

Diseño y Fabricación de un Sistema Didáctico-Modular Basado en Impresión 3D para la Enseñanza de Procesos Industriales en Ingeniería

Design and Fabrication of a 3D Printing-Based Modular Didactic System for Teaching Industrial Processes in Engineering

Machado-Díaz, E.¹; Martínez-Sandoval, H.J.²✉; Barrón-Quintero, A.O.H.³

Datos de Adscripción:

¹ Machado Díaz, Eduardo
Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.
División de Ingeniería en Sistemas Automotrices. Ciudad Lerdo, Durango.
México
ROR ID: <https://ror.org/04bjtbt12>
ROR ID: <https://ror.org/04bjtbt12>
eduardo.md@itslerdo.edu.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2610-7570>

² ✉ Martínez Sandoval, Heber Joctan
Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.
División de Ingeniería en Sistemas Automotrices. Ciudad Lerdo, Durango.
México
ROR ID: <https://ror.org/04bjtbt12>
ROR ID: <https://ror.org/04bjtbt12>
heber.ms@itslerdo.edu.mx
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6221-2206>

³ Barrón Quintero, Alfredo Orlando Hassan
Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.
División de Ingeniería en Sistemas Automotrices. Ciudad Lerdo, Durango.
México
ROR ID: <https://ror.org/04bjtbt12>
ROR ID: <https://ror.org/04bjtbt12>
Alfredo.bq@itslerdo.edu.mx
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5299-558X>

Resumen - La formación práctica en automatización industrial dentro de las instituciones de educación superior en ingeniería enfrenta limitaciones críticas debido al elevado costo de adquisición de equipos comerciales, lo que restringe el acceso estudiantil a tecnologías de vanguardia y puede generar desmotivación académica. Para solventar esta problemática, el presente trabajo detalla el diseño y fabricación de un sistema didáctico-modular para la simulación de procesos industriales, desarrollado bajo un enfoque prioritario de alta replicabilidad y accesibilidad económica. La metodología se estructuró en cinco fases integradas que emplearon herramientas de ingeniería asistida por computadora (CAD/CAM/CAE), utilizando el software NX para el modelado de precisión, complementado con tecnologías de fabricación aditiva (impresión 3D) y componentes electrónicos de bajo costo. Una innovación distintiva de esta propuesta es su arquitectura física integrada, la cual optimiza la infraestructura del laboratorio al reducir drásticamente los tiempos de cableado y disminuir la brecha de abstracción entre la teoría académica y la ejecución técnica real. Como resultado, se obtuvo un prototipo funcional al 100% que incorpora bandas transportadoras y actuadores neumáticos controlados mediante un PLC, permitiendo a los estudiantes interactuar con desafíos técnicos y de

mantenimiento similares a los encontrados en el sector productivo moderno. Se concluye que este modelo no solo democratiza el acceso al equipamiento especializado, sino que facilita una transición efectiva de los egresados hacia la industria mediante el aprendizaje activo y la resolución de retos auténticos desde el aula.

Palabras Clave - Automatización Industrial, Bajo Costo, Brecha de Abstracción, Fabricación Aditiva (Impresión 3D), Ingeniería Asistida (CAD/CAM/CAE), Sistemas Didácticos Modulares.

Abstract - Practical training in industrial automation within higher education engineering institutions faces critical limitations due to the high costs associated with commercial training equipment, which restricts student access to cutting-edge technology and contributes to academic demotivation. To address this gap, this paper details the design and manufacturing of a modular-didactic system for industrial process simulation, developed with a primary focus on high replicability and economic accessibility. The methodology was structured into five integrated phases employing computer-aided engineering tools (CAD/CAM/CAE), such as NX software for precision modeling, complemented by additive manufacturing technologies (3D printing) and low-cost electronic components. A distinctive innovation of this proposal is its integrated physical architecture, which optimizes laboratory infrastructure by drastically reducing wiring times and narrowing the abstraction gap between academic theory and real-world technical execution. As a result, a 100% functional prototype was obtained, incorporating conveyor belts and pneumatic actuators controlled via PLC, enabling students to interact with technical and maintenance challenges similar to those found in the modern productive sector. It is concluded that this model not only democratizes access to specialized equipment but also facilitates an effective transition of graduates into the industry through active learning and the resolution of authentic challenges directly from the classroom.

