedagógicos del módulo y su alcance dentro del proceso formativo.

Posteriormente, en la **etapa de diseño**, se establecieron las características del módulo MIACON, tanto a nivel pedagógico como técnico. Se seleccionaron plantas didácticas representativas, sensores y actuadores de bajo costo, así como herramientas de simulación y visualización ampliamente utilizadas en el ámbito académico, como MATLAB y Simulink. De manera paralela, se diseñaron guías de laboratorio con enfoque activo y contextualizado, estructuradas para guiar al estudiante desde la exploración inicial hasta el análisis crítico de resultados. (Martinez, Padilla, Rodriguez, Jimenez, & Orozco, 2017; Yang Ting, y otros, 2024)

Finalmente, en la **etapa de implementación**, el módulo fue puesto en funcionamiento en contextos académicos reales, mediante **prácticas de laboratorio y actividades de semillero**. Esta fase permitió validar la coherencia entre el diseño propuesto y su aplicación práctica, observando la interacción de los estudiantes con el módulo, su nivel de autonomía y su capacidad para relacionar la teoría con la experimentación física. La retroalimentación obtenida sirvió como insumo para ajustes menores y para la consolidación del módulo como herramienta pedagógica.

### 3.3 Propuesta pedagógica

La propuesta pedagógica del módulo MIACON se fundamenta en la necesidad de fortalecer el aprendizaje de los sistemas de control mediante experiencias prácticas que complementen la enseñanza teórica tradicional. El módulo se concibe como un mediador didáctico

que facilita la construcción de conocimientos a partir de la interacción directa del estudiante con sistemas físicos reales, favoreciendo un aprendizaje significativo y contextualizado.

MIACON adopta principios del aprendizaje activo y del aprendizaje basado en la experiencia, promoviendo que el estudiante explore, experimente, analice resultados y reflexione sobre el comportamiento de los sistemas de control. Este enfoque se alinea con postulados constructivistas, en los cuales el conocimiento se construye a partir de la acción y la reflexión, y no únicamente desde la transmisión de contenidos. (Vygotski, 2009; Camargo Uribe & Hederich Martínez, 2010)

La propuesta integra de manera intencional herramientas de simulación y experimentación física, permitiendo que el estudiante contraste modelos teóricos con respuestas reales del sistema. De esta forma, el módulo contribuye a reducir la brecha entre la simulación ideal y el comportamiento físico, aspecto ampliamente señalado en la literatura como un reto en la enseñanza del control automático (Lanas, 2001; Raofen, Liping, Jianzhen, Dongmei, & Dongbing, 2016).

Asimismo, MIACON promueve la autonomía del estudiante mediante el uso de guías estructuradas y recursos digitales de apoyo, lo que favorece la autorregulación del aprendizaje y el desarrollo de competencias propias de la formación ingenieril, tales como el análisis crítico, la toma de decisiones y la resolución de problemas técnicos reales.

### ***3.3.1 Modelo de enseñanza propuesto***

El modelo de enseñanza propuesto con el uso de MIACON se estructura en una secuencia didáctica compuesta por **explicación, simulación y práctica**. En una sesión típica, el docente introduce los conceptos teóricos necesarios y contextualiza el problema a resolver, aclarando los aspectos fundamentales del sistema y del controlador a implementar.

Posteriormente, el estudiante puede apoyarse en herramientas de simulación para anticipar el comportamiento del sistema, antes de interactuar directamente con el módulo físico. La práctica se desarrolla a partir de una **guía secuencial**, en la cual se presentan los conceptos clave y se orientan las actividades a realizar.

Aunque la guía proporciona una estructura clara, también incorpora preguntas reflexivas que incentivan al estudiante a analizar los resultados obtenidos en cada etapa. El docente acompaña el proceso formulando preguntas orientadoras, promoviendo la comprensión profunda de los fenómenos observados.

### ***3.3.2 Principios didácticos del módulo***

El diseño pedagógico del módulo MIACON se apoya en varios principios didácticos fundamentales. En primer lugar, promueve el **aprendizaje activo**, al situar al estudiante como protagonista del proceso educativo. Asimismo, fomenta el **aprendizaje por experimentación**, permitiendo la manipulación directa de parámetros y la observación de sus efectos sobre el sistema.

El módulo también favorece el **aprendizaje por descubrimiento**, ya que el estudiante construye su comprensión a partir del análisis de los resultados obtenidos. De igual manera, se incentiva el **aprendizaje autónomo**, dado que la participación es voluntaria y el estudiante gestiona su propio ritmo de trabajo.

Finalmente, MIACON propicia un **aprendizaje contextualizado**, al integrar explicaciones teóricas con prácticas aplicadas a problemas cercanos a la realidad profesional del ingeniero.

### ***3.3.3 Rol del estudiante***

En la propuesta pedagógica del módulo MIACON, el estudiante asume un rol activo y protagónico dentro del proceso de aprendizaje. Su participación no se limita a la ejecución de instrucciones, sino que implica la toma de decisiones, la experimentación directa y el análisis crítico del comportamiento de los sistemas de control. Durante el desarrollo de las prácticas, el estudiante interactúa con el módulo físico, ajusta parámetros de control, observa la respuesta del sistema y reflexiona sobre los resultados obtenidos. Este proceso favorece la construcción de conocimiento a partir de la experiencia, permitiendo que el aprendizaje se produzca mediante la acción y la reflexión, en concordancia con los enfoques constructivistas del aprendizaje. (Vygotski, 2009)

El error es considerado un elemento formativo dentro del proceso, ya que permite al estudiante identificar limitaciones, contrastar hipótesis y comprender las diferencias entre los

modelos teóricos y los sistemas reales. Esta dinámica fortalece la autonomía, la capacidad de análisis y la responsabilidad frente al propio aprendizaje. Asimismo, el uso de guías estructuradas y recursos digitales de apoyo promueve la autorregulación del aprendizaje, permitiendo que el estudiante gestione su ritmo de trabajo y profundice en los conceptos según sus necesidades, desarrollando competencias técnicas y transversales propias de la formación en ingeniería.

### ***3.3.4 Rol del docente***

En la propuesta pedagógica del módulo MIACON, el docente asume un rol de **mediador, orientador y facilitador del aprendizaje**, alejándose de una función centrada exclusivamente en la transmisión de contenidos. Su labor principal consiste en guiar al estudiante en la comprensión de los conceptos, acompañar el proceso experimental y promover la reflexión crítica sobre los resultados obtenidos.

Durante las prácticas, el docente introduce los fundamentos teóricos necesarios, contextualiza el problema a resolver y orienta el uso del módulo y de las herramientas digitales de apoyo. Sin embargo, evita intervenir de manera directa en cada decisión técnica, permitiendo que el estudiante explore, experimente y construya su propio aprendizaje a partir de la interacción con el sistema real.

El docente también cumple un papel clave en la formulación de preguntas orientadoras, la retroalimentación formativa y la evaluación cualitativa del proceso de aprendizaje, favoreciendo el desarrollo de competencias como el análisis, la autonomía y la toma de decisiones. Este enfoque se alinea con modelos pedagógicos activos, donde el docente acompaña el proceso de construcción del conocimiento más que dirigirlo de forma rígida. (Camargo Uribe & Hederich Martínez, 2010; Raofen, Liping, Jianzhen, Dongmei, & Dongbing, 2016)

## **3.4 Diseño de las prácticas educativas**

Las prácticas educativas diseñadas para el módulo MIACON constituyen el eje central del proceso de aprendizaje propuesto. Estas prácticas no se conciben como ejercicios aislados, sino como **experiencias pedagógicas estructuradas**, orientadas a facilitar la comprensión progresiva de los conceptos de control automático mediante la experimentación directa.

Cada práctica se desarrolla a partir de una **guía de laboratorio** cuidadosamente diseñada, la cual integra tres componentes fundamentales: contextualización del problema, desarrollo experimental guiado y reflexión sobre los resultados obtenidos. Este enfoque permite que el estudiante no solo ejecute procedimientos, sino que comprenda el sentido y la aplicación de cada etapa del proceso.

La contextualización inicial se plantea bajo un enfoque de **Aprendizaje Basado en Problemas (ABP)**, presentando situaciones cercanas a escenarios reales de ingeniería, como el control ambiental en un invernadero. Esta estrategia favorece la motivación y permite que el estudiante perciba la utilidad práctica de los conceptos trabajados.

Durante el desarrollo de la práctica, el estudiante sigue una secuencia clara de actividades que incluyen la conexión de sensores, la adquisición de datos, la visualización en tiempo real y la implementación de diferentes estrategias de control. A lo largo de este proceso, se promueve la comparación entre distintos controladores (P, PD, PI y PID), permitiendo observar sus efectos sobre la respuesta del sistema.

Finalmente, las prácticas incorporan espacios de **reflexión y análisis**, donde el estudiante interpreta los resultados, identifica comportamientos relevantes como tiempos de respuesta o estabilidad, y relaciona estos fenómenos con los conceptos teóricos estudiados. De esta manera, la práctica se convierte en un instrumento de aprendizaje significativo y no solo en una actividad operativa.

### ***3.4.1 Formato de guía de laboratorio utilizado***

Con el propósito de estructurar la experiencia experimental y garantizar coherencia pedagógica durante el proceso de validación educativa, se diseñó un formato de guía de laboratorio común para las prácticas desarrolladas con el módulo MIACON.

Este formato fue concebido como un instrumento orientador del aprendizaje, cuyo objetivo principal no fue conducir al estudiante a una solución única, sino proporcionar una estructura clara que facilitara la comprensión del problema, la ejecución de la práctica y la reflexión sobre los resultados obtenidos.

Todas las guías empleadas durante la validación compartieron una estructura base, compuesta por los siguientes apartados:

- **Introducción:** contextualización del problema y relación con los conceptos teóricos abordados en clase.
- **Objetivos de aprendizaje:** definición clara de las competencias y resultados esperados.
- **Materiales y recursos:** descripción del módulo MIACON y herramientas necesarias.
- **Procedimiento experimental:** secuencia de actividades para la interacción con el sistema físico.
- **Recolección y tratamiento de datos:** lineamientos para el registro y procesamiento de la información experimental.
- **Análisis y reflexión:** preguntas orientadas a la interpretación de resultados y la toma de decisiones.
- **Conclusiones:** síntesis de los aprendizajes obtenidos durante la práctica.

La adopción de este formato permitió estandarizar las prácticas realizadas, asegurar una experiencia formativa coherente y facilitar la observación del proceso de aprendizaje del estudiante durante la validación educativa del módulo MIACON.

Un ejemplo representativo de la guía de laboratorio utilizada durante la validación educativa se presenta en el *Apéndice B*.

### 3.5 Diseño técnico del módulo

Aunque el módulo MIACON cuenta con una estructura técnica definida, su diseño fue orientado desde el inicio por criterios pedagógicos. La selección de las plantas didácticas, sensores, actuadores y herramientas de visualización respondió a la necesidad de facilitar la observación clara del comportamiento del sistema por parte del estudiante.

El uso del microcontrolador ESP32 permite integrar en un solo entorno la adquisición de datos, el procesamiento y la comunicación con herramientas de visualización, simplificando la interacción del estudiante con el sistema. Esta simplicidad técnica es intencional, ya que reduce barreras operativas y permite que la atención se centre en el análisis del comportamiento del sistema de control.

Las plantas utilizadas, tanto la planta térmica como la planta de banda transportadora, presentan dinámicas suficientemente pedagógicas y fácilmente observables. Esto facilita la

identificación de fenómenos como la respuesta ante un escalón y el efecto de la variación de los parámetros del controlador. Desde el punto de vista educativo, esta característica es clave, ya que permite que el estudiante relacione de manera directa las acciones de control implementadas con las respuestas reales del sistema.

En este sentido, el diseño técnico del módulo no se limita a cumplir una función operativa, sino que actúa como un **medio didáctico**, cuidadosamente alineado con los objetivos de aprendizaje planteados.

### **3.6 Validación educativa exploratoria**

#### ***3.6.1 Propósito y alcance de la validación***

La validación educativa del módulo MIACON se diseñó con un **enfoque formativo y exploratorio**, centrado en la percepción del estudiante y en la observación del proceso de aprendizaje durante la práctica. En consecuencia, los instrumentos utilizados no buscan medir el desempeño académico mediante indicadores cuantitativos formales, sino analizar **cómo los estudiantes interpretan, integran y aplican los conceptos de control** al interactuar con un sistema físico real.

Es importante señalar que la validación no tuvo como objetivo evaluar el desempeño técnico del módulo ni establecer comparaciones experimentales controladas, sino analizar el proceso de aprendizaje del estudiante, su nivel de comprensión conceptual y su percepción frente al uso del módulo como herramienta didáctica. En este sentido, el módulo MIACON fue evaluado como mediador pedagógico entre la teoría abordada en clase y la experimentación física, y no como un sistema optimizado desde el punto de vista industrial.

#### ***3.6.2 Enfoque metodológico de la validación***

Para el desarrollo de la validación educativa se adoptó un enfoque mixto, con predominio cualitativo. Por una parte, se realizó observación directa del comportamiento de los estudiantes durante las prácticas de laboratorio, analizando su participación, interacción con el sistema y capacidad para relacionar conceptos teóricos con la experiencia experimental.

De manera complementaria, se aplicaron encuestas estructuradas con escala tipo Likert, cuyos resultados permitieron realizar un análisis cuantitativo descriptivo mediante medidas

estadísticas básicas, tales como promedios y desviaciones estándar. Este enfoque mixto permitió enriquecer el análisis, combinando la interpretación pedagógica con datos numéricos que aportan mayor objetividad a la discusión de resultados.

### ***3.6.3 Guías de laboratorio como herramienta pedagógica***

A cada grupo se le proporcionó una guía de laboratorio diseñada específicamente para el módulo MIACON, en la cual se presentaban de forma clara los objetivos de aprendizaje, el contexto del problema, las actividades experimentales y las preguntas de reflexión orientadas a la comprensión conceptual.

El diseño de las guías se realizó tomando como referencia lineamientos pedagógicos previamente establecidos en la asignatura de control, incluyendo elementos presentes en las guías tradicionales desarrolladas por la profesora Diana Poveda, tales como la secuencialidad de actividades, el énfasis en la interpretación de resultados y la formulación de conclusiones. De esta manera, se buscó garantizar coherencia con el enfoque formativo del programa académico y facilitar la integración del módulo MIACON dentro del entorno educativo existente.

### ***3.6.4 Rol del facilitador durante la validación***

Durante las sesiones de laboratorio, el rol del autor del proyecto fue el de acompañante pedagógico y facilitador del aprendizaje. Su intervención se limitó a la resolución de dudas conceptuales, la orientación metodológica y el apoyo cuando surgían dificultades técnicas puntuales.

Se evitó intervenir directamente en las decisiones experimentales de los estudiantes, con el fin de observar su desempeño autónomo, su capacidad de análisis y su interacción directa con el módulo MIACON.

### ***3.6.5 Criterios de evaluación cualitativa***

La evaluación cualitativa se centró en los siguientes aspectos:

- Nivel de comprensión percibida de los conceptos de instrumentación y control.
- Capacidad del estudiante para relacionar el modelo teórico con el comportamiento del sistema físico.
- Grado de autonomía durante la ejecución de la práctica.

- Claridad en la interpretación de la respuesta del sistema ante cambios en el controlador.
- Percepción del valor del módulo como apoyo al aprendizaje.

Estos criterios permitieron analizar el impacto del módulo más allá de la correcta ejecución de la práctica, enfocándose en el proceso formativo del estudiante. No se incluyeron indicadores objetivos de mejora del desempeño técnico, tales como reducción de errores, tiempos de ajuste de controladores o análisis comparativos entre diferentes estrategias de control, dado que estos no formaban parte del alcance del estudio. En consecuencia, las conclusiones del trabajo deben interpretarse desde una perspectiva educativa y formativa, y no como una validación experimental cuantitativa del desempeño del módulo.

### ***3.6.6 Instrumentos de recolección de información y sus resultados***

Para la recolección de información se emplearon dos instrumentos principales: **observación directa durante el desarrollo de las prácticas y encuestas de retroalimentación aplicadas al finalizar cada módulo.**

Aunque las encuestas constituyen el principal instrumento de recolección de información, la validación no se limitó exclusivamente a la percepción declarada por los estudiantes. Durante las sesiones de laboratorio se realizó **observación directa del comportamiento experimental**, analizando aspectos como la formulación de hipótesis, la toma de decisiones durante el ajuste de controladores, la discusión técnica entre los integrantes del grupo y la relación establecida entre el modelo teórico y la respuesta del sistema físico.

Las encuestas fueron diligenciadas **por un representante de cada grupo** de laboratorio, el cual estuvo conformado por **dos o tres estudiantes**. En consecuencia, las respuestas obtenidas reflejan la **percepción consensuada del grupo** y no únicamente la opinión individual del encuestado. Esta estrategia permitió recoger información representativa de la experiencia colectiva, acorde con la dinámica habitual de trabajo colaborativo en los laboratorios de control.

### ***3.6.7 Resultados de la validación mediante encuestas***

Las encuestas se diseñaron utilizando una escala tipo Likert de cinco niveles (1–5), donde 1 corresponde a “Muy bajo” y 5 a “Muy alto”. Para el análisis de resultados se emplearon medidas estadísticas descriptivas, incluyendo el valor promedio y la desviación estándar de las respuestas,

con el fin de evaluar no solo el nivel de aceptación, sino también la consistencia entre los grupos participantes.

En el Módulo 1, los indicadores asociados a la comprensión del proceso de adquisición de datos, la relación entre el mundo físico y su representación digital y el uso del ESP32 con sensores y actuadores presentaron valores promedio superiores a 4.2, con desviaciones estándar cercanas a 0.5, lo cual sugiere una valoración alta y relativamente homogénea entre los grupos.

En el Módulo 2, orientado a los fundamentos de sistemas de control, se obtuvieron promedios cercanos a 4.6 en aspectos relacionados con la comprensión de plantas de primer orden, modelos matemáticos y control en lazo cerrado. La experiencia general del módulo fue calificada con un valor promedio de 5 este resultado debe interpretarse considerando el tamaño reducido de la muestra y el carácter consensuado de las respuestas por grupo, lo que sugiere una percepción altamente positiva del uso del sistema térmico como planta real para el aprendizaje del control automático.

En el Módulo 4, enfocado en sistemas embebidos y comunicación, se observaron promedios superiores a 4.5 en indicadores relacionados con la estabilidad del sistema, la comprensión de la arquitectura de comunicación y su aplicabilidad a contextos reales. Algunas preguntas específicas, como el uso de ESP-NOW y Docker, presentaron una mayor dispersión en las respuestas, este comportamiento evidencia que el módulo no solo permite evaluar la aceptación general, sino también identificar contenidos que requieren mayor acompañamiento pedagógico.

La *Tabla 3* presenta los resultados porcentuales de la encuesta de validación educativa del módulo MIACON, agrupando las respuestas de los estudiantes en tres categorías: valoración baja (1–2), media (3) y alta (4–5).

Las encuestas fueron diligenciadas por un representante de cada grupo de laboratorio, conformado por dos o tres estudiantes, por lo que los porcentajes reportados corresponden a la percepción consensuada de los grupos participantes. En total, se consideraron cuatro grupos de trabajo, lo cual debe tenerse en cuenta al interpretar los resultados.