Keywords - Abstraction Gap, Additive Manufacturing (3D Printing), Computer-Aided Engineering (CAD/CAM/CAE), Industrial Automation, Low-cost, Modular Didactic Systems.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Contextualización de la enseñanza de la automatización y planteamiento del problema

El entorno manufacturero contemporáneo se caracteriza por una integración sinérgica de tecnologías automatizadas donde brazos robóticos, bandas transportadoras y controladores lógicos programables configuran líneas de producción de alta eficiencia. Para sostener la operatividad de estos sistemas ciberfísicos, el sector productivo demanda profesionales con competencias tanto teóricas como prácticas orientadas al diseño, diagnóstico y mantenimiento de sistemas de control. No obstante, la enseñanza de la automatización industrial en el ámbito de la educación superior enfrenta desafíos críticos asociados a la disponibilidad de infraestructura tecnológica idónea (Sucari Pacompía y Roldán Méndez, 2024). La carencia de equipamiento especializado restringe la experimentación directa, limitando el desarrollo de habilidades procedimentales indispensables en la formación de los futuros ingenieros. Esta problemática se agudiza debido a factores estrictamente económicos. Aunque el mercado ofrece entrenadores y simuladores a escala real, el elevado costo de adquisición y mantenimiento representa una barrera presupuestal prohibitiva para diversas instituciones públicas de educación superior. Asimismo, estos equipos comerciales suelen poseer arquitecturas cerradas y rígidas, lo que restringe su adaptabilidad a diferentes planes de estudio y esquemas de aprendizaje flexible.

En un programa de ingeniería enfocado en sistemas automotores dentro de una institución pública del norte de México, se ha diagnosticado la necesidad de contar con este tipo de recursos didácticos. La ausencia de infraestructura propia limita de forma directa la formación práctica y el dominio técnico de los estudiantes en los laboratorios de automatización y manufactura. La dependencia de simuladores puramente basados en software reduce la experiencia de aprendizaje a la abstracción de una interfaz visual, omitiendo variables críticas del entorno real como fallas mecánicas, interferencias eléctricas y tiempos de respuesta de los actuadores físicos (Cabarcas Simanca et al., 2021).

Las repercusiones de este déficit material trascienden el aspecto académico e impactan la motivación intrínseca del estudiantado. Se ha evidenciado que una proporción significativa de alumnos, de manera particular en los primeros semestres de la carrera, experimenta desinterés debido a la falta de aplicaciones prácticas inmediatas de los fundamentos teóricos impartidos en las aulas. La asimilación de modelos matemáticos y algoritmos de control sin una correlación física tangible genera una brecha conceptual que dificulta la retención del conocimiento. Esta desconexión no solo incrementa el riesgo de deserción escolar temprana, sino que compromete la competitividad laboral de los egresados, quienes se incorporan al sector socio-productivo local con una marcada curva de aprendizaje respecto al manejo de hardware industrial real.

Con el propósito de mitigar esta disparidad tecnológica y pedagógica, se plantea el diseño y fabricación de un sistema didáctico modular de bajo costo concebido bajo criterios de alta replicabilidad y flexibilidad operativa. La implementación de un dispositivo interactivo e integrado permite a los estudiantes manipular componentes reales, tales como bandas transportadoras, sensores inductivos, capacitivos y actuadores

neumáticos, controlados mediante una plataforma industrial estándar. Esta solución tangible no solo democratiza el acceso a herramientas de entrenamiento técnico, sino que optimiza la transición cognitiva del alumno al unificar la teoría con la ejecución procedimental desde las etapas tempranas del trayecto escolar, fortaleciendo el pensamiento crítico aplicado a la resolución de problemas auténticos de la industria de la manufactura regional.