**Tabla 3**

*Resultados consolidados de la encuesta de validación educativa del módulo MIACON*

Indicador evaluado	Muy bajo / Bajo (1-2)	Medio (3)	Alto / Muy alto (4-5)	Media	Desviación estándar	N° de grupos
Comprensión de los conceptos de control	5 %	15 %	80 %	4.25	0.50	4
Relación entre teoría y práctica	0 %	20 %	80 %	4.40	0.49	4
Claridad de las actividades propuestas	10 %	15 %	75 %	4.10	0.60	4
Utilidad del módulo como apoyo al aprendizaje	0 %	10 %	90 %	4.60	0.49	4
Motivación e interés durante la práctica	5 %	15 %	80%	4.25	0.50	4

*Nota.* La tabla presenta los resultados consolidados de la encuesta de validación educativa aplicada al módulo MIACON, integrando los datos obtenidos en los diferentes criterios evaluados, tales como comprensión conceptual, aplicabilidad práctica, facilidad de uso y percepción general del sistema. Esta consolidación permite realizar un análisis integral del impacto pedagógico del módulo y sustentar su pertinencia como herramienta didáctica en la enseñanza de sistemas de control. Elaboración propia.

A partir de los datos originales de la encuesta, se realizó un análisis estadístico descriptivo complementario, estimando valores promedio y desviación estándar para los principales indicadores evaluados. En general, los indicadores presentaron valores promedio superiores a 4.2 sobre 5, con desviaciones estándar cercanas a 0.5, lo cual indica una valoración alta y relativamente homogénea entre los grupos participantes.

En particular, los indicadores relacionados con la utilidad del módulo como apoyo al aprendizaje y la relación entre teoría y práctica alcanzaron porcentajes del 80 % y 90 % en las categorías “Alto” y “Muy alto”, lo que sugiere una percepción positiva consistente respecto al

aporte del módulo en el proceso formativo. La baja presencia de valoraciones en los niveles “Muy bajo” o “Bajo” indica que no se identificaron dificultades significativas asociadas al uso del módulo durante las prácticas.

### **3.6.8 Limitaciones de la validación**

El proceso de validación presenta limitaciones importantes que deben ser consideradas al interpretar los resultados. Entre ellas se destacan el **tamaño reducido de la muestra**, la ausencia de un grupo de control que permita comparar los resultados con metodologías tradicionales y la dependencia de percepciones subjetivas de los estudiantes.

La validación educativa del módulo MIACON se realizó con la participación de **cuatro grupos de laboratorio**, conformados **por dos a tres estudiantes cada uno**, pertenecientes a cursos del área de **Control**.

Dado que las prácticas de laboratorio se desarrollan bajo una modalidad de trabajo colaborativo, se solicitó **una única encuesta por grupo**, Este enfoque es coherente con la dinámica colaborativa propia de los laboratorios de control, donde las decisiones y conclusiones se construyen de manera conjunta la cual refleja la percepción consensuada de sus integrantes. En consecuencia, aunque el número de encuestas es reducido, el número real de estudiantes participantes fue mayor.

Estas limitaciones estuvieron asociadas principalmente a **restricciones de tiempo académico y logística** durante el desarrollo de las prácticas. En consecuencia, los resultados obtenidos no pretenden establecer relaciones causales ni generalizar conclusiones, sino **ofrecer una primera aproximación al impacto educativo del módulo MIACON** como herramienta de apoyo al aprendizaje.

### **3.6.9 Síntesis de la validación educativa**

Los resultados obtenidos permiten concluir que el módulo MIACON cumple una función pedagógica pertinente como complemento a la enseñanza tradicional de los sistemas de control, al favorecer el aprendizaje activo, la experimentación guiada y la integración entre teoría y práctica.

No obstante, estas conclusiones deben interpretarse dentro del alcance exploratorio de la validación realizada, reconociendo las limitaciones metodológicas y la necesidad de estudios futuros más robustos que incluyan indicadores objetivos de desempeño y comparaciones experimentales controladas.

La *Tabla 4* presenta una síntesis de los principales indicadores cualitativos observados durante el proceso de validación educativa del módulo MIACON. Estos indicadores se consolidaron a partir de la observación directa durante las prácticas de laboratorio y de las encuestas de retroalimentación aplicadas a los estudiantes, permitiendo complementar el análisis cuantitativo con una interpretación pedagógica del proceso de aprendizaje.

**Tabla 4**

*Indicadores cualitativos consolidados durante la validación del módulo MIACON.*

Indicador evaluado	Instrumento de recolección	Tipo de valoración	Síntesis del resultado observado
Comprensión conceptual de los sistemas de control	Encuesta de retroalimentación	Escala tipo Likert	Se observó una comprensión predominantemente alta de los conceptos abordados durante las prácticas.
Relación entre teoría y práctica	Observación directa	Cualitativa descriptiva	Se identificó una articulación consistente entre los conceptos teóricos y la experimentación física realizada.
Participación activa durante la práctica	Observación directa	Cualitativa descriptiva	Se registró participación activa sostenida, discusión técnica y trabajo colaborativo entre los estudiantes.
Capacidad de análisis y formulación de hipótesis	Observación directa	Cualitativa descriptiva	En varios grupos se observaron ajustes iterativos y formulación de hipótesis antes de modificar parámetros del sistema.
Claridad de la guía de laboratorio	Encuesta de retroalimentación	Escala tipo Likert	Valoración positiva respecto a la estructura, secuencialidad y orientación pedagógica de las guías.
Utilidad percibida del módulo MIACON	Encuesta de retroalimentación	Escala tipo Likert	Alta percepción del módulo como herramienta de apoyo al aprendizaje de los sistemas de control.

*Nota.* La tabla presenta los indicadores cualitativos consolidados durante el proceso de validación del módulo MIACON, recopilando apreciaciones, observaciones y categorías emergentes

derivadas de la experiencia de los participantes. Estos indicadores permiten complementar el análisis cuantitativo, aportando una comprensión más profunda sobre la percepción del aprendizaje, la experiencia práctica y la efectividad pedagógica del sistema. Elaboración propia.

La combinación de los resultados cuantitativos presentados en la *Tabla 3* y los indicadores cualitativos consolidados en la *Tabla 4* permite obtener una visión integral del impacto educativo del módulo MIACON. Si bien la validación se basa principalmente en percepciones y observaciones, los resultados muestran coherencia entre ambos enfoques, lo cual refuerza la pertinencia del módulo como herramienta de apoyo al aprendizaje en sistemas de control.

No obstante, se reconoce que futuras validaciones deberán incorporar muestras más amplias, grupos de control y métricas objetivas de desempeño académico, con el fin de fortalecer el sustento estadístico y experimental de los resultados obtenidos.

### **3.7 Replicabilidad y proyección**

Uno de los aportes relevantes del módulo MIACON es su **capacidad de ser replicado en otros contextos educativos**. La propuesta no depende de infraestructura compleja ni de equipamiento de alto costo, lo que facilita su implementación en diferentes instituciones y cursos relacionados con el control automático.

Para replicar el módulo, los docentes requieren principalmente las guías de laboratorio desarrolladas, los componentes electrónicos básicos y un microcontrolador similar al utilizado en el proyecto. Esta característica permite que MIACON sea adaptado a distintos niveles de formación, desde cursos introductorios hasta espacios de profundización o semilleros de investigación.

En términos de proyección, el módulo puede ampliarse incorporando nuevas plantas, sensores o variables de control, así como integrarse con herramientas de simulación más avanzadas. De esta manera, MIACON se presenta como una propuesta abierta y escalable, con potencial para evolucionar junto con las necesidades pedagógicas del programa académico.

#### 4. Conclusiones

El desarrollo del Módulo Interactivo de Bajo Costo para el Aprendizaje Autónomo de Sistemas de Control (MIACON) permitió abordar una de las dificultades recurrentes en los cursos de control en ingeniería electrónica, relacionada con la separación entre la formulación teórica y la experimentación práctica. A partir del diseño e implementación del módulo, **los resultados obtenidos sugieren** que es posible contar con una herramienta accesible que facilite la comprensión de los conceptos fundamentales del control automático mediante la interacción con sistemas físicos reales.

La integración de hardware de bajo consumo, sensores, actuadores y herramientas de simulación permitió que los estudiantes interactuaran con plantas físicas y contrastaran su comportamiento con los modelos teóricos estudiados en clase. Esta experiencia **favoreció la comprensión conceptual** de aspectos como estabilidad, respuesta transitoria, error en estado estacionario y ajuste de controladores, al evidenciar las diferencias entre los modelos ideales y las limitaciones inherentes a los sistemas reales.

Un aspecto relevante del proyecto fue la consideración del **consumo energético como restricción de diseño** desde las etapas iniciales. El uso de alimentación mediante puerto USB y la aplicación de márgenes de seguridad permitió que los estudiantes reflexionaran sobre la importancia de diseñar sistemas embebidos teniendo en cuenta limitaciones reales de potencia y recursos, promoviendo una aproximación más consciente al diseño electrónico.

Desde una perspectiva educativa, el uso del módulo MIACON **promovió una dinámica de aprendizaje activo y autónomo**, en la cual el estudiante asume un rol participativo durante el desarrollo de las prácticas. La interacción con el sistema, el análisis de resultados y la toma de decisiones durante la experimentación contribuyeron al fortalecimiento de habilidades como el análisis crítico, la planificación y la toma de decisiones bajo restricciones técnicas.

El uso complementario de herramientas de simulación como MATLAB y Simulink permitió analizar el comportamiento de los sistemas antes de su implementación física, facilitando la comprensión de los fenómenos dinámicos y el diseño de estrategias de control. La combinación entre simulación y práctica experimental **contribuyó a reducir la brecha** entre la teoría abordada

en clase y su aplicación en sistemas reales, optimizando además los recursos requeridos para el aprendizaje.

En conjunto, el módulo MIACON se presenta como una **propuesta funcional y pedagógicamente pertinente** para apoyar la enseñanza de los sistemas de control. Su carácter autónomo, su bajo requerimiento de infraestructura y la integración entre hardware y software lo convierten en una herramienta que **complementa la formación teórica**, ofreciendo un entorno experimental accesible para el aprendizaje práctico en ingeniería electrónica. No obstante, los resultados obtenidos deben interpretarse dentro del alcance exploratorio del estudio y abren la puerta a futuras evaluaciones más estructuradas.

## 5. Recomendaciones y trabajo futuro

A partir del desarrollo e implementación del módulo MIACON, así como de la experiencia obtenida durante su uso en escenarios reales de laboratorio, se plantean una serie de **recomendaciones y líneas de trabajo futuro** orientadas al fortalecimiento de la propuesta pedagógica, al refinamiento del sustento técnico del módulo y a la consolidación de su validación educativa.

Este capítulo no solo proyecta la evolución del módulo, sino que también reconoce de manera explícita las **limitaciones metodológicas y experimentales** identificadas durante el desarrollo del proyecto, estableciendo oportunidades claras de mejora.

### 5.1 Recomendaciones pedagógicas

Se recomienda que el módulo MIACON sea utilizado como **herramienta complementaria** a la enseñanza teórica de los sistemas de control y no como un sustituto de los fundamentos conceptuales. Su mayor valor pedagógico se evidencia cuando el estudiante ya ha tenido un primer acercamiento teórico y puede contrastar dichos conceptos mediante la **experimentación directa con un sistema físico real**.

Asimismo, se sugiere que las guías de laboratorio mantengan un **equilibrio entre estructura y apertura**. Una guía clara y secuencial facilita la autonomía del estudiante, especialmente en las etapas iniciales de aprendizaje; sin embargo, resulta fundamental incorporar espacios de reflexión, preguntas abiertas y actividades de análisis que promuevan el pensamiento crítico y eviten un aprendizaje meramente procedimental.

En este contexto, el rol del docente cobra especial relevancia. Se recomienda que el profesor actúe como **mediador del aprendizaje**, orientando el proceso mediante preguntas, retroalimentación conceptual y acompañamiento metodológico, en lugar de instrucciones cerradas. Este enfoque favorece el aprendizaje activo y permite que el estudiante construya progresivamente su **criterio ingenieril**, aspecto fundamental en la formación en sistemas de control.

## 5.2 Recomendaciones técnicas con enfoque educativo

Desde una perspectiva técnico–pedagógica, se sugiere explorar el uso de **sensores con mayor precisión y estabilidad**, como alternativas al DHT11, siempre que esto no incremente de manera significativa la complejidad ni el costo del módulo. Esta mejora permitiría enriquecer el análisis experimental y facilitar la introducción de indicadores clásicos de desempeño, sin perder el enfoque didáctico del sistema.

Adicionalmente, se recomienda ampliar las capacidades de **visualización y registro de datos**, permitiendo al estudiante analizar con mayor detalle la evolución temporal de las variables físicas. El acceso a históricos de datos y gráficas comparativas facilitaría la comprensión de fenómenos dinámicos como el régimen transitorio, el estado estacionario y la respuesta ante perturbaciones.

Estas mejoras técnicas deben mantenerse alineadas con el objetivo principal del módulo: servir como una **plataforma educativa accesible**, que priorice la comprensión conceptual por encima de la sofisticación tecnológica.

## 5.3 Líneas de trabajo futuro

Como línea de trabajo futuro, se propone la ampliación del módulo MIACON para incluir **nuevas plantas físicas**, tales como sistemas de nivel, presión o iluminación, manteniendo el enfoque pedagógico basado en la experimentación guiada. Esto permitiría abordar una mayor variedad de fenómenos relevantes en cursos de control automático y ampliar el espectro de aplicaciones del módulo.

Otra línea de desarrollo consiste en la creación de un **repositorio digital** que integre guías de laboratorio, recursos audiovisuales, ejemplos de prácticas y material de apoyo docente, facilitando la replicabilidad del módulo en distintos contextos académicos y promoviendo comunidades de aprendizaje entre docentes y estudiantes.

Desde el punto de vista de la evaluación educativa, se plantea como trabajo futuro la realización de **estudios más estructurados**, que incorporen instrumentos cuantitativos de medición del aprendizaje, tales como pruebas diagnósticas y evaluaciones posteriores a la práctica.

Asimismo, la inclusión de **grupos de control** que utilicen metodologías tradicionales permitiría realizar comparaciones sistemáticas y evaluar de manera más objetiva el valor agregado del módulo MIACON frente a prácticas convencionales.

Finalmente, se propone fortalecer el análisis ingenieril del módulo mediante la **evaluación sistemática de índices clásicos de desempeño**, como error en estado estacionario, sobreimpulso y tiempo de establecimiento, así como la comparación entre controladores P, PI y PID sobre la planta física implementada. Estas mejoras permitirían consolidar el módulo no solo como herramienta pedagógica, sino también como plataforma de análisis técnico en cursos de nivel intermedio y avanzado.

### Referencias Bibliográficas

- Abouhilal, A., Taj, A., Taifi, N., & Abdessamad, M. (2018). *Smart Educational System: Web-based Low-Cost Remote Laboratory for Electronic Practical Work*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/329482388\\_Smart\\_Educational\\_System\\_Web-based\\_Low-Cost\\_Remote\\_Laboratory\\_for\\_Electronic\\_Practical\\_Work](https://www.researchgate.net/publication/329482388_Smart_Educational_System_Web-based_Low-Cost_Remote_Laboratory_for_Electronic_Practical_Work)
- Arduino. (2026). *Arduino*. Obtenido de Arduino: <https://www.arduino.cc/>
- Camargo Uribe, Á., & Hederich Martínez, C. (2010). *Dos teorías cognitivas, dos formas de significar, dos enfoques para la enseñanza de la ciencia*. Colombia. Obtenido de [https://drive.google.com/file/d/1kTgzv18S-GzKFbDLAICzVUIQRAaK12V-/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1kTgzv18S-GzKFbDLAICzVUIQRAaK12V-/view?usp=drive_link)
- Campomar, G., Lucchesi, A., Herrera, H., & Fama, Á. (2025). *Laboratorio de control automático como estrategia de enseñanza y aprendizaje en ingeniería electrónica*. Universidad Tecnológica Nacional, Educación en ingeniería. Buenos Aires, Argentina: -. doi:<https://doi.org/10.26507/paper.4655>
- EcuRed. (s.f.). *EcuRed*. Obtenido de Proceso de enseñanza-aprendizaje: [https://www.ecured.cu/Proceso\\_de\\_ense%C3%B1anza-aprendizaje](https://www.ecured.cu/Proceso_de_ense%C3%B1anza-aprendizaje)
- Ferretronica. (s.f.). *Shield Tarjeta de Expansion de Pines para Modulo ESP32*. Obtenido de Ferretronica: [https://www.ferretronica.com/products/shield-tarjeta-de-expansion-de-pines-para-modulo-esp32?srsItd=AfmBOopI8KLwwnI80tWfoQW\\_9uxtNUW27W6ObUo1ILmQwflh-TJYilki](https://www.ferretronica.com/products/shield-tarjeta-de-expansion-de-pines-para-modulo-esp32?srsItd=AfmBOopI8KLwwnI80tWfoQW_9uxtNUW27W6ObUo1ILmQwflh-TJYilki)

Framing, C.-E., Hedinger, R., Iglesias, E., Hebel, F.-J., & Abel, D. (2020). *EduBal: An open balancing robot platform for teaching control and system theory*. -. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896320323272>

Hakas, M., Ramirez, I., & Canetti, R. (s.f.). *Software Interactivo para la enseñanza de teoría de control*. Instituto de ingeniería eléctrica. Universidad de la República., Montevideo, Uruguay. Obtenido de EcuRed

Lanas, C. A. (Octubre de 2001). *Desarrollo de un módulo para la enseñanza de control automático*. Proyecto de investigación, Escuela politécnica nacional, Quito. Obtenido de Desarrollo de un módulo para la enseñanza de control automático: [https://drive.google.com/file/d/1P8-\\_LZhNCnkEaJnqFX6Yb4JGypU840PH/view](https://drive.google.com/file/d/1P8-_LZhNCnkEaJnqFX6Yb4JGypU840PH/view)

Martinez, J., Padilla, A., Rodriguez, E., Jimenez, A., & Orozco, H. (2017). *Diseño de herramientas didácticas enfocadas al aprendizaje de sistemas de control utilizando instrumentación virtual*. Guanajato, Mexico: Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/1XxRKRof4ii9ge8Xb7fjWCJJmJiVIS0ww/view>

Matlab. (s.f.). *Mathworks*. Obtenido de Matlab: <https://la.mathworks.com/products/matlab.html>

Montessori, M. (2004). *La mente absorbente del niño*. Mexico: Biblioteca editorial Diana Mexico. Obtenido de [https://drive.google.com/file/d/1-p1xc6plq7OUDLW9sq-wSs9K1cCMUclg/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1-p1xc6plq7OUDLW9sq-wSs9K1cCMUclg/view?usp=drive_link)

Ojeda-Misses, M. A., & Ordoñez-Moreno, J. C. (2022). *Desarrollo de una plataforma experimental educativa de fácil accesibilidad para aprendizaje híbrido para Ingeniería de Control*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/7487/748780989003/?utm>

- Orozco, J. L., Toro, B. A., Risco, J. L., cruz, J. d., & Roman, S. E. (2001). *CURSO INTERACTIVO PARA LA ENSEÑANZA DE CONTROL DE SISTEMAS*. Universidad Complutense de Madrid. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Jesus-De-La-Cruz-4/publication/268047386\\_CURSO\\_INTERACTIVO\\_PARA\\_LA\\_ENSEÑANZA\\_DE\\_CONTROL\\_DE\\_SISTEMAS/links/54b7a8590cf24eb34f6ec8ac/CURSO-INTERACTIVO-PARA-LA-ENSEÑANZA-DE-CONTROL-DE-SISTEMAS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jesus-De-La-Cruz-4/publication/268047386_CURSO_INTERACTIVO_PARA_LA_ENSEÑANZA_DE_CONTROL_DE_SISTEMAS/links/54b7a8590cf24eb34f6ec8ac/CURSO-INTERACTIVO-PARA-LA-ENSEÑANZA-DE-CONTROL-DE-SISTEMAS.pdf)
- Prince, M. (2004). *Does Active Learning Work? A Review of the Research*. Bucknell University, Department of Chemical Engineering. Lewisburg: -. Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://enr.ncsu.edu/wp-content/uploads/drive/1smSpn4AiHSh8z7a0MHDBwhb\\_JhcoLQmI/2004-Prince\\_AL.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://enr.ncsu.edu/wp-content/uploads/drive/1smSpn4AiHSh8z7a0MHDBwhb_JhcoLQmI/2004-Prince_AL.pdf)
- Raofen, W., Liping, Z., Jianzhen, W., Dongmei, X., & Dongbing, T. (2016). *Research on Teaching Methods of Automatic Control Systems*. School of Electronic and Electrical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai, China. Obtenido de <https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648/10014816>
- Sensing. (2021). *Sensores de distancia*. Obtenido de Sensing-Sensores de medida: <https://sensores-de-medida.es/medicion/sensores-y-transductores/sensores-de-distancia/>
- Simulink. (s.f.). *MathWorks*. Obtenido de Simulink: <https://la.mathworks.com/products/simulink.html>
- Tibaduiza, J., Solano, M., & Gamboa, H. (s.f.). *Miacon website*. Obtenido de Google Sites: <https://sites.google.com/view/miacon-proyectodegrado/inicio?authuser=0>
- Tibaduiza, J., Solano, M., & Gamboa, H. (s.f.). *Repositorio Github MIACON*. Obtenido de Github: <https://github.com/miaconuis>

Universidad Israel. (2023). *ACADEMIA Y GESTIÓN UNIVERSITARIA PARA LA EDIFICACIÓN DEL CONOCIMIENTO DE ESTUDIANTES SENTIPENSANTES*. Universidad Israel.