1.2 El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) como estrategia de motivación y retención académica

La evolución de la educación en ingeniería ha generado una transición progresiva desde los modelos de enseñanza tradicionales, fuertemente arraigados en la transmisión pasiva de conceptos, hacia estrategias pedagógicas dinámicas e integradoras fundamentadas en la experimentación directa. En este panorama, el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y las metodologías de aprendizaje activo se consolidan como herramientas de alta eficacia para que el estudiante adquiera competencias profesionales indispensables mediante la resolución de problemas reales del entorno industrial. Esta metodología no solo estimula de manera directa el pensamiento crítico, el trabajo colaborativo y la creatividad, sino que transforma la dinámica convencional del aula (García et al., 2022). El espacio teórico se convierte en un entorno de codiseño, manufactura y validación donde se replican de forma fidedigna las condiciones, restricciones y exigencias del ejercicio profesional técnico.

Al involucrar al alumnado en la construcción de soluciones tecnológicas tangibles, se promueve una transición cognitiva que va desde la comprensión abstracta de un fenómeno hasta su aplicación procedimental en escenarios operativos reales. La adopción de estas estrategias activas resulta crucial para abordar los índices de desinterés y deserción académica detectados con frecuencia en los ciclos iniciales de las carreras tecnológicas. Diversas investigaciones en el ámbito de la educación técnica superior señalan que un número significativo de alumnos experimenta apatía debido a la dificultad intrínseca para percibir aplicaciones prácticas inmediatas de los fundamentos teóricos introducidos en las aulas. Un ejemplo se observa cuando las prácticas de laboratorio se limitan al uso de entornos virtuales de simulación por computadora; en estos escenarios ideales, los alumnos programan secuencias de control perfectas que omiten variables físicas ineludibles del taller, tales como caídas de presión en líneas neumáticas, falsos contactos eléctricos, desalineación geométrica de sensores ópticos o el desgaste mecánico de una banda transportadora (Cabarcas Simanca et al., 2021). Esta desconexión severa entre la teoría matemática y la fricción del hardware real provoca que el estudiante asuma la ingeniería como una disciplina puramente teórica, minando su motivación intrínseca y rezagando su capacidad para diagnosticar fallas en entornos industriales auténticos.

Frente a este escenario, la incorporación de plataformas didácticas interactivas diseñadas específicamente bajo el enfoque del ABP busca revertir estas tendencias de deserción, incrementando la retención escolar a través de una vinculación vivencial con la tecnología desde el inicio del trayecto curricular. Un modelo educativo de alta efectividad debe garantizar un equilibrio riguroso entre el contenido teórico exigente y las

experiencias de laboratorio mediante proyectos prácticos iterativos (Fernández et al., 2020). Bajo esta perspectiva pedagógica, un sistema didáctico modular no se limita a funcionar como un mero objeto estático de demostración por parte del docente, sino que se transforma en el núcleo tecnológico y operativo para la instrumentación de la metodología de proyectos.

Al enfrentarse a una arquitectura física modular, los estudiantes asumen la responsabilidad de diseñar, cablear, integrar y programar estaciones individuales, como sistemas de transporte, clasificación o manipulación robótica, que posteriormente deben comunicarse para resolver un problema de manufactura automatizada complejo (Martínez et al., 2020).