Universidad Israel. Obtenido de <https://www.uisrael.edu.ec/wp-content/uploads/2024/09/LIBRO-SENTIPENSANTES-23-24-2-1.pdf#page=109>

Vygotski, L. S. (2009). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Critica. Obtenido de <https://saberespsi.files.wordpress.com/2016/09/vygostki-el-desarrollo-de-los-procesos-psicolc3b3gicos-superiores.pdf>

Yang Ting, Qi, R., Li, Y., Zhang Jing, Wang, X., & Xie, Y. (2024). *Simulation Technology in the Reform and Exploration of Teaching in the "Electric Drive Automatic Control Systems" Course*. School of Energy Engineering. International Journal of New Developments in Education. Obtenido de <https://francis-press.com/papers/16688>

York, S. W., & Lee, A. (2022). *Using Project Based Learning (PBL) with Control Theory*. USA: . Obtenido de [https://peer.asee.org/using-project-based-learning-pbl-with-control-theory?utm\\_](https://peer.asee.org/using-project-based-learning-pbl-with-control-theory?utm_)

Žáková, K., & Balogh, R. (2022). *Control Engineering Home Learning Kit*. Bratislava. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896322003664?via%3Dihub>

## Apéndices

Los apéndices del proyecto MIACON reúnen la información técnica, pedagógica y económica complementaria que respalda el desarrollo, implementación y validación del módulo didáctico propuesto. Su objetivo es proporcionar al lector documentación detallada que, por su nivel de especificidad, no se incluye en el cuerpo principal del documento, pero resulta fundamental para garantizar la comprensión integral, la replicabilidad del sistema y la solidez metodológica del proyecto.

Esta sección incluye planos de ensamblaje, esquemas técnicos, descripción del software utilizado, instrumentos de validación educativa, evidencias de implementación, costos del módulo y material de apoyo digital, consolidando el carácter aplicado, experimental y académico de MIACON.

### Apéndice A. Descripción del módulo físico MIACON

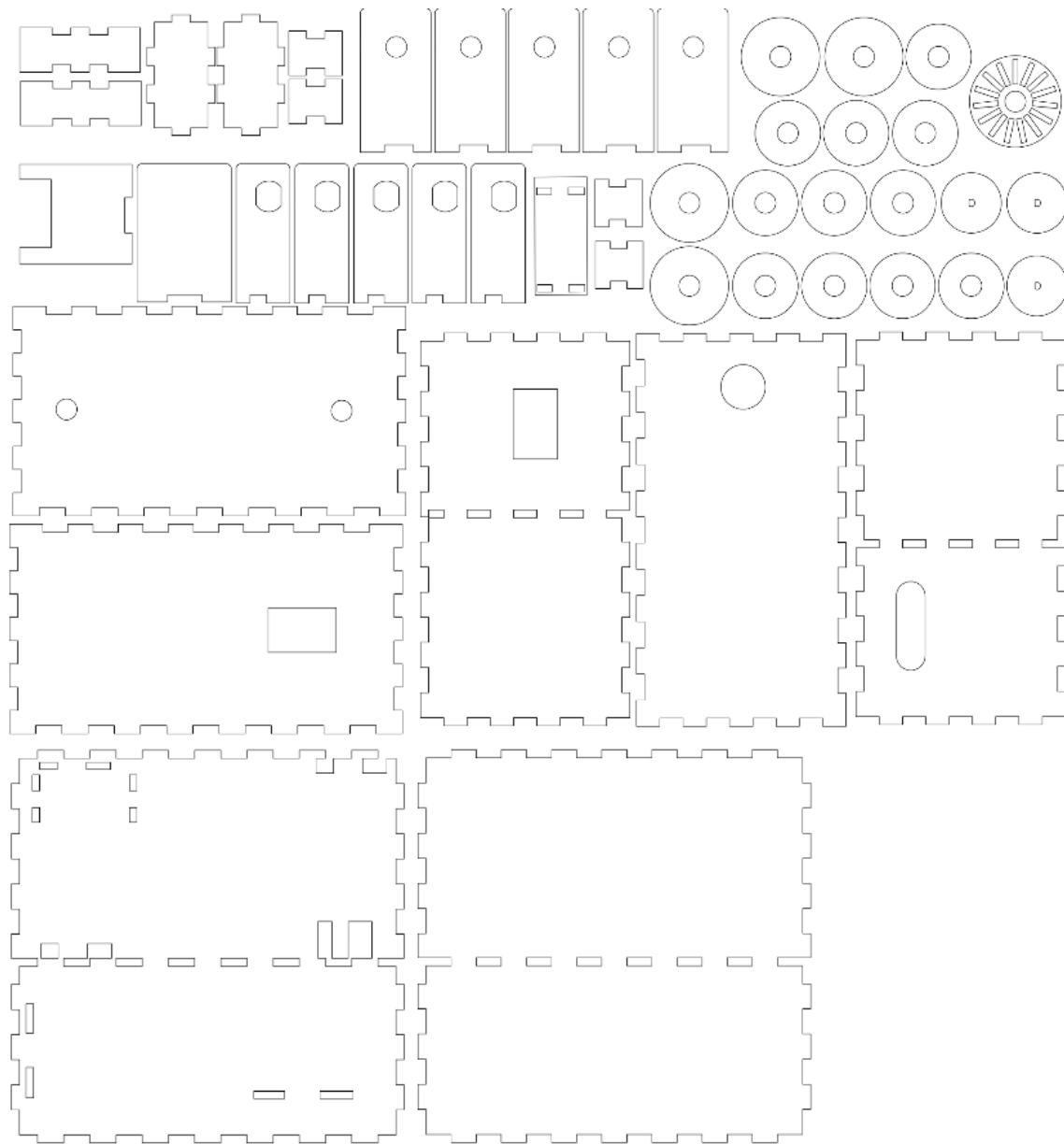
El módulo MIACON corresponde a un **sistema físico diseñado y construido con fines educativos**, orientado al apoyo de la enseñanza práctica de los sistemas de control. Su diseño se basa en el uso de **componentes electrónicos de bajo costo, fácilmente disponibles y replicables**, así como en una **estructura mecánica modular**, lo que permite su adaptación a diferentes prácticas de laboratorio y contextos académicos.

El diseño mecánico del módulo se encuentra documentado en [un repositorio digital del proyecto](#), en el cual se incluyen los **planos de fabricación en formato vectorial**, listos para ser utilizados en procesos de **corte láser**. Estos planos están disponibles para su descarga y uso por parte de docentes o instituciones interesadas en replicar el módulo MIACON.

Para la fabricación de la estructura se recomienda el uso de **corte láser**, el cual puede realizarse en talleres académicos o proveedores externos especializados. El módulo ha sido diseñado para ser fabricado en **MDF o acrílico**, ambos con un **espesor de 2,8 mm**, materiales que ofrecen un adecuado equilibrio entre rigidez estructural, bajo costo y facilidad de ensamblaje. La selección del material puede realizarse de acuerdo con la disponibilidad y criterios del docente encargado del laboratorio.

**Figura 4**

*Plano de corte láser de la estructura mecánica del módulo MIACON.*

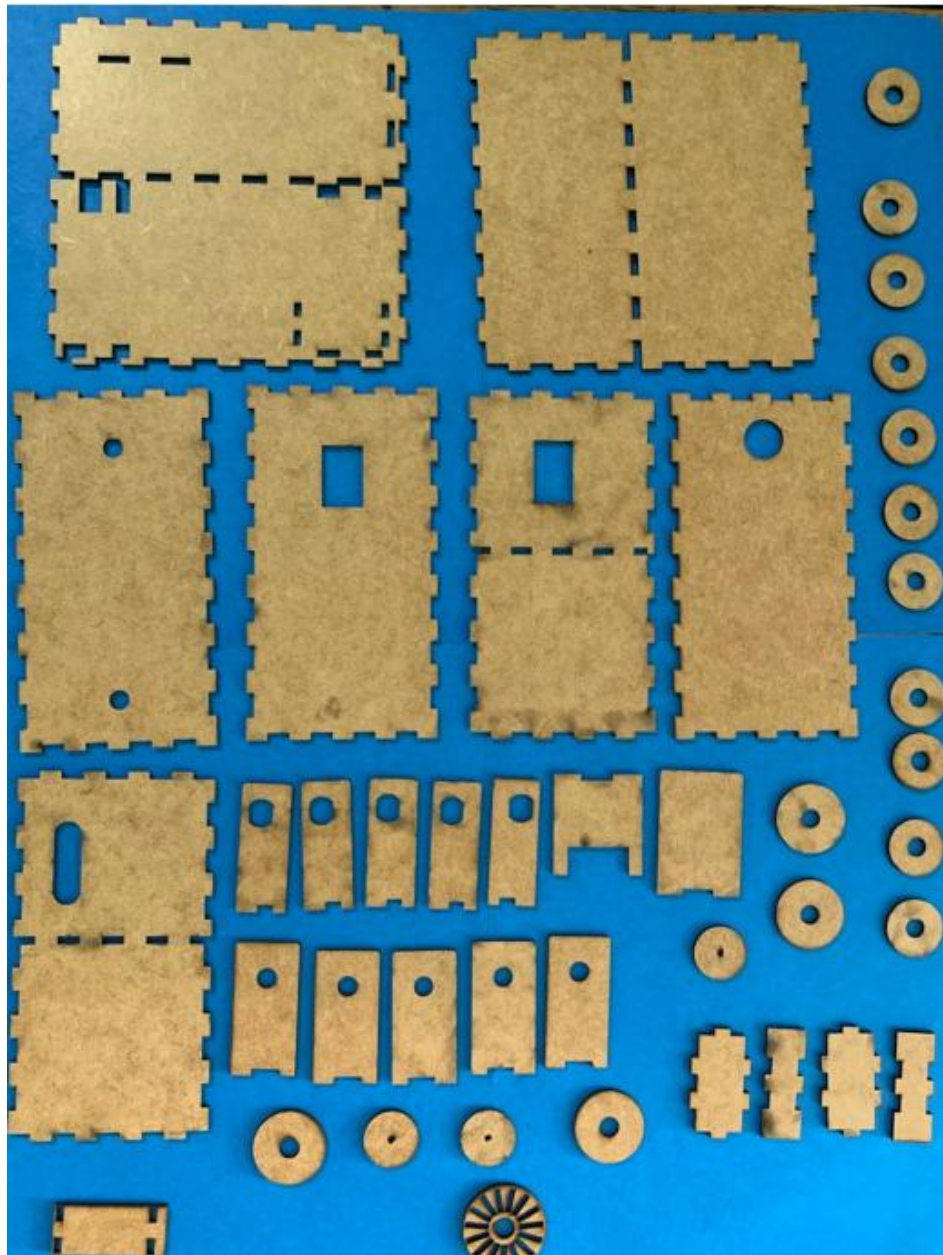


*Nota.* La figura muestra el plano técnico diseñado para el corte láser de las piezas que conforman la estructura mecánica del módulo MIACON, incluyendo perforaciones y puntos de ensamblaje. Este diseño garantiza precisión en la fabricación, facilidad de montaje y adecuada integración de los componentes electrónicos y mecánicos del sistema. Elaboración propia.

Una vez realizado el proceso de corte, las piezas obtenidas corresponden a los diferentes elementos estructurales que conforman el módulo, incluyendo bases, soportes y elementos de fijación. Estas piezas permiten un ensamblaje sencillo y guiado, garantizando la correcta alineación de los componentes electrónicos y mecánicos.

**Figura 5**

*Piezas estructurales del módulo MIACON obtenidas tras el proceso de corte láser.*



*Nota.* La figura presenta las piezas estructurales del módulo MIACON obtenidas después del proceso de corte láser, evidenciando la correspondencia con el plano de diseño y la calidad del acabado. Estos elementos constituyen la base física del sistema y permiten el posterior ensamblaje de los componentes mecánicos y electrónicos del módulo. Elaboración propia.

El proceso de ensamblaje de la estructura se realiza mediante **pegado permanente**, utilizando adhesivo tipo **Colbón**, ya que el diseño está concebido para un **ensamblaje único y estable**. El **paso a paso detallado del proceso de armado**, acompañado de imágenes y recomendaciones prácticas, se encuentra disponible en la **plataforma web del proyecto MIACON (Google Sites)**, con el fin de facilitar la replicabilidad y evitar errores durante el montaje.

Una vez ensamblada la estructura mecánica, se procede a la integración de los componentes electrónicos, incluyendo la planta térmica, el sistema de sensado y el microcontrolador, dando como resultado el módulo físico completamente funcional.

**Figura 6**

*Vista del módulo físico MIACON completamente ensamblado y con los componentes electrónicos montados.*



*Nota.* La figura muestra la vista general del módulo físico MIACON completamente ensamblado, con la estructura mecánica integrada y los componentes electrónicos debidamente montados. Se evidencian la disposición organizada de los elementos, la integración entre hardware y sistema de control, y el resultado final del proceso de diseño e implementación del prototipo funcional. Elaboración propia.

Desde el punto de vista funcional, el módulo se organiza en los siguientes bloques principales:

- **Bloque de planta:** elemento calefactor que representa el sistema físico a controlar.
- **Bloque de sensado:** sensor DHT11 para la medición de temperatura en tiempo real.
- **Bloque de control:** microcontrolador ESP32, donde se implementan las estrategias de control.
- **Bloque de potencia:** etapa de accionamiento mediante transistor para la regulación de energía aplicada a la planta.
- **Bloque de visualización y análisis:** integración con MATLAB/Simulink para monitoreo y análisis del comportamiento dinámico.

## **Apéndice B. Guías pedagógicas de laboratorio y estructura modular de aprendizaje MIACON**

El presente apéndice describe de manera detallada la estructura pedagógica de las guías de laboratorio desarrolladas para el módulo MIACON, así como la organización de los módulos formativos y las prácticas asociadas a cada uno. Estas guías constituyen un componente fundamental de la propuesta educativa, ya que materializan el enfoque pedagógico del proyecto y orientan el proceso de aprendizaje del estudiante durante la experimentación.

### **Apéndice B.1. Enfoque pedagógico de las guías de laboratorio**

Tradicionalmente, las prácticas de laboratorio en los programas de ingeniería se presentan mediante guías en formato PDF que describen, de forma secuencial y cerrada, los pasos a seguir para completar una experiencia experimental. Si bien este enfoque facilita la ejecución del procedimiento, suele limitar la reflexión, la autonomía y la comprensión profunda de los fenómenos estudiados.

La implementación de los controladores P, PI y PID en el módulo MIACON se realizó con un enfoque educativo y demostrativo, orientado a que el estudiante comprenda el efecto de cada acción de control sobre la respuesta del sistema. En este contexto, el análisis no se centró en la optimización del desempeño mediante índices clásicos, sino en la interpretación cualitativa del comportamiento dinámico del sistema ante variaciones en los parámetros del controlador.

En contraste, las guías desarrolladas para MIACON fueron concebidas bajo un enfoque pedagógico activo y significativo, integrando principios del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), el aprendizaje por experimentación y el aprendizaje autónomo. Estas guías no se presentan

como documentos estáticos, sino como un entorno digital interactivo, implementado mediante una plataforma web, que acompaña al estudiante antes, durante y después de la práctica experimental.

Cada guía se estructura de manera consistente e incluye los siguientes elementos pedagógicos:

- **Título de la práctica**
- **Contextualización del problema**, planteada desde situaciones cercanas a la realidad de la ingeniería
- **Objetivos de aprendizaje**, formulados en términos de competencias a desarrollar
- **Materiales y recursos necesarios**
- **Desarrollo paso a paso**, con apoyo visual, esquemas y videos explicativos
- **Preguntas de reflexión**, orientadas al análisis de resultados
- **Autoevaluación**, para que el estudiante valore su propio proceso de aprendizaje
- **Indicadores de logro o rúbrica**, que permiten identificar el nivel de comprensión alcanzado

Durante las prácticas, los estudiantes analizaron la respuesta del sistema en términos de estabilidad, rapidez de respuesta y comportamiento en régimen permanente, a partir de la observación directa de las señales medidas y su representación gráfica. Este análisis permitió identificar diferencias funcionales entre los controladores P, PI y PID, tales como la reducción del error en estado estacionario al incorporar acción integral o la mejora en la respuesta transitoria al incluir acción derivativa, sin realizar una cuantificación formal de estos efectos.

El uso de una plataforma web permitió incorporar elementos visuales, videos conceptuales e introductorios, enlaces a repositorios de código en GitHub, capturas de pantalla, diagramas y un lenguaje cercano al estudiante, incluyendo el uso moderado de íconos y emojis, sin perder el rigor académico. Esta decisión responde a las características del público objetivo y busca aumentar la motivación, la claridad y la apropiación del contenido.

## Apéndice B.2. Estructura general de una guía pedagógica MIACON

De manera transversal, todas las guías de laboratorio MIACON siguen la siguiente estructura base:

1. **Introducción de la práctica:** Presenta el contexto del problema y su relación con aplicaciones reales de la ingeniería.
2. **Competencias que se trabajan:**
  - **Competencias técnicas:** relacionadas con instrumentación, control, modelado, programación o comunicación.
  - **Competencias blandas:** trabajo en equipo, análisis crítico, autonomía, comunicación técnica.
3. **Materiales y recursos:** Lista de componentes físicos, software y herramientas necesarias para la práctica.
4. **Archivos de la práctica:** Enlaces a códigos base, modelos de simulación, plantillas y repositorios asociados.
5. **Investigación guiada:** Sección previa al desarrollo experimental, donde el estudiante construye conceptos clave mediante videos, lecturas y ejemplos orientados.
6. **Desarrollo de la práctica:** Secuencia de pasos experimentales, apoyados con imágenes, diagramas y esquemas de conexión.
7. **Etapas de trabajo:** División de la práctica en fases claramente identificables, que permiten evidenciar avances parciales y consolidación de competencias.
8. **Conclusiones esperadas:** Resultados conceptuales y técnicos que el estudiante debería alcanzar al finalizar la práctica.

Este formato es flexible y se adapta según el módulo, permitiendo que algunas prácticas se enfoquen más en exploración, otras en modelado matemático y otras en integración de sistemas.

## Apéndice B.3. Formato general de las guías pedagógicas MIACON (ejemplo aplicado al Módulo 2)

El presente apartado tiene como finalidad presentar el formato general de las guías pedagógicas de laboratorio utilizadas en el proyecto MIACON, tal como son visualizadas por el estudiante a través de la plataforma web desarrollada en Google Sites.

No se describen aquí los contenidos técnicos específicos de una práctica en particular, sino la estructura pedagógica, organización visual y secuencia didáctica que comparten todas las guías del proyecto.

Para ilustrar este formato, se utiliza el Módulo 2 únicamente como ejemplo representativo, debido a que integra identificación de sistemas, diseño de controladores y experimentación física. Las imágenes incluidas en este apartado corresponden a capturas reales de la plataforma web, mostrando las diferentes secciones que conforman una guía típica MIACON.

### Apéndice B.3.1. Estructura general de una guía MIACON

Las guías pedagógicas del proyecto MIACON están organizadas en secciones claramente definidas, accesibles mediante navegación web, con el objetivo de acompañar al estudiante antes, durante y después de la práctica experimental. De manera general, cada guía incluye las siguientes secciones:

**Introducción:** Presenta el contexto general de la práctica, su relación con los conceptos vistos en clase y su importancia dentro del proceso formativo. Esta sección busca motivar al estudiante y situarlo en el problema a resolver.

### Figura 7

*Vista general de la guía pedagógica MIACON en la plataforma web (Google Sites).*

The screenshot shows the MIACON web platform interface. At the top, there is a navigation bar with the text "MIACON - PROYECTO DE GRADO" on the left and a menu on the right containing "Inicio", "Manual de Usuario", "Instalación de herramientas", "Guías de laboratorio", "Encuestas", and "Sobre nosotros". The main content area has a dark background with a grid pattern and features a large heading: "MÓDULO 2: Identificación y control de una planta de primer orden". Below this heading, there is a sub-section titled "Introducción" with a small icon. The text in the introduction section reads: "En este módulo nos sumergiremos en el fascinante mundo del control de procesos térmicos. El reto será trabajar con un heater como actuador (fuente de calor) y un sensor DHT11 como detector de temperatura, todo controlado con nuestra confiable ESP32." It then lists three bullet points: "¿Qué tan rápido cambia la temperatura cuando aplicamos más potencia?", "¿Por qué no se comporta de forma instantánea?", and "¿Cómo podemos predecir su comportamiento con un modelo matemático?". At the bottom, there is a paragraph: "La magia aparece cuando usamos MATLAB/Simulink: allí podremos probar, analizar y ajustar estrategias de control antes de aplicarlas al hardware real, evitando errores costosos y ganando confianza en el diseño." and a final sentence: "Al finalizar este módulo tendrás la experiencia de haber cerrado el ciclo completo: desde la experimentación con hardware hasta el análisis matemático y el diseño de controladores."

*Nota.* La figura presenta la vista general de la guía pedagógica del módulo MIACON alojada en la plataforma web Google Sites, donde se organiza el contenido académico en módulos estructurados con recursos teóricos, prácticos y multimedia. Esta herramienta facilita el acceso a los materiales, promueve el aprendizaje autónomo y complementa la experiencia experimental del sistema físico. Elaboración propia.

### Competencias que se trabajan

Se describen las competencias que el estudiante desarrollará durante la práctica, diferenciadas en:

- Competencias técnicas, relacionadas con instrumentación, modelado, control y uso de herramientas computacionales.
- Competencias blandas, asociadas al análisis crítico, trabajo autónomo, toma de decisiones y comunicación de resultados.

### Figura 8

*Sección de competencias técnicas y competencias blandas desarrolladas en la práctica.*

MIACON - PROYECTO DE GRADO

Inicio · Manual de Usuario · Instalación de herramientas · Guías de laboratorio · Encuestas · Sobre nosotros

#### Competencias que se trabajan

Este módulo no solo refuerza tu conocimiento técnico, también potencia habilidades esenciales para tu perfil como ingeniero/a:

##### Competencias técnicas:

- Entender el comportamiento dinámico de un sistema térmico (planta de primer orden).
- Usar microcontroladores (ESP32) para adquisición de datos y control en tiempo real.
- Implementar estrategias de control como ON-OFF y PWM, comparando sus ventajas.
- Aplicar herramientas de MATLAB/Simulink:
  - System Identification para modelado.
  - rlocus para análisis de estabilidad.
  - Diseñar y probar controladores PI/PID.

##### Competencias blandas:

- Pensamiento crítico: contrastar lo teórico con lo real y cuestionar resultados.
- Resolución de problemas prácticos propios de la ingeniería de control.
- Trabajo autónomo y autogestión en el uso de hardware y software.
- Comunicación clara de resultados y reflexiones.

Al terminar, habrás fortalecido tanto tu **lado técnico** como tus **soft skills**, que son muy valoradas en la industria y la academia.

*Nota.* La figura muestra la sección de la guía MIACON donde se describen las competencias técnicas y las competencias blandas fortalecidas durante la práctica, destacando habilidades como

el análisis y diseño de sistemas de control, la programación e instrumentación, así como el trabajo en equipo, la resolución de problemas y el pensamiento crítico. Esta integración evidencia el enfoque formativo integral del módulo. Elaboración propia.

## Materiales y recursos

Lista general de los elementos necesarios para la práctica, incluyendo hardware, software y recursos digitales. Esta sección permite al estudiante prepararse antes de iniciar la experimentación.

### Figura 9

*Sección de materiales y recursos necesarios para la práctica de laboratorio.*



*Nota.* La figura presenta la sección de la guía MIACON donde se especifican los materiales, herramientas y recursos requeridos para el desarrollo de la práctica de laboratorio, incluyendo componentes electrónicos, elementos mecánicos y software de apoyo. Esta organización permite al estudiante preparar adecuadamente el entorno de trabajo y garantiza la correcta ejecución de las actividades propuestas. Elaboración propia.

## Archivos de la práctica

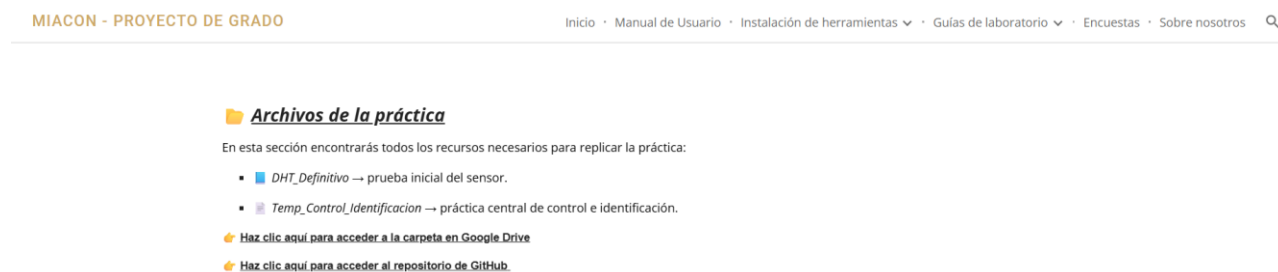
Espacio donde se centralizan los archivos necesarios, tales como:

- Modelos base en Simulink o Scilab
- Códigos de ejemplo
- Enlaces a repositorios GitHub
- Plantillas de trabajo

Esta organización facilita el acceso a los recursos y promueve buenas prácticas de documentación técnica.

## Figura 10

*Organización de archivos y recursos digitales asociados a la práctica (repositorio y modelos base).*



*Nota.* La figura muestra la organización de los archivos y recursos digitales asociados a la práctica del módulo MIACON, incluyendo el repositorio del proyecto, los modelos base de simulación, códigos fuente y documentos complementarios. Esta estructura facilita la trazabilidad, el acceso ordenado a la información y la correcta integración entre modelado, programación e implementación experimental. Elaboración propia.

## Investigación guiada

Sección orientada al aprendizaje previo a la experimentación, apoyada en:

- Videos explicativos
- Recursos conceptuales
- Contenidos introductorios

El objetivo es que el estudiante construya un modelo mental del sistema antes de interactuar físicamente con el módulo.

**Figura 11***Sección de investigación guiada con recursos audiovisuales de apoyo.*

MIACON - PROYECTO DE GRADO

Inicio · Manual de Usuario · Instalación de herramientas · Guías de laboratorio · Encuestas · Sobre nosotros

**Investigación guiada – Creación del modelo base en Simulink**

Antes de controlar la temperatura, necesitamos **confiar en que nuestro sensor funciona bien**. Para eso, construiremos un **modelo base en Simulink** que nos permitirá validar el DHT11.

Te compartimos el siguiente recurso audiovisual:

🔗 Video: [Modelo base en Simulink para el DHT11](#)

En este material observarás:

- Cómo generar un archivo de **Simulink** paso a paso.
- La configuración básica necesaria para que el modelo interactúe con el **DHT11**.
- La importancia de este archivo como punto de partida antes de pasar al control de la planta de primer orden.

🔴 **Tu tarea previa:**

- Mira con atención el proceso de construcción del modelo.
- Identifica cada bloque de Simulink que se utiliza y anota su función.
- Reflexiona: ¿por qué es necesario validar primero el sensor antes de diseñar el controlador de temperatura?

👉 Este material servirá como apoyo para que entiendas el archivo **DHT\_Definitivo** que te entregaremos en la práctica, y te permitirá avanzar con seguridad hacia la fase de identificación y control del sistema.

💡 *Dato curioso:* Muchos fallos en controladores industriales no vienen de algoritmos complicados, sino de **sensores mal calibrados o sin validar**.

*Nota.* La figura presenta la sección de investigación guiada de la plataforma MIACON, en la cual se integran recursos audiovisuales de apoyo que complementan la fundamentación teórica y fortalecen la comprensión conceptual de los sistemas de control. Esta estrategia promueve el aprendizaje autónomo, la exploración activa y la profundización en los contenidos mediante el uso de material multimedia seleccionado. Elaboración propia.

**Desarrollo de la práctica**

Describe la secuencia general de actividades que el estudiante debe realizar, organizada por etapas. Dependiendo del módulo, estas etapas pueden corresponder a identificación, diseño, implementación o validación. La guía no se limita a instrucciones cerradas, sino que propone acciones abiertas que requieren análisis y toma de decisiones.

**Figura 12***Estructura general del desarrollo de la práctica organizada por etapas.*

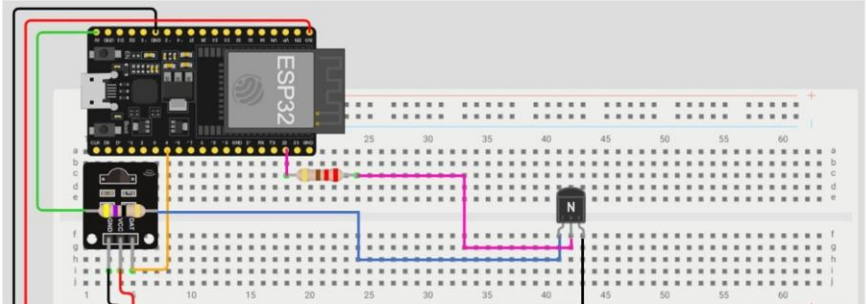
MIACON - PROYECTO DE GRADO Inicio · Manual de Usuario · Instalación de herramientas · Guías de laboratorio · Encuestas · Sobre nosotros

**Desarrollo de la práctica**

- ◆ **Paso 1 – Reconociendo la planta (Heater + DHT11)**

👉 Aquí comienza la acción con el montaje físico:

1. Conecta el heater, el transistor 2N2222 y la ESP32.
2. Conecta el DHT11 en el pin definido para lectura de temperatura.
3. Carga el archivo *DHT\_Definitivo*.
4. Visualiza en el Scope los datos de temperatura.



*Nota.* La figura muestra la estructura general del desarrollo de la práctica MIACON organizada por etapas secuenciales, desde la contextualización y formulación del problema, pasando por el modelado y la simulación, hasta la implementación y validación experimental. Esta organización por fases facilita el seguimiento del proceso, promueve el aprendizaje progresivo y fortalece la articulación entre teoría y práctica. Elaboración propia.

**Conclusiones esperadas**

Sección orientativa donde se plantean los aprendizajes clave que el estudiante debería alcanzar al finalizar la práctica, sirviendo como apoyo para la reflexión y el cierre del proceso experimental.

**Figura 13***Sección de conclusiones esperadas y cierre reflexivo de la práctica.*

MIACON - PROYECTO DE GRADO Inicio · Manual de Usuario · Instalación de herramientas · Guías de laboratorio · Encuestas · Sobre nosotros

---

**Conclusiones finales**

- ✓ Los controladores clásicos permiten entender la relación directa entre error, estabilidad y tiempo de respuesta.
- ✓ El PID resultó el más eficiente para la planta térmica del proyecto MIACON.
- ✓ La metodología aplicada (Ziegler-Nichols + validación MATLAB) demostró ser útil y replicable.
- ✓ La discretización abre paso a la **implementación real en ESP32**, integrando software y hardware en un entorno IoT educativo.

*Mensaje final*

*"Controlar no es simplemente corregir el error; es anticiparse al cambio, entender la dinámica del sistema y lograr que la tecnología se adapte a las necesidades humanas."*

**¡Módulo 2 completado! Control Térmico Finalizado**

**¡Felicitaciones!** Has dominado los fundamentos del **control clásico** y comprendido cómo un sistema puede mantener la temperatura estable mediante controladores P, PI, PD y PID.

Has recorrido un camino lleno de **análisis, simulaciones y diseño matemático**, aprendiendo a interpretar la dinámica de una planta real y a preparar la base para la **implementación digital en sistemas embebidos**.

*"Cada variable que logras controlar te acerca un paso más a dominar el arte de la automatización."*

*Nota.* La figura presenta la sección de conclusiones esperadas y el cierre reflexivo de la práctica del módulo MIACON, donde se orienta al estudiante a analizar los resultados obtenidos, contrastarlos con los fundamentos teóricos y reflexionar sobre el proceso desarrollado. Este espacio fortalece la metacognición, la capacidad crítica y la consolidación de los aprendizajes alcanzados. Elaboración propia.

**Uso de etapas pedagógicas**

En algunas guías, especialmente aquellas relacionadas con sistemas de control, la práctica se divide en etapas pedagógicas, las cuales representan hitos dentro del proceso de aprendizaje (por ejemplo, identificación del sistema y diseño del controlador).

Estas etapas permiten organizar el avance del estudiante y reforzar la progresión conceptual, sin imponer una única forma de resolución.

**Figura 14**

*Visualización de hitos o etapas pedagógicas completadas dentro de la guía MIACON.*

MIACON - PROYECTO DE GRADO Inicio · Manual de Usuario · Instalación de herramientas · Guías de laboratorio · Encuestas · Sobre nosotros

## Módulo 2: Segunda Etapa – Diseño de Controladores

**Objetivo de la práctica**

- Comprender profundamente los conceptos de control clásico y moderno.
- Analizar los controladores P, PI, PD y PID y sus aplicaciones.
- Preparar la base conceptual antes del diseño y simulación en MATLAB.

**Dato curioso** 🌟: Los conceptos de control se aplican en todo, desde cohetes espaciales hasta el termostato de tu casa. Entenderlos es clave para ingeniería y automatización industrial.

**1 Introducción al Control de Procesos**

**1.1 ¿Qué es un sistema de control?**

Un **sistema de control** es un conjunto de dispositivos que regulan la salida de un proceso para que siga una señal deseada (**referencia**) de manera automática.

- Entrada (setpoint):** valor deseado.
- Proceso o planta:** sistema a controlar (temperatura, velocidad, nivel de agua).
- Salida:** valor real medido.

*Nota.* La figura muestra la visualización de los hitos o etapas pedagógicas completadas dentro de la guía MIACON, permitiendo evidenciar el avance progresivo del estudiante en el desarrollo de la práctica. Esta representación facilita el seguimiento del proceso formativo, refuerza la motivación y promueve la autorregulación del aprendizaje mediante el cumplimiento de objetivos por etapas. Elaboración propia.

**Observación final**

Este formato de guía es común a todos los módulos del proyecto MIACON, aunque la profundidad técnica, el número de etapas y los recursos utilizados varían según los objetivos de cada práctica. La flexibilidad del formato permite adaptar la metodología a prácticas exploratorias, prácticas guiadas o proyectos integradores, manteniendo siempre una estructura pedagógica coherente.

**Apéndice B.4. Módulos formativos y prácticas de laboratorio desarrolladas en MIACON**

En este apartado se presenta la descripción detallada de los módulos formativos que conforman la propuesta educativa del proyecto MIACON, así como las prácticas de laboratorio asociadas a cada uno de ellos. A diferencia del apartado anterior, donde se expuso la estructura

general y el formato pedagógico común de las guías de laboratorio, a continuación se describen de manera específica los contenidos, objetivos y enfoques metodológicos de cada módulo, evidenciando la progresión del aprendizaje desde la instrumentación básica hasta el desarrollo de proyectos integradores de control.

Cada módulo ha sido diseñado con una intención pedagógica definida y un nivel creciente de complejidad, permitiendo que el estudiante consolide gradualmente sus competencias técnicas y analíticas mediante la experimentación con sistemas reales y herramientas de simulación.

## **1. Módulo 1: Introducción a la instrumentación y adquisición de datos**

### **Misión del módulo**

El Módulo 1 fue concebido como un **abrebocas formativo**, cuyo propósito principal es familiarizar al estudiante con la instrumentación básica, la adquisición de datos y la interacción entre el mundo físico y el entorno digital. En esta etapa no se emplea el módulo físico MIACON como sistema integrado, sino que las prácticas se desarrollan mediante montajes directos en protoboard, permitiendo una exploración libre y gradual de sensores, actuadores y herramientas de software.

Este módulo busca que el estudiante pierda el temor inicial al hardware, comprenda los principios básicos de medición y visualización de variables físicas, y adquiera destrezas iniciales en el uso de plataformas como ESP32, Scilab, Simulink y Python.

### **Objetivo general del módulo**

Familiarizar al estudiante con la lectura, procesamiento y visualización de señales analógicas y digitales provenientes de sensores, así como con el control básico de actuadores.

### **Prácticas desarrolladas**

**Práctica 0. Pruebas iniciales entre Simulink y ESP32:** Esta práctica introductoria permite establecer la comunicación básica entre el entorno de simulación y el microcontrolador ESP32. El estudiante verifica la transmisión de datos, la ejecución de modelos simples y la correcta interacción entre software y hardware, sentando las bases para las prácticas posteriores.

**Práctica 1. Lectura de luz ambiente y control automático de LED con Scilab:** El estudiante utiliza un sensor de luz para medir la iluminación ambiente y controla el encendido de un LED de forma automática. La práctica enfatiza la lectura de señales analógicas, la toma de decisiones simples y la visualización de datos en Scilab.

**Práctica 2. Medición de temperatura y humedad con DHT11 y visualización en PC:** En esta práctica se introduce el sensado digital mediante el uso del sensor DHT11. El estudiante adquiere datos de temperatura y humedad y los visualiza en tiempo real en el computador, fortaleciendo la comprensión del proceso de adquisición y representación de datos.

**Práctica 3. Control de intensidad de un LED con potenciómetro (modo manual y automático):** Se implementa un control de intensidad luminosa mediante modulación PWM, utilizando un potenciómetro y una interfaz gráfica en Python. El estudiante compara el control manual y automático, analizando la respuesta del sistema.

**Práctica 4. Control ON/OFF de zumbador según luminosidad:** Esta práctica introduce el control discreto ON/OFF, permitiendo al estudiante establecer umbrales de decisión y analizar el comportamiento del sistema ante cambios en la variable medida.

**Práctica 5. Control ON/OFF de semáforo mediante pulsador o sensor PIR:** El estudiante diseña un sistema sencillo de control secuencial, integrando entradas digitales y salidas múltiples, lo que refuerza la lógica de control y la interacción con el entorno.

**Práctica 6. Control ON/OFF de ventilador con ESP32, Simulink y LM35:** Se integra el sensor LM35 para el control térmico básico, introduciendo al estudiante en la relación entre temperatura y actuación, como preparación para los módulos de control posteriores.

## **2. Módulo 2: Identificación y control de una planta de primer orden**

### **Misión del módulo**

Este módulo representa el primer acercamiento formal a la teoría del control aplicada a hardware real. A través de una planta térmica sencilla, el estudiante aprende a identificar la dinámica del sistema, representarla matemáticamente y diseñar estrategias básicas de control.

## **Objetivos de aprendizaje (competenciales)**

### **General:**

Desarrollar competencias en sensado, visualización y control básico de variables físicas térmicas con herramientas de bajo costo.

### **Específicos:**

- Conectar y configurar correctamente un sensor DHT11 en un ESP32.
- Leer y visualizar datos en tiempo real mediante Scilab.
- Implementar controladores básicos (P, PD, PI, PID).
- Analizar la respuesta del sistema ante cambios ambientales.
- Formular una función de transferencia empírica.

## **Contextualización del problema (ABP)**

Una finca que cultiva hortalizas en invernadero nota una caída en sus rendimientos en época seca. Para mejorar las condiciones, desean un sistema automático que mida y regule temperatura y humedad. Tu tarea como ingeniero es diseñar un sistema con ESP32 y DHT11, que mida, visualice en tiempo real con Scilab y utilice controladores P, PD, PI o PID para estabilizar las variables, analizando además la respuesta del sistema: sobreimpulso, tiempos de subida, bajada y establecimiento.

## **Actividades principales**

- Montaje físico del sistema térmico con sensor DHT11 y resistencia calefactora.
- Registro y visualización de datos en MATLAB/Simulink.
- Identificación del sistema como planta de primer orden.
- Uso de herramientas de identificación de sistemas.
- Diseño e implementación de control PWM.
- Análisis de estabilidad en lazo abierto y lazo cerrado.
- Este módulo permite al estudiante evidenciar cómo los modelos teóricos se aproximan —pero no replican exactamente— el comportamiento real del sistema.

### **Competencias a desarrollar**

- Interpretación de datos físicos con microcontroladores.
- Implementación de controladores digitales.
- Uso de herramientas computacionales (Arduino IDE, Scilab).
- Autonomía y autoevaluación del aprendizaje técnico.

### **Revisión previa**

- Hoja de datos del sensor DHT11.
- Video: Conexión de DHT11 a ESP32.
- Tutorial: Comunicación serial entre Arduino y MATLAB.
- Lectura: Introducción a controladores P, PD, PI, PID.

### **Materiales y recursos**

- ESP32
- Sensor DHT11
- Cables jumper
- Computador con Arduino IDE y Matlab
- Cable USB

### **Desarrollo paso a paso**

**Paso 1:** Conexión del hardware.

**Paso 2:** Programación del ESP32.

**Paso 3:** Identificación de la función de transferencia.

**Paso 4:** Diseño de controladores.

**Paso 5:** Implementación de controladores.

**Paso 6:** Visualización en Simulink

- Análisis de overshoot y tiempo de establecimiento.
- Cambio de los controladores (Comparativa de controladores).

**Preguntas de reflexión**

- ¿Qué tan rápido reacciona el sistema ante un cambio de temperatura?
- ¿Qué tipo de control fue más estable y por qué?
- ¿Qué beneficios trae usar la visualización en tiempo real?

**Autoevaluación:**

- ¿Conecté correctamente sin ayuda?
- ¿Visualicé correctamente los datos en Matlab/Simulink?
- ¿Logré implementar los controladores y observar sus efectos en cada caso?

**Indicadores de logro / Rúbrica**

<b>Indicador</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>
Conexión y lectura de sensor			
Implementación de controlador			
Visualización gráfica en Scilab			
Análisis de respuesta del sistema			

**Sugerencias de mejora o extensión**

- Usar sensores DHT22 o BME280.
- Conectar un ventilador real al sistema.

**Análisis de resultados**

- Realiza una gráfica con la respuesta a un escalón.
- Calcula: tiempo de subida, establecimiento y sobreimpulso.
- A partir de los datos, modela una función de transferencia.

### **3. Módulo 3: Control de velocidad y posición**

#### **Misión del módulo**

Esta práctica introduce al estudiante en el control de sistemas electromecánicos reales, permitiéndole analizar y regular la velocidad y posición de un motor DC. A través de la realimentación mediante sensores y la implementación de controladores clásicos, el estudiante comprende la dinámica de sistemas de segundo orden y el impacto de los parámetros de control sobre el comportamiento del sistema.

#### **Objetivos de aprendizaje (competenciales)**

##### **General:**

Desarrollar competencias en el modelado, análisis e implementación de sistemas de control de velocidad y posición en plantas electromecánicas reales.

##### **Específicos:**

- Identificar la dinámica de un motor DC como sistema de segundo orden.
- Medir velocidad y posición utilizando un encoder o sensor de realimentación.
- Diseñar y ajustar controladores P, PI, PD y PID para velocidad y posición.
- Implementar el control en tiempo real mediante ESP32.
- Analizar el desempeño del sistema en términos de estabilidad y respuesta transitoria.

#### **Contextualización del problema (ABP)**

Una empresa de automatización requiere controlar la velocidad y la posición de una banda transportadora utilizada en un proceso de clasificación de productos. Variaciones bruscas en la velocidad generan errores y pérdidas en la producción. Como ingeniero, debes diseñar un sistema de control basado en un motor DC y un ESP32 que permita regular de forma precisa la velocidad y la posición, evaluando el efecto de diferentes controladores clásicos y analizando la respuesta dinámica del sistema ante cambios de referencia y perturbaciones.

#### **Actividades principales**

- Montaje físico del sistema electromecánico con motor DC y sensor de realimentación.
- Adquisición de señales de velocidad y/o posición.
- Identificación experimental de la planta como sistema de segundo orden.

- Diseño y ajuste de controladores P, PI, PD y PID.
- Implementación del control en el ESP32.
- Visualización en tiempo real de la respuesta del sistema.
- Análisis comparativo del comportamiento del sistema bajo diferentes estrategias de control.

### **Competencias a desarrollar**

- Modelado de sistemas electromecánicos.
- Implementación de controladores clásicos en sistemas reales.
- Análisis de estabilidad y desempeño dinámico.
- Integración de hardware y software en sistemas de control.
- Pensamiento crítico y toma de decisiones técnicas.

### **Revisión previa**

- Hoja de datos del motor DC y del encoder.
- Video: Funcionamiento y control de motores DC.
- Tutorial: Lectura de encoders con ESP32.
- Lectura: Introducción al control PID en sistemas de segundo orden.

### **Materiales y recursos**

- ESP32
- Motor DC
- Encoder o sensor de efecto Hall
- Driver de motor
- Cables jumper
- Computador con Arduino IDE y Scilab / Simulink, cable USB.

### **Desarrollo paso a paso**

**Paso 1:** Conexión del motor DC, driver y sensor de realimentación.

**Paso 2:** Programación del ESP32 para la lectura de velocidad y posición.

**Paso 3:** Registro de datos experimentales del sistema.

**Paso 4:** Identificación de la función de transferencia del motor.

**Paso 5:** Diseño y ajuste de controladores para velocidad.

**Paso 6:** Diseño y ajuste de controladores para posición.

**Paso 7:** Implementación del control en tiempo real.

**Paso 8:** Visualización de la respuesta del sistema y análisis comparativo.

**Paso 9:** Comparación del desempeño entre controladores P, PI, PD y PID.

**Preguntas de reflexión**

- ¿Qué diferencias se observan entre el control de velocidad y el de posición?
- ¿Cuál controlador ofrece mayor estabilidad y por qué?
- ¿Cómo influyen los parámetros del PID en la respuesta del motor?
- ¿Qué limitaciones reales presenta el sistema frente al modelo teórico?

**Autoevaluación**

- ¿Logré identificar correctamente la dinámica del motor?
- ¿Pude medir y visualizar la velocidad y posición sin ayuda?
- ¿Implementé y ajusté correctamente los controladores?
- ¿Interpreté adecuadamente la respuesta del sistema?

**Indicadores de logro / Rúbrica**

Indicador	Alto	Medio	Bajo
Medición de velocidad y posición			
Identificación del sistema			
Implementación del controlador			
Análisis de la respuesta dinámica			

**Sugerencias de mejora o extensión**

- Implementar control en cascada (posición–velocidad).
- Integrar una interfaz gráfica para ajuste de parámetros en tiempo real.

- Analizar el efecto de cargas externas sobre el motor.

### **Análisis de resultados**

- Graficar la respuesta del sistema ante un cambio de referencia.
- Calcular tiempos de subida, establecimiento y sobreimpulso.
- Comparar el comportamiento real con el modelo teórico identificado.
- Evaluar el desempeño de cada controlador implementado.

## **4. Módulo 4: Comunicación ESP32 con ESP-NOW y MQTT**

### **Misión de la práctica**

Esta práctica introduce al estudiante en la integración de sistemas de control con arquitecturas modernas de comunicación, permitiéndole comprender cómo los datos generados por sistemas físicos pueden ser transmitidos, monitoreados y analizados de manera remota. El objetivo es ampliar la visión del control clásico hacia entornos distribuidos e interconectados, propios de la industria actual.

### **Objetivos de aprendizaje (competenciales)**

#### **General:**

Desarrollar competencias en la implementación de sistemas de monitoreo y comunicación distribuida para aplicaciones de control automático.

#### **Específicos:**

- Configurar la comunicación inalámbrica entre dispositivos ESP32.
- Transmitir variables de un sistema de control en tiempo real.
- Implementar protocolos de comunicación orientados a IoT.
- Integrar un sistema embebido con aplicaciones de monitoreo en PC.
- Analizar el impacto de la comunicación en sistemas de control y supervisión.

### **Contextualización del problema (ABP)**

Una empresa de automatización industrial requiere monitorear remotamente variables críticas de un proceso sin acceso físico permanente al sistema. Para ello, se propone una

arquitectura basada en microcontroladores ESP32 que permita adquirir datos del sistema de control, transmitirlos mediante protocolos de comunicación y visualizarlos en una aplicación cliente. Como ingeniero, tu tarea es diseñar e implementar esta solución, garantizando confiabilidad en la transmisión y claridad en la visualización de la información.

### **Actividades principales**

- Configuración de comunicación inalámbrica entre ESP32.
- Transmisión de datos de sensores y variables de control.
- Implementación de comunicación mediante MQTT.
- Integración de un broker de mensajes y aplicaciones cliente.
- Visualización de datos en tiempo real mediante interfaces gráficas.
- Análisis del comportamiento del sistema durante la transmisión de datos.

### **Competencias a desarrollar**

- Integración de sistemas embebidos y redes de comunicación.
- Comprensión de arquitecturas IoT aplicadas al control.
- Análisis de sistemas distribuidos.
- Implementación de soluciones de monitoreo remoto.
- Pensamiento sistémico aplicado a la ingeniería.

### **Revisión previa**

- Conceptos básicos de redes y comunicación inalámbrica.
- Introducción a ESP-NOW y MQTT.
- Video: Comunicación entre ESP32.
- Lectura: Arquitecturas IoT para monitoreo industrial.

### **Materiales y recursos**

- ESP32 (dos o más dispositivos)
- Computador con conexión a red
- Broker MQTT (local o en contenedor)
- Software de visualización (Python, Node-RED o Scilab)

- Arduino IDE
- Cable USB

### **Desarrollo paso a paso**

**Paso 1:** Configuración de comunicación ESP-NOW entre ESP32.

**Paso 2:** Programación del envío y recepción de datos.

**Paso 3:** Configuración del broker MQTT.

**Paso 4:** Envío de variables del sistema de control al broker.

**Paso 5:** Recepción y visualización de datos en el cliente.

**Paso 6:** Integración del sistema de control con el sistema de monitoreo.

**Paso 7:** Pruebas de transmisión en tiempo real.

- Análisis de latencia y estabilidad de la comunicación.
- Evaluación del comportamiento del sistema ante pérdida de paquetes.

### **Preguntas de reflexión**

- ¿Qué ventajas ofrece la comunicación remota en sistemas de control?
- ¿Cómo afecta la latencia a la supervisión del sistema?
- ¿Qué diferencias existen entre ESP-NOW y MQTT?
- ¿Qué consideraciones de seguridad deberían tenerse en cuenta?

### **Autoevaluación**

- ¿Logré establecer la comunicación entre dispositivos sin ayuda?
- ¿Pude transmitir y visualizar correctamente las variables?
- ¿Comprendí el flujo de datos del sistema?
- ¿Identifiqué posibles limitaciones del esquema de comunicación?

**Indicadores de logro / Rúbrica**

<b>Indicador</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>
Configuración de comunicación			
Transmisión de datos			
Visualización en tiempo real			
Análisis del sistema distribuido			

**Sugerencias de mejora o extensión**

- Integrar dashboards avanzados con Node-RED.
- Implementar almacenamiento de datos históricos.
- Incorporar mecanismos básicos de seguridad en la comunicación.

**Análisis de resultados**

- Verificar estabilidad de la transmisión de datos.
- Analizar tiempos de actualización de las variables.
- Evaluar la confiabilidad del sistema de monitoreo.
- Relacionar el uso de comunicación distribuida con aplicaciones reales de control.

**5. Módulo 5: Proyecto integrador**

**Misión del módulo**

El módulo integrador constituye el cierre pedagógico del proceso formativo propuesto con MIACON. Su misión es permitir que el estudiante consolide los aprendizajes adquiridos en los módulos anteriores mediante el diseño e implementación de un sistema de control con aplicación realista, promoviendo la autonomía, la toma de decisiones y la integración de conocimientos técnicos y pedagógicos. Este módulo trasciende la ejecución guiada de prácticas, situando al estudiante en un rol cercano al ejercicio profesional del ingeniero, donde debe analizar un problema, proponer una solución viable y validar su funcionamiento.

## **Objetivos de aprendizaje (competenciales)**

### **General:**

Integrar los conceptos de instrumentación, identificación de sistemas, diseño de controladores y comunicación en un proyecto de control aplicado a una situación real.

### **Específicos:**

- Formular un problema de control basado en una necesidad realista.
- Seleccionar adecuadamente sensores, actuadores y estrategias de control.
- Modelar el sistema y diseñar un controlador en herramientas de simulación.
- Implementar la solución en hardware con ESP32.
- Evaluar el desempeño del sistema y comunicar los resultados obtenidos.

## **Contextualización del problema (ABP)**

Una empresa, institución o entorno doméstico requiere automatizar un proceso sencillo que involucra una variable física, como temperatura, velocidad, posición o nivel. El sistema debe ser de bajo costo, confiable y fácil de implementar. Como equipo de ingenieros en formación, deben diseñar un sistema de control funcional que responda a esta necesidad, considerando restricciones reales como consumo energético, disponibilidad de componentes y robustez del control. Cada grupo define su propio problema, justificando su relevancia y viabilidad técnica.

## **Actividades principales**

- Definición del problema y justificación del proyecto.
- Selección de sensores, actuadores y microcontrolador.
- Modelado del sistema en Simulink o Scilab.
- Diseño y ajuste del controlador.
- Implementación del sistema en ESP32.
- Pruebas experimentales y validación del desempeño.
- Elaboración de informe técnico y presentación oral.

### **Competencias a desarrollar**

- Integración de conocimientos en sistemas de control.
- Resolución de problemas reales de ingeniería.
- Trabajo colaborativo y comunicación técnica.
- Pensamiento crítico y toma de decisiones.
- Autonomía en el desarrollo de proyectos tecnológicos.

### **Revisión previa**

- Repaso de identificación de sistemas y controladores PID.
- Lectura: Buenas prácticas en proyectos de control automático.
- Revisión de ejemplos de sistemas de control aplicados.
- Análisis de criterios de evaluación del proyecto.

### **Materiales y recursos**

- ESP32
- Sensores y actuadores seleccionados por el equipo
- Computador con Arduino IDE, Scilab o Simulink
- Cable USB
- Material de apoyo disponible en el sitio web MIACON

### **Desarrollo paso a paso**

**Paso 1:** Definición del problema y objetivos del proyecto.

**Paso 2:** Diseño conceptual del sistema de control.

**Paso 3:** Modelado y simulación del sistema.

**Paso 4:** Diseño y ajuste del controlador.

**Paso 5:** Implementación del sistema en hardware.

**Paso 6:** Pruebas experimentales y recolección de datos.

**Paso 7:** Análisis de resultados y ajustes finales.

**Paso 8:** Documentación y presentación del proyecto.

**Preguntas de reflexión**

- ¿Qué dificultades surgieron al pasar de la simulación al sistema real?
- ¿Qué decisiones de diseño fueron críticas para el desempeño del sistema?
- ¿Cómo influyó el consumo energético en la solución propuesta?
- ¿Qué mejorarías si el sistema fuera implementado a mayor escala?

**Autoevaluación**

- ¿Definí claramente el problema y sus restricciones?
- ¿Logré integrar los conocimientos adquiridos en los módulos anteriores?
- ¿El sistema implementado cumple el objetivo propuesto?
- ¿Pude justificar técnica y conceptualmente mis decisiones?

**Indicadores de logro / Rúbrica**

<b>Indicador</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>
Formulación del problema			
Diseño del sistema de control			
Implementación en hardware			
Análisis de resultados			
Comunicación de resultados			

**Sugerencias de mejora o extensión**

- Integrar comunicación remota para monitoreo del sistema.
- Implementar estrategias de control más avanzadas.
- Analizar el comportamiento ante perturbaciones externas.

**Análisis de resultados**

- Comparar el desempeño real con el comportamiento simulado.
- Evaluar estabilidad, error en estado estacionario y tiempos de respuesta.
- Identificar limitaciones del sistema y posibles mejoras.
- Reflexionar sobre la aplicabilidad del proyecto en un contexto real.

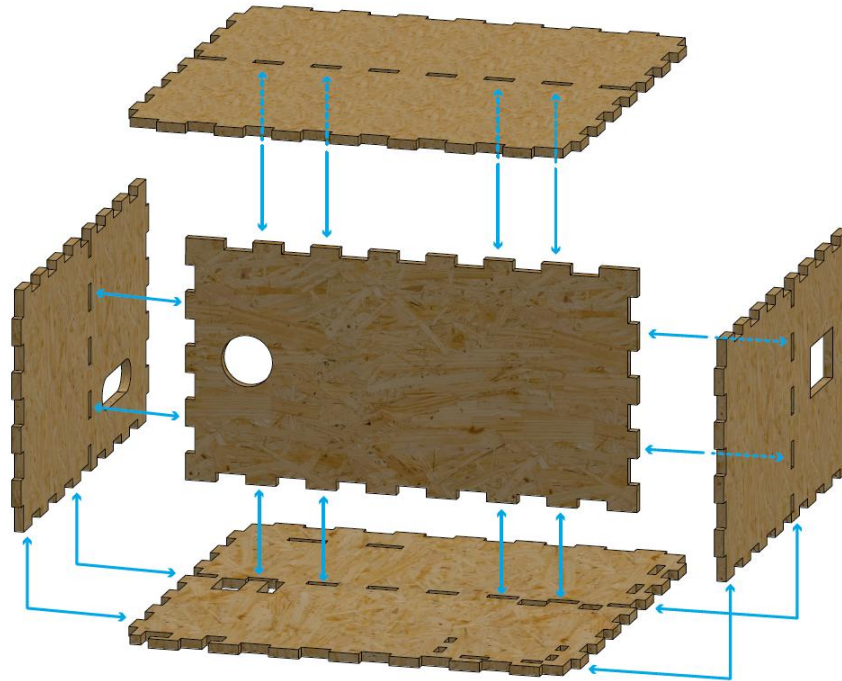
**Apéndice C. Planos de diseño y ensamblaje físico del módulo MIACON**

Este apéndice presenta los planos de diseño y ensamblaje físico del módulo MIACON, desarrollados mediante software CAD (SolidWorks), los cuales describen la estructura mecánica del sistema y la forma en que se integran los distintos componentes electrónicos y electromecánicos. El objetivo de este apéndice es proporcionar una guía clara y replicable para la construcción del módulo, permitiendo que pueda ser fabricado por estudiantes o instituciones utilizando materiales de fácil acceso como MDF o acrílico. Los planos se complementan con vistas de ensamblaje que muestran de manera progresiva la unión de las piezas, facilitando la comprensión del proceso constructivo sin requerir conocimientos avanzados de manufactura. La estructura fue diseñada con criterios de simplicidad, estabilidad mecánica y visibilidad de los elementos, de modo que el estudiante pueda identificar claramente cada componente y su función dentro del sistema.

**Apéndice C.1. Unión general de piezas – Vista de ensamblaje horizontal**

Esta vista muestra la unión de las piezas estructurales del módulo desde una perspectiva horizontal, evidenciando la forma en que los paneles y soportes se insertan y acoplan entre sí. Se destacan las ranuras, pestañas y puntos de encaje que permiten un ensamblaje preciso sin necesidad de procesos complejos, garantizando alineación y estabilidad del conjunto.

Esta configuración facilita el montaje inicial del módulo y sirve como referencia para verificar el correcto posicionamiento de las piezas antes de integrar los componentes electrónicos.

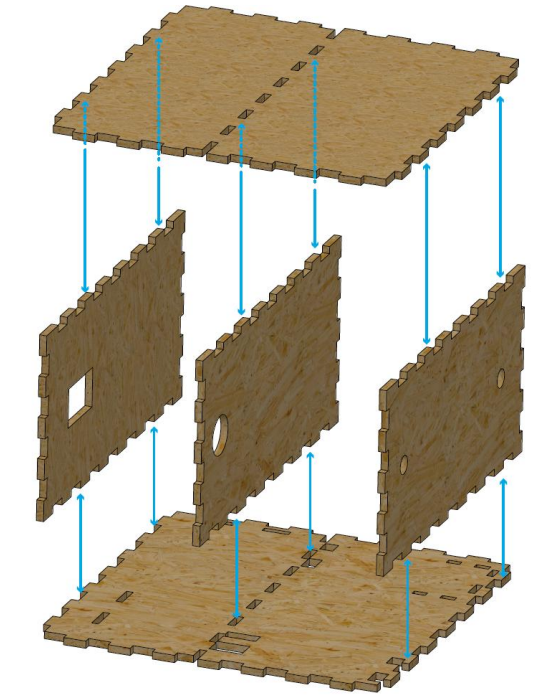
**Figura 15***Ensamblaje paredes frontales y tapa.*

*Nota.* La figura muestra el proceso de ensamblaje de las paredes frontales y la tapa del módulo MIACON, destacando la alineación de las piezas estructurales y los puntos de fijación utilizados. Esta etapa es fundamental para garantizar la rigidez mecánica, la correcta protección de los componentes internos y la estabilidad general del sistema durante su operación. Elaboración propia.

### **Apéndice C.2. Unión general de piezas – Vista de ensamblaje vertical**

En esta vista se presenta el ensamblaje del módulo desde una perspectiva vertical, mostrando cómo las piezas se acoplan en altura para conformar la estructura tridimensional del sistema. Esta representación permite identificar la relación entre los planos horizontales y verticales del módulo, así como la correcta distribución de cargas y soportes.

La vista vertical es clave para asegurar la rigidez del conjunto y para comprender cómo el diseño mecánico soporta los elementos móviles y electrónicos durante la operación del sistema.

**Figura 16***Ensamblaje paredes laterales y tapa.*

*Nota.* La figura presenta el proceso de ensamblaje de las paredes laterales y la tapa del módulo MIACON, evidenciando la integración estructural de las piezas y los elementos de fijación empleados. Esta fase contribuye a la consolidación del armazón del sistema, asegurando estabilidad mecánica, adecuada protección de los componentes internos y correcta alineación para el montaje posterior de los dispositivos electrónicos. Elaboración propia.

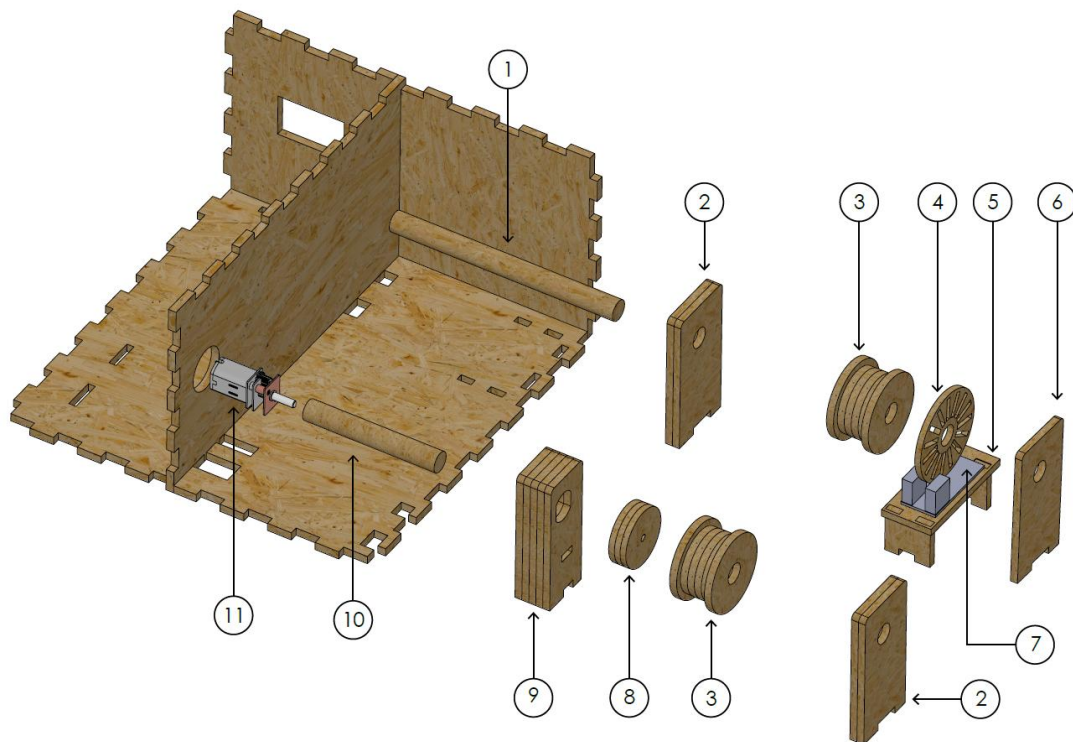
**Apéndice C.3. Unión del motor con el sistema de polea y encoder**

Esta sección documenta el ensamblaje del motor DC con el sistema de polea y el encoder, componente fundamental para las prácticas de control de velocidad y posición. Se muestra la fijación del motor a la estructura, la alineación del eje con la polea y la integración del sistema de medición.

El diseño busca minimizar desalineaciones mecánicas y vibraciones, garantizando una transmisión de movimiento estable y mediciones confiables de velocidad y posición durante las prácticas experimentales.

**Figura 17**

*Detalle piezas de la sección de la polea.*



*Nota.* La figura muestra el detalle de las piezas que conforman la sección de la polea del módulo MIACON, incluyendo los elementos de soporte, el eje y los componentes de transmisión asociados. Este conjunto mecánico es fundamental para el movimiento controlado del sistema, permitiendo la conversión del movimiento rotacional en desplazamiento lineal dentro de la práctica experimental. Elaboración propia.

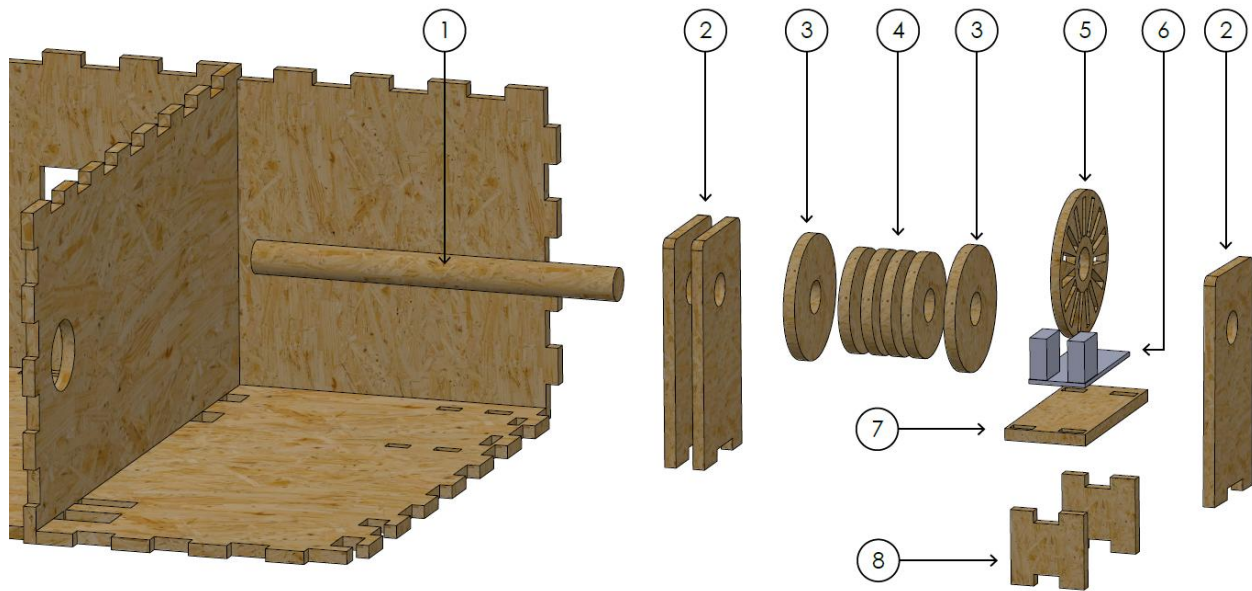
#### **Apéndice C.4. Detalle de montaje del encoder**

En esta vista se presenta de manera específica la forma en que se fija el encoder al sistema mecánico. Se detallan los puntos de anclaje, la posición relativa respecto al eje del motor y la correcta orientación del sensor para asegurar una lectura precisa.

Este detalle resulta fundamental para evitar errores de medición y para que el estudiante comprenda la relación entre el movimiento físico del sistema y la señal de realimentación utilizada en los lazos de control.

**Figura 18**

*Detalle explosionado piezas del eje con encoder.*



*Nota.* La figura presenta el detalle explosionado de las piezas que conforman el eje con encoder del módulo MIACON, mostrando la disposición individual de cada componente y su relación de ensamblaje. Esta representación permite comprender la integración mecánica y electrónica del sistema de medición de posición, facilitando el montaje adecuado y el correcto funcionamiento del lazo de retroalimentación. Elaboración propia.

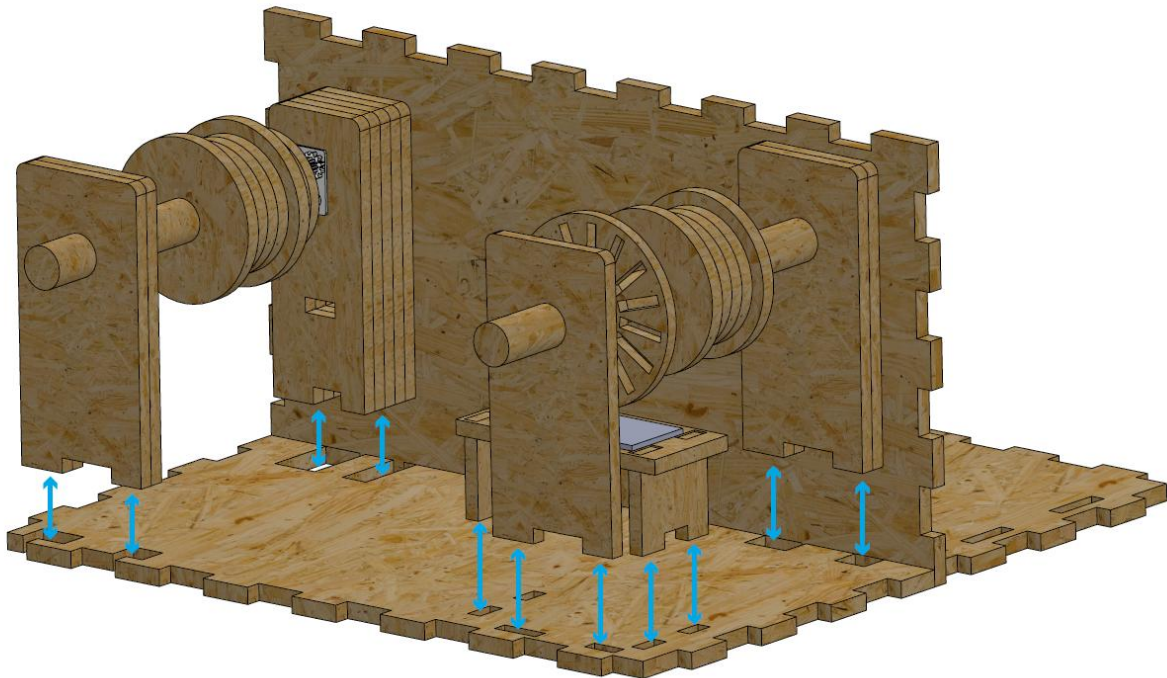
### **Apéndice C.5. Ensamblaje del sistema de polea para prácticas de posición y velocidad**

Esta vista muestra el ensamblaje completo del sistema de polea utilizado en las prácticas de control de posición y velocidad. Se evidencian los elementos que conforman el mecanismo, su disposición dentro del módulo y su interacción con el motor y el encoder.

El sistema fue diseñado para permitir una visualización clara del movimiento y una respuesta mecánica adecuada, facilitando el análisis experimental del comportamiento dinámico del sistema bajo diferentes estrategias de control.

**Figura 19**

*Detalle explosionado piezas del eje con encoder.*



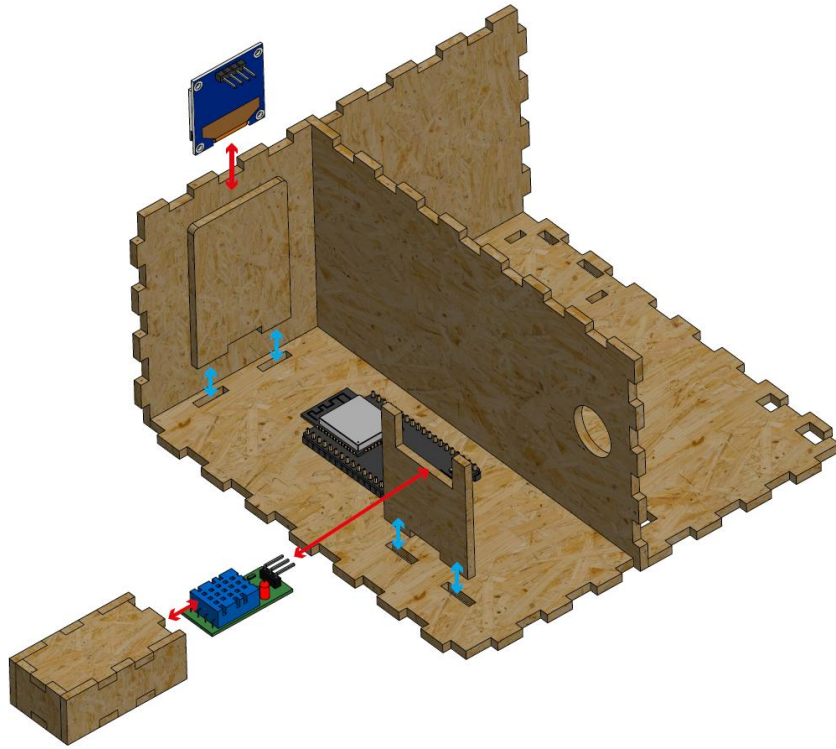
*Nota.* La figura presenta el detalle explosionado de las piezas que conforman el eje con encoder del módulo MIACON, evidenciando la secuencia de montaje, la ubicación de los elementos de acople y la disposición del sensor de medición. Esta vista facilita la comprensión del sistema de realimentación de posición y apoya el proceso de ensamblaje y mantenimiento del módulo. Elaboración propia.

### **Apéndice C.6 Vista de integración de componentes electrónicos**

En esta sección se presenta la disposición de los principales componentes electrónicos del módulo, incluyendo el sensor de temperatura y humedad DHT11, el microcontrolador ESP32 y la pantalla OLED. La vista permite identificar la ubicación de cada elemento y su accesibilidad para conexión, programación y visualización de datos.

**Figura 20**

*Detalle explosionado sección temperatura y pantalla OLED.*



*Nota.* La figura muestra el detalle explosionado de la sección correspondiente al sistema de medición de temperatura y la pantalla OLED del módulo MIACON, identificando la disposición de los componentes electrónicos, elementos de fijación y conexiones asociadas. Esta representación facilita la comprensión del montaje, la integración del sensor térmico con el sistema de adquisición de datos y la visualización de variables en la interfaz del usuario. Elaboración propia.

Se recomienda el uso de una placa expansora (shield o base de expansión) para el ESP32 (*Figura 21*), ya que esta facilita la conexión de sensores y actuadores, mejora la organización del cableado y reduce el riesgo de conexiones incorrectas durante las prácticas de laboratorio. Esta decisión de diseño favorece la seguridad, la claridad del montaje y la experiencia de aprendizaje del estudiante.

**Figura 21**

*Placa expansora del microcontrolador ESP32.*



*Nota.* La figura presenta la placa expansora utilizada para el microcontrolador ESP32, la cual facilita la conexión organizada de sensores, actuadores y módulos de visualización dentro del módulo MIACON. Esta placa permite una distribución eficiente de pines y mejora la estabilidad de las conexiones eléctricas. Imagen tomada de la documentación del fabricante.

**Apéndice D. Plataforma web del proyecto MIACON como soporte técnico y pedagógico**

Este apéndice describe la plataforma web desarrollada como parte integral del proyecto MIACON, concebida como un recurso de apoyo técnico y pedagógico para el desarrollo de las prácticas de laboratorio. A diferencia del apéndice A, donde se aborda la estructura pedagógica de las guías, en esta sección se presenta la plataforma desde una perspectiva funcional y tecnológica, destacando su rol como interfaz entre el módulo físico y el proceso de aprendizaje.

La página web fue diseñada para centralizar la información del proyecto, facilitar el acceso a los recursos necesarios para la experimentación y acompañar al estudiante durante las diferentes etapas del trabajo práctico. Su estructura permite una navegación intuitiva y organizada, alineada con la secuencia de los módulos formativos del proyecto MIACON.

## Apéndice D.1. Estructura general de la plataforma web

La plataforma web se organiza en secciones claramente definidas que permiten al estudiante acceder de manera ordenada a los contenidos del proyecto. Entre estas secciones se incluyen la presentación general del módulo, las guías de laboratorio, los recursos técnicos y el material de apoyo para el desarrollo de las prácticas.

La organización de la información busca reducir la carga cognitiva del estudiante, permitiendo que se concentre en la experimentación y el análisis de resultados, más que en la búsqueda de información dispersa.

### Figura 22

*Página principal del sitio web.*



*Nota.* La figura muestra la página principal del sitio web del módulo MIACON, desarrollada en la plataforma Google Sites, donde se presenta la descripción general del proyecto, los objetivos formativos y el acceso organizado a las diferentes secciones de la guía pedagógica. Esta interfaz constituye el punto de entrada para la navegación y estructuración del contenido académico y práctico del módulo. Elaboración propia.

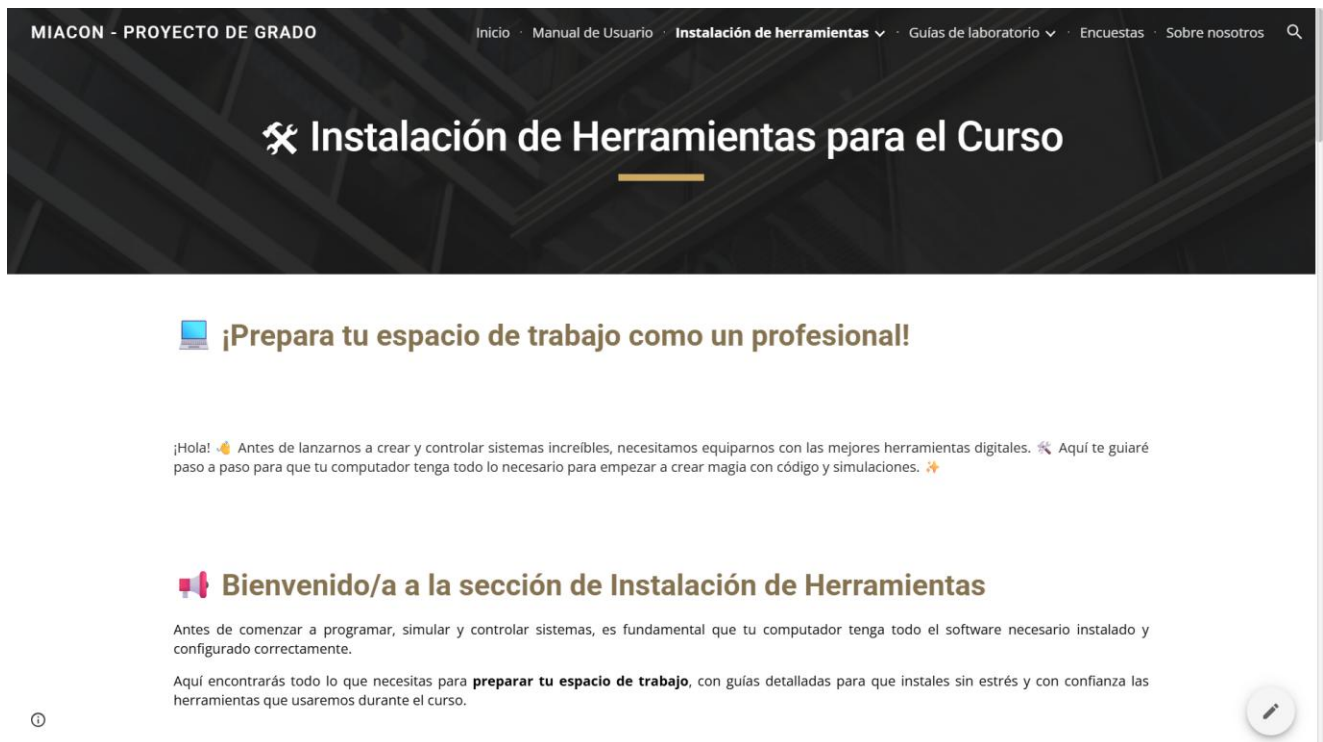
## Apéndice D.2. Contenidos técnicos disponibles en la plataforma

Desde el punto de vista técnico, la plataforma integra recursos directamente relacionados con la implementación del módulo MIACON, tales como:

- Descripción de los componentes electrónicos utilizados en cada práctica.
- Esquemas y diagramas de conexión de los sistemas experimentales.
- Procedimientos paso a paso para la configuración del hardware y el software.
- Enlaces a repositorios de código fuente y ejemplos funcionales.

### Figura 23

*Página de instalación de software necesario para MIACON.*



*Nota.* La figura presenta la página del sitio web dedicada a la instalación del software necesario para el funcionamiento del módulo MIACON, donde se proporcionan instrucciones, enlaces de descarga y recomendaciones técnicas para la correcta configuración del entorno de trabajo. Esta sección garantiza que el estudiante cuente con las herramientas digitales requeridas para el desarrollo de la práctica, asegurando compatibilidad y adecuada ejecución de las actividades propuestas. Elaboración propia.

Estos contenidos permiten que el estudiante comprenda la relación entre el montaje físico del módulo y el comportamiento del sistema de control implementado.

### Apéndice D.3 Integración con el trabajo experimental en laboratorio

La plataforma web fue concebida como un apoyo activo durante las sesiones de laboratorio. Antes de la práctica, el estudiante puede revisar los objetivos, el montaje y los conceptos clave; durante la práctica, utilizar los esquemas y procedimientos como guía; y después de la práctica, analizar los resultados y responder preguntas de reflexión.

#### Figura 24

*Página del acceso a guías del laboratorio en el sitio web.*



*Nota.* La figura muestra la página del sitio web correspondiente al acceso a las guías de laboratorio del módulo MIACON, donde se organizan y presentan los distintos módulos prácticos disponibles. Esta sección facilita la navegación estructurada de los contenidos, permitiendo al estudiante seleccionar la práctica correspondiente y acceder a los recursos teóricos, experimentales y digitales asociados. Elaboración propia.

Este enfoque refuerza la continuidad del proceso de aprendizaje y reduce la dependencia exclusiva de la explicación oral del docente, promoviendo la autonomía y la responsabilidad del estudiante.

#### **Apéndice D.4 Recursos multimedia y apoyo visual**

Con el fin de mejorar la comprensión de los conceptos y procedimientos, la plataforma incorpora recursos visuales como imágenes, diagramas, capturas de pantalla y videos explicativos. Estos elementos facilitan la interpretación de los montajes, la configuración del software y la visualización de las respuestas del sistema.

El uso de apoyo visual resulta especialmente relevante en prácticas de control, donde la relación entre señales, modelos y comportamiento físico del sistema puede resultar abstracta para el estudiante.

#### **Apéndice D.5 Aporte de la plataforma web a la replicabilidad del proyecto**

Desde una perspectiva institucional, la plataforma web contribuye significativamente a la replicabilidad del proyecto MIACON. Al centralizar la documentación técnica y pedagógica, permite que otros docentes o instituciones adopten el módulo con mayor facilidad, reduciendo la curva de aprendizaje y asegurando una implementación coherente. La plataforma no se concibe únicamente como un repositorio de información, sino como una herramienta que articula hardware, software y metodología educativa, reforzando el carácter integral del proyecto.

#### **Apéndice E. Modelado de los sistemas del módulo MIACON**

El modelado matemático de los sistemas constituye una etapa fundamental en el análisis, diseño y evaluación de estrategias de control. En el contexto del módulo MIACON, los modelos no buscan representar con exactitud todos los fenómenos físicos involucrados, sino proporcionar una representación simplificada que permita comprender el comportamiento dinámico de las plantas, diseñar controladores clásicos y analizar su desempeño en un entorno educativo.

Dado que MIACON está orientado al aprendizaje práctico de los fundamentos del control automático, se adoptaron modelos de bajo orden, ampliamente utilizados en la literatura y en la formación de ingenieros, los cuales permiten establecer una relación clara entre la teoría y la respuesta observada en el sistema físico real.

### Apéndice E.1 Consideraciones generales de modelado

Los sistemas implementados en el módulo MIACON corresponden a plantas físicas reales asociadas a variables de temperatura, velocidad y posición. Para cada una de estas plantas se asumieron las siguientes consideraciones generales:

- Operación alrededor de un punto de funcionamiento.
- Comportamiento aproximadamente lineal en el rango de interés.
- Efectos no ideales (ruido, saturación, retardos pequeños) no modelados explícitamente.
- Enfoque educativo sobre precisión extrema.

Estas suposiciones son consistentes con el uso de modelos lineales simplificados en cursos introductorios e intermedios de control automático.

### Apéndice E.2. Modelado del sistema térmico

El sistema térmico del módulo MIACON está compuesto por un elemento calefactor y un sensor de temperatura, cuya dinámica puede aproximarse mediante un sistema de primer orden con retardo despreciable. Este tipo de comportamiento es común en procesos térmicos debido a la inercia asociada a la transferencia de calor.

El modelo dinámico del sistema térmico se representa mediante la siguiente función de transferencia:

$$G_T(s) = \frac{K_T}{T_T s + 1}$$

donde  $K_T$  corresponde a la ganancia térmica del sistema y  $T_T$  a la constante de tiempo, parámetros que dependen de las características físicas del elemento calefactor, el entorno y el sistema de medición.

Este modelo permite analizar la respuesta del sistema ante cambios en la señal de control y diseñar controladores P, PI o PID orientados a regular la temperatura deseada, facilitando al estudiante la comprensión del comportamiento transitorio y en estado estacionario.

### Apéndice E.3. Modelado del sistema de velocidad

El sistema de velocidad del módulo MIACON se basa en un motor de corriente continua, cuya dinámica puede representarse mediante un modelo de primer orden que relaciona la señal de control con la velocidad angular del eje.

Bajo supuestos de carga constante y despreciando efectos eléctricos de alta frecuencia, el modelo del sistema de velocidad se expresa como:

$$G_V(s) = \frac{K_V}{T_V s + 1}$$

donde  $K_V$  representa la ganancia del motor y  $T_V$  su constante de tiempo mecánica.

Este modelo es ampliamente utilizado en la enseñanza de control de motores, ya que permite ilustrar conceptos fundamentales como la respuesta transitoria, el error en estado estacionario y el efecto de los parámetros del controlador sobre la estabilidad y el desempeño del sistema.

### Apéndice E.4. Modelado del sistema de posición

El sistema de posición del módulo MIACON se obtiene a partir de la integración de la velocidad del motor, lo que conduce a un modelo dinámico de segundo orden. Este tipo de sistema es representativo de múltiples aplicaciones reales en robótica y automatización.

El modelo del sistema de posición puede expresarse como:

$$G_V(s) = \frac{K_P}{s(T_P s + 1)}$$

donde  $K_P$  corresponde a la ganancia del sistema y  $T_P$  a la constante de tiempo asociada a la dinámica del motor.

Este modelo permite analizar fenómenos como el sobreimpulso, el tiempo de establecimiento y la estabilidad del sistema, siendo especialmente útil para comparar el desempeño de controladores P, PI y PID en sistemas de segundo orden.

### **Apéndice E.5. Discusión sobre los modelos utilizados**

Los modelos presentados permiten establecer una base común para el diseño y análisis de los controladores implementados en el módulo MIACON. Si bien se trata de representaciones simplificadas, estas son adecuadas para fines educativos, ya que facilitan la comprensión de la relación entre el modelo matemático, el controlador y la respuesta del sistema físico.

Asimismo, la comparación entre las respuestas simuladas y las observadas experimentalmente permite al estudiante identificar discrepancias propias de los sistemas reales, tales como ruido, retardos y no linealidades, fortaleciendo su criterio ingenieril y su capacidad de análisis crítico.

### **Apéndice F. Listado de componentes y análisis de costos del módulo MIACON**

Este apéndice presenta el listado de los componentes electrónicos, eléctricos y mecánicos utilizados en la construcción del módulo MIACON, junto con un análisis estimado de sus costos. El propósito de este apéndice es documentar de manera transparente los recursos necesarios para la implementación del módulo y evidenciar su viabilidad como una solución didáctica de bajo costo para la enseñanza de sistemas de control.

La selección de los componentes se realizó considerando criterios de disponibilidad en el mercado local, costo reducido, facilidad de uso y seguridad eléctrica, de modo que el módulo pueda ser replicado en entornos educativos sin requerir infraestructura especializada.

#### **Apéndice F.1. Componentes electrónicos principales**

En esta sección se describen los componentes electrónicos fundamentales del módulo MIACON, los cuales permiten la adquisición de datos, el procesamiento de señales y la implementación de estrategias de control.

#### **Entre los componentes principales se incluyen:**

- Microcontrolador ESP32, encargado del procesamiento, la adquisición de datos y la ejecución de los algoritmos de control.
- Sensores de variables físicas, como temperatura, humedad y posición, utilizados para la realimentación de los sistemas de control.

- Actuadores eléctricos y electromecánicos, tales como motores DC y elementos calefactores, que permiten la interacción del sistema con el entorno físico.
- Dispositivos de potencia y control, como drivers de motor y transistores MOSFET, necesarios para el manejo de cargas.

Cada uno de estos elementos cumple una función específica dentro del sistema y fue seleccionado para facilitar la comprensión de los principios fundamentales de los sistemas de control.

### **Apéndice F.2. Componentes mecánicos y estructurales**

Además de los elementos electrónicos, el módulo MIACON incorpora componentes mecánicos y estructurales que permiten el montaje físico del sistema. Estos incluyen las piezas fabricadas en MDF o acrílico, elementos de fijación y mecanismos de transmisión como poleas y ejes.

El diseño mecánico fue orientado a garantizar estabilidad, visibilidad de los componentes y facilidad de ensamblaje, permitiendo que el estudiante pueda montar y desmontar el sistema como parte del proceso de aprendizaje.

### **Apéndice F.3. Análisis de costos del módulo**

El análisis de costos del módulo MIACON se realizó con base en precios promedio de mercado, considerando la adquisición individual de los componentes. El costo total estimado refleja una solución significativamente más económica en comparación con módulos comerciales utilizados en la enseñanza de control automático.

Este análisis evidencia que el módulo puede ser construido con un presupuesto reducido, sin comprometer la funcionalidad ni el valor educativo del sistema, lo que lo convierte en una alternativa viable para su implementación en laboratorios académicos.

### **Apéndice F.4. Justificación de la selección de componentes**

La selección de los componentes no se basó únicamente en criterios económicos, sino también en su pertinencia pedagógica. Cada elemento fue elegido para permitir al estudiante observar de forma directa la relación entre el modelo teórico, la implementación práctica y el

comportamiento real del sistema. Asimismo, el uso de componentes ampliamente documentados y de fácil acceso facilita la consulta de hojas de datos, el análisis técnico y la resolución de problemas durante las prácticas de laboratorio.

**Tabla 5.** Selección de elementos del módulo MIACON.

Componente	Modelo / Referencia	Función	Referencia técnica	Costos (COP)	Link de compra
<b>Microcontrolador</b>	ESP32	Procesamiento, control y adquisición de datos	<a href="#">Datasheet ESP32</a>	\$40.000	<a href="#">link de compra</a>
<b>Sensor de temperatura</b>	DHT11	Medición de temperatura para la planta térmica	<a href="#">Datasheet DHT11</a>	\$6.000	<a href="#">link de compra</a>
<b>Motor DC</b>	12 V – 100 rpm	Actuador de la planta electromecánica	Datasheet genérico	\$21.325	<a href="#">link de compra</a>
<b>Driver de motor</b>	L9110S	Control del motor desde el ESP32	<a href="#">Datasheet L9110S</a>	\$10.000	<a href="#">link de compra</a>
<b>Resistencia calefactora</b>	—	Actuador térmico del sistema	Especificación del fabricante	\$1.000	Se puede conseguir en mercado local a bajo costo
<b>MOSFET</b>	IRLZ44N	Control PWM de la resistencia calefactora	<a href="#">Datasheet IRLZ44N</a>	\$18.000	<a href="#">link de compra</a>

<b>Enconder</b>	Disco óptico	Medición de velocidad del motor	<a href="#">Especificación del fabricante</a>	\$10.000	<a href="#">link de compra</a>
<b>TOTAL (COP)</b>				<b>\$106.325</b>	

*Nota.* La tabla presenta la selección de los elementos que conforman el módulo MIACON, incluyendo componentes electrónicos, elementos mecánicos y dispositivos complementarios requeridos para su implementación. Esta selección responde a criterios de funcionalidad, disponibilidad y compatibilidad técnica dentro del diseño del sistema. Los costos pueden variar según el proveedor (Precios 2026). Elaboración propia.

### **Apéndice G. Instrumentos de validación educativa: diseño y desarrollo de encuestas**

Este apéndice presenta los instrumentos de validación educativa utilizados para evaluar el impacto del módulo MIACON en el proceso de aprendizaje de los estudiantes. En particular, se documenta el diseño, estructura y propósito de las encuestas aplicadas durante la implementación del proyecto, las cuales permiten recoger información sistemática sobre la experiencia de uso del módulo y su aporte al aprendizaje de los sistemas de control.

El uso de encuestas como instrumento de validación complementa la evaluación técnica del proyecto, incorporando la percepción del estudiante como un elemento clave para analizar la efectividad pedagógica de la propuesta.

#### **Apéndice G.1. Objetivo de los instrumentos de validación**

El principal objetivo de las encuestas es evaluar el grado en que el módulo MIACON contribuye a la comprensión de los conceptos de control automático, la claridad de las prácticas experimentales y la motivación del estudiante durante el desarrollo de las actividades de laboratorio.

#### **De manera específica, los instrumentos buscan:**

- Analizar la percepción del estudiante sobre la relación entre teoría y práctica.
- Evaluar la claridad de las guías y del montaje experimental.

- Medir el nivel de motivación y participación durante las prácticas.
- Identificar fortalezas y oportunidades de mejora del módulo didáctico.

### Apéndice G.2. Estructura general de las encuestas

Las encuestas fueron diseñadas con una estructura clara y concisa, utilizando principalmente preguntas cerradas basadas en escalas tipo Likert, acompañadas de algunas preguntas abiertas para recoger comentarios adicionales.

#### La estructura general de los instrumentos incluye:

- Ítems relacionados con la comprensión de los conceptos de control.
- Ítems asociados a la experiencia práctica y al uso del módulo físico.
- Espacio para observaciones y sugerencias.

**Figura 25**

*Estructura general de las encuestas.*

← Modo de vista previa Publicado [Copiar enlace de encuestado/a](#)

**Encuesta de Evaluación – Módulo 2 - Identificación y Control de una Planta de Primer Orden (MIACON)**

**Propósito**  
 Evaluar la comprensión y la experiencia del estudiante en la **identificación, modelado matemático y control básico de una planta térmica real**, integrando adquisición de datos, análisis dinámico y control en lazo cerrado.

**Comprensión del sistema**

Comprendí el concepto de planta de primer orden a partir del sistema térmico implementado.  
 Escala 1–5 (Totalmente en desacuerdo → Totalmente de acuerdo)

1      2      3      4      5  
           

Identifiqué la relación entre la dinámica física del sistema y su modelo matemático.  
 Escala 1–5 (Totalmente en desacuerdo → Totalmente de acuerdo)

*Nota.* La figura presenta la estructura general de las encuestas diseñadas para la evaluación del módulo MIACON, incluyendo la organización por secciones, los tipos de preguntas empleadas y

los criterios de valoración. Esta estructura permitió recopilar información cuantitativa y cualitativa sobre la experiencia de uso, el aprendizaje percibido y la efectividad pedagógica del sistema. Elaboración propia.

Esta organización permite obtener información cuantitativa y cualitativa relevante para el análisis del impacto educativo del proyecto.

### **Apéndice G.3. Escala de evaluación utilizada**

Para la mayoría de los ítems se empleó una escala tipo Likert de cinco niveles, que permite al estudiante expresar su grado de acuerdo con cada afirmación. La escala utilizada fue la siguiente:

- Muy de acuerdo
- De acuerdo
- Neutral
- En desacuerdo
- Muy en desacuerdo

El uso de esta escala facilita el análisis estadístico de los resultados y permite identificar tendencias claras en la percepción de los estudiantes.

### **Apéndice G.4. Contenido de las preguntas evaluativas**

Las preguntas incluidas en las encuestas fueron formuladas para evaluar aspectos clave del proceso de aprendizaje mediado por el módulo MIACON. Entre los temas abordados se incluyen:

- Comprensión de los conceptos de control después de la práctica.
- Claridad del montaje físico y de las conexiones.
- Facilidad de uso del módulo y de los recursos de apoyo.
- Relación entre la simulación y el sistema físico real.
- Nivel de motivación generado por la experiencia experimental.
- Utilidad del módulo como herramienta de aprendizaje en laboratorio.

Estas preguntas permiten analizar no solo el resultado del aprendizaje, sino también la experiencia vivida por el estudiante durante el proceso.

### Apéndice G.5. Tabulación de encuestas de percepción y validación del módulo MIACON

El presente apéndice recopila y documenta **la tabulación de los resultados obtenidos a partir de la encuesta aplicada a los estudiantes que participaron en el Módulo 2 del proyecto MIACON**, correspondiente a Identificación y control de una planta de primer orden. La encuesta fue diseñada con el objetivo de evaluar la percepción del estudiante respecto a su comprensión conceptual, la utilidad del módulo como herramienta de apoyo al aprendizaje y la experiencia general al trabajar con un sistema físico real.

La encuesta fue implementada mediante la plataforma **Google Forms**, utilizando principalmente **escalas tipo Likert de cinco niveles (1–5)**, donde 1 corresponde a “Totalmente en desacuerdo” y 5 a “Totalmente de acuerdo”. Adicionalmente, se incluyeron preguntas abiertas orientadas a recoger comentarios cualitativos sobre los aspectos más destacados del módulo y posibles oportunidades de mejora.

#### Apéndice G.5.1. Estructura de la encuesta aplicada

La encuesta del Módulo 2 se organizó en los siguientes bloques temáticos:

- **Comprensión del sistema**, orientado a evaluar la apropiación del concepto de planta de primer orden a partir del sistema térmico implementado.
- **Modelado y control**, enfocado en la relación entre el comportamiento físico del sistema y su representación matemática, así como en el uso de herramientas de identificación y análisis.
- **Aplicación y análisis**, donde se valoró la percepción del desempeño del controlador implementado y el nivel de dificultad del módulo.
- **Reflexión final**, con preguntas abiertas que permitieron identificar los elementos del módulo que más contribuyeron a la comprensión de la teoría del control.
- **Evaluación global**, orientada a calificar la experiencia general del estudiante durante el desarrollo del módulo.

Esta estructura permitió recoger información tanto **cuantitativa** como **cualitativa**, facilitando un análisis integral de la experiencia educativa asociada al uso del módulo MIACON.

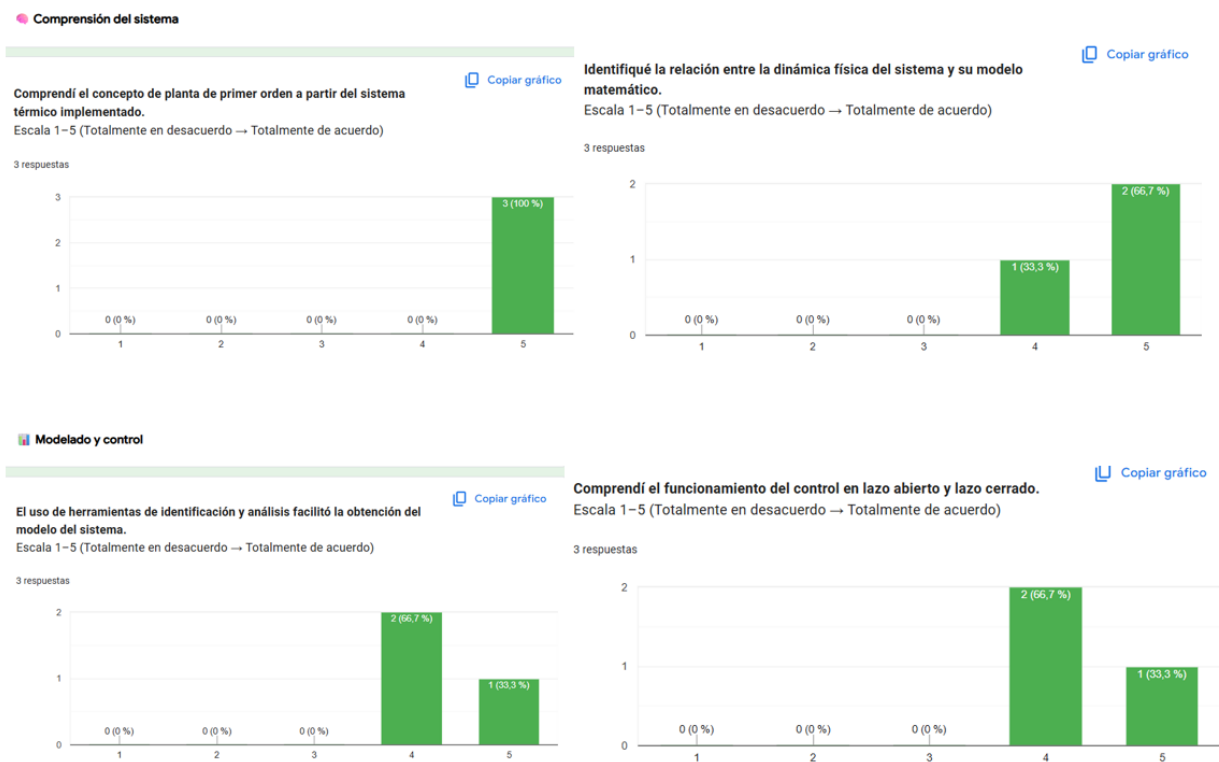
### Apéndice G.5.2. Presentación de resultados cuantitativos

A continuación, se presenta la **tabulación automática generada por Google Forms**, donde se muestran los porcentajes de respuesta para cada ítem evaluado en la encuesta. Estas gráficas reflejan la distribución de respuestas en la escala Likert y permiten identificar tendencias generales en la percepción de los estudiantes.

*Nota: Las figuras incluidas en este apartado corresponden directamente a los resultados generados por la plataforma de encuestas, sin modificación ni reinterpretación de los datos, garantizando la fidelidad de la información recolectada.*

**Figura 26**

*Tabulación encuesta comprensión, modelado y control del sistema.*

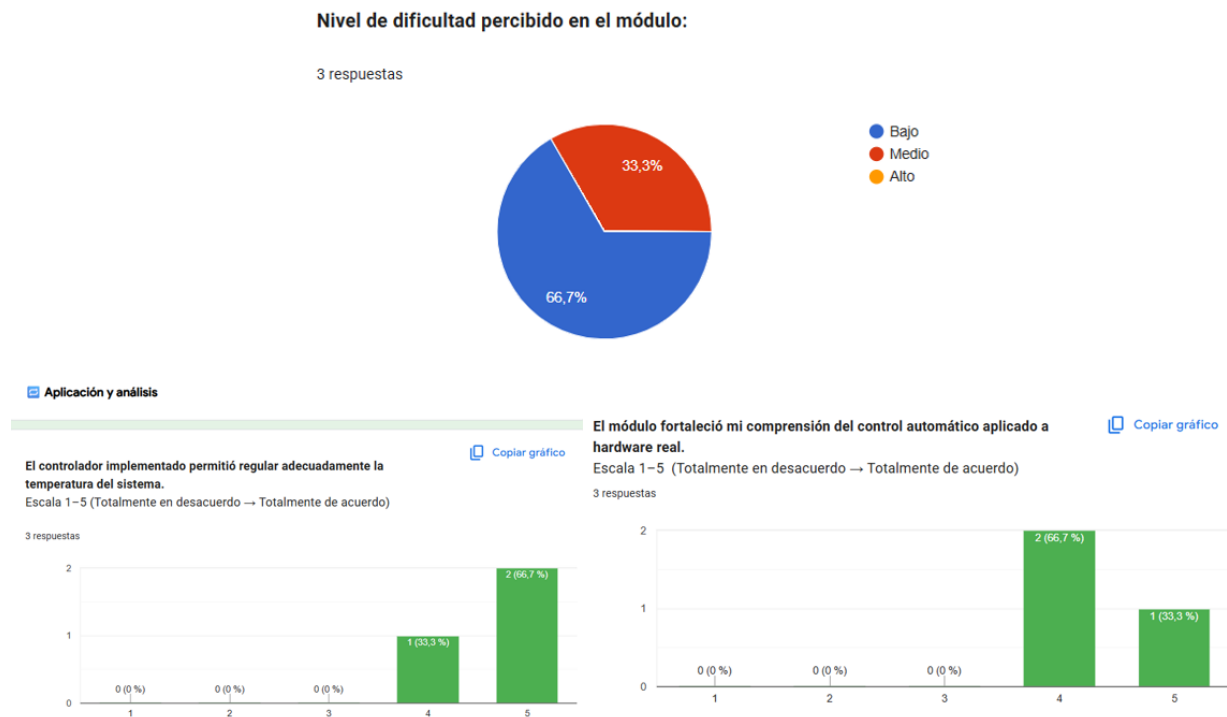


*Nota.* La figura muestra la tabulación de resultados de la encuesta relacionada con la comprensión, el modelado y el control del sistema en el módulo MIACON, presentando la distribución de respuestas obtenidas y su respectivo análisis cuantitativo. Estos resultados permiten evaluar el

nivel de apropiación conceptual y práctica alcanzado por los estudiantes durante el desarrollo de la experiencia formativa. Elaboración propia.

**Figura 27**

*Tabulación encuesta aplicación, análisis y dificultad del sistema.*



*Nota.* La figura presenta la tabulación de resultados de la encuesta asociada a la aplicación, el análisis y el nivel de dificultad del sistema MIACON, evidenciando la distribución de respuestas obtenidas en cada criterio evaluado. Esta información permite analizar la percepción de los estudiantes frente a la implementación práctica del módulo, así como identificar fortalezas y posibles aspectos de mejora en el diseño pedagógico y técnico del sistema. Elaboración propia.

## Figura 28

*Resultados de la reflexión final del sistema.*

### Reflexión final

---

**¿Qué parte del módulo te ayudó más a comprender la teoría del control?**

1 respuesta

La herramienta de identificación

---

**¿Qué aspecto del módulo consideras que puede mejorarse?**

1 respuesta

La explicación del lazo cerrado

*Nota.* La figura presenta los resultados obtenidos en la reflexión final desarrollada por los estudiantes tras la implementación del módulo MIACON, recopilando apreciaciones cualitativas sobre el aprendizaje alcanzado, la experiencia práctica y la percepción general del sistema. Estos resultados permiten valorar el impacto formativo del módulo desde una perspectiva crítica y reflexiva, complementando el análisis cuantitativo de las encuestas aplicadas. Elaboración propia.

**Figura 29**

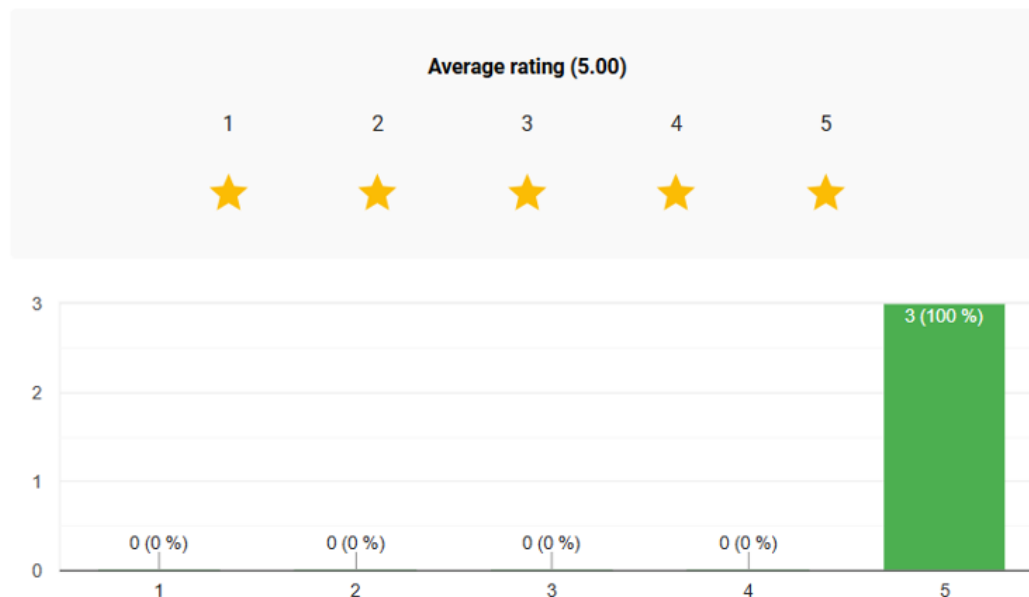
*Tabulación encuesta de la evaluación global del sistema.*

★ Evaluación global

[Copiar gráfico](#)

Califica tu experiencia general en el Módulo 2.

3 respuestas



*Nota.* La figura muestra la tabulación de resultados correspondientes a la encuesta de evaluación global del sistema MIACON, donde se consolidan las valoraciones generales emitidas por los estudiantes sobre su funcionamiento, utilidad pedagógica y experiencia de uso. Estos resultados permiten obtener una visión integral del desempeño del módulo y su impacto en el proceso de enseñanza–aprendizaje. Elaboración propia.

Las respuestas abiertas evidencian que los estudiantes identificaron como aspectos más relevantes del módulo la **visualización en tiempo real del comportamiento del sistema, la implementación del control en hardware real y la posibilidad de contrastar la teoría con un experimento físico**. Asimismo, algunos participantes señalaron como oportunidades de mejora la ampliación del tiempo de práctica o la inclusión de más ejemplos comparativos entre distintos tipos de controladores.

Aunque este apéndice se centra principalmente en la presentación de la tabulación de resultados, estas observaciones cualitativas complementan la información cuantitativa y refuerzan el carácter formativo del módulo.

## **Apéndice H. Evidencias de implementación experimental del módulo MIACON**

Este apéndice presenta las evidencias de la implementación experimental del módulo MIACON en entornos de laboratorio académico. Su propósito es documentar de manera visual y descriptiva el uso real del módulo durante el desarrollo de las prácticas, demostrando que el proyecto fue llevado a la práctica y validado en condiciones reales de enseñanza.

Las evidencias incluidas permiten observar la interacción directa de los estudiantes con el módulo físico, el montaje de los sistemas experimentales y la utilización de las herramientas de software para la adquisición y visualización de datos, reforzando el carácter aplicado y experimental del proyecto.

### **Apéndice H.1. Interacción de los estudiantes con el módulo**

Las fotografías incluidas en este apartado documentan la participación activa de los estudiantes durante las sesiones de laboratorio. Se muestran escenas de trabajo experimental en las que los estudiantes realizan conexiones, programan el sistema y analizan los resultados obtenidos.

**Figura 30**

*Evidencias de la implementación del módulo MIACON en contextos de laboratorio académico y semillero de investigación, donde se observa la participación activa de los estudiantes y el acompañamiento docente durante el desarrollo de prácticas experimentales.*



*Nota.* La figura presenta evidencias de la implementación del módulo MIACON en contextos de laboratorio académico y en espacios de semillero de investigación, donde se observa la participación activa de los estudiantes y el acompañamiento docente durante el desarrollo de prácticas experimentales. Estas evidencias respaldan la aplicabilidad del módulo en escenarios reales de formación, demostrando su viabilidad pedagógica, su pertinencia académica y su contribución al aprendizaje práctico en sistemas de control. Elaboración propia.

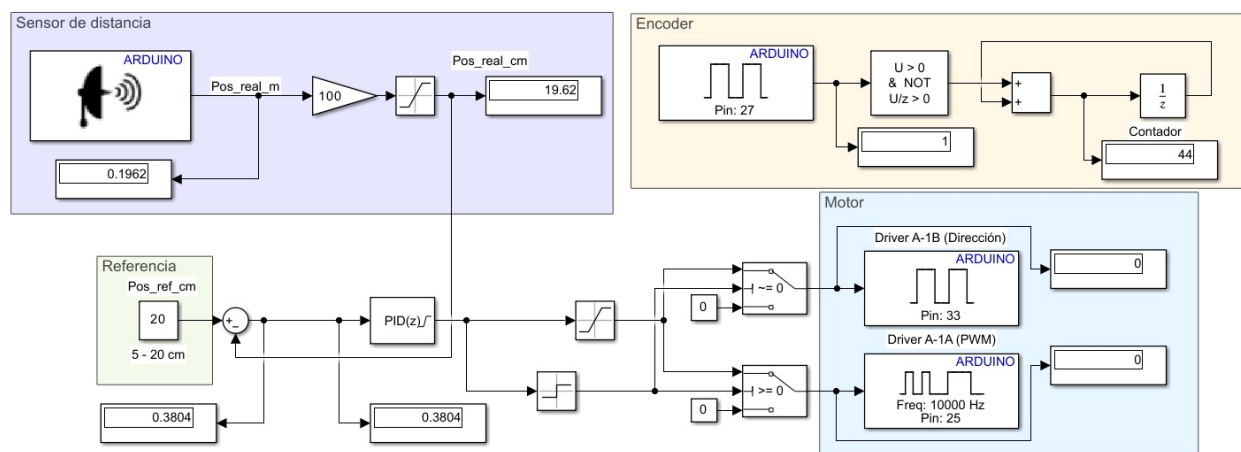
Las imágenes fueron seleccionadas de manera que se preserve la privacidad de los participantes, priorizando la visualización del módulo y del proceso experimental por encima de la identificación de los estudiantes.

## Apéndice H.2. Visualización y análisis de resultados experimentales

En esta sección se presentan capturas de pantalla de la visualización de variables físicas y respuestas del sistema en herramientas como Scilab, MATLAB o Simulink. Las gráficas y resultados mostrados corresponden a experimentos reales realizados con el módulo MIACON.

**Figura 31**

*Diagramas funcionales en la herramienta Simulink.*



*Nota.* La figura muestra los diagramas funcionales desarrollados en la herramienta Simulink, empleados para el modelado, simulación y análisis del sistema implementado en el módulo MIACON. Estos diagramas permiten representar gráficamente los bloques del sistema de control, facilitando la comprensión de la dinámica del proceso y la validación previa a su implementación física. Elaboración propia.

Estas evidencias permiten comprobar que el módulo no solo funciona a nivel físico, sino que también genera datos útiles para el análisis de sistemas de control, como respuestas transitorias, comportamiento ante cambios de referencia y comparación entre estrategias de control.