1.3 Arquitecturas didácticas precedentes y la transición hacia la modularidad inteligente

La integración de sistemas didácticos orientados a la simulación de procesos industriales ha adquirido una relevancia significativa en el ámbito de la educación superior, consolidándose como una estrategia clave para que el estudiantado desarrolle habilidades prácticas dentro de entornos controlados. Estos laboratorios interactivos mitigan el riesgo de accidentes y permiten experimentar con escenarios operativos complejos sin la necesidad de intervenir directamente en líneas de producción reales. En este contexto, Sucari Pacompía y Roldán Méndez (2024) desarrollaron e implementaron un módulo didáctico en la Universidad Privada de Tacna con el propósito de robustecer las prácticas en los laboratorios de control y automatización. Si bien este tipo de arquitecturas facilita el aprendizaje procedimental frente a las restricciones que imponen los equipos comerciales de alto costo, el prototipo analizado en el presente artículo introduce una evolución crítica en términos de flexibilidad y escalabilidad. La propuesta actual se distingue por configurar una estructura completamente modular capaz de interactuar de forma abierta con diversas plataformas de desarrollo, extendiendo su utilidad hacia áreas multidisciplinarias mediante la adición de capas tecnológicas avanzadas como la visión artificial y las redes neuronales artificiales para la detección de fallas en tiempo real. La flexibilidad en la manipulación física de los componentes constituye otro eje de discusión recurrente en la literatura científica reciente. Rivera Gómez y Amaya Camargo (2023) diseñaron un sistema modular de simulación de procesos de producción a escala en la Universidad Industrial de Santander, enfocado en dotar a los alumnos de nociones operativas sólidas en instrumentación y automatización básica. Aunque el enfoque modular de dicha investigación comparte la búsqueda de entornos configurables, el desarrollo tecnológico descrito en este manuscrito optimiza sustancialmente ese modelo previo mediante el empleo estratégico de la manufactura aditiva y sensores industriales de bajo costo, tales como dispositivos inductivos, capacitivos e infrarrojos.

El uso de impresión 3D no solo reduce los costos de fabricación de la estructura, sino que viabiliza la personalización geométrica de las piezas y la integración de un brazo robótico articulado accionado por servomotores. Este componente mecánico añade un nivel de complejidad ausente en entrenadores convencionales. Permite la manipulación, ordenamiento y clasificación automatizada de elementos físicos directos. El

diseño propuesto supera la rigidez del hardware comercial clásico. Por otra parte, la transición desde la lógica de control tradicional hacia la interconectividad abierta define una de las fronteras más dinámicas en el diseño de infraestructura educativa.

Herrera Abad et al. (2023) implementaron un módulo didáctico enfocado en el control del proceso de llenado de recipientes mediante controladores lógicos programables en la Universidad Nacional Federico Villarreal. Este esquema proporcionó una valiosa experiencia práctica en el manejo de tecnología estándar de control industrial, un pilar insustituible en la formación de ingenieros. No obstante, el diseño modular propuesto expande este horizonte metodológico. En lugar de limitar la operación exclusivamente a la arquitectura cerrada de un controlador comercial, la infraestructura actual distribuye sus conexiones externas hacia clemas o terminales de distribución general. Esta disposición física descentralizada permite que el sistema interactúe de forma indistinta con microcontroladores, sensores inteligentes o sistemas embebidos de código abierto. Al complementar esta versatilidad de hardware con algoritmos de visión artificial y redes neuronales para la clasificación por color y la detección de defectos de manufactura, la plataforma trasciende el control de procesos convencional para sumergir al estudiante en aplicaciones genuinas de inteligencia artificial aplicada.

1.4 El impacto de sistemas modulares en la transición hacia la Industria 4.0 y los sistemas automatizados

La fundamentación tecnológica de esta investigación se sustenta en su convergencia directa con los paradigmas de la Industria 4.0, específicamente en la transición hacia fábricas inteligentes y sistemas ciberfísicos interconectados. En el contexto industrial moderno, la adopción del Internet de las Cosas y la ciberfísica exige que la instrumentación educativa abandone las arquitecturas aisladas y adopte plataformas adaptables capaces de recopilar, transmitir y procesar datos en tiempo real (González y Pérez, 2021). El diseño de un sistema didáctico modular responde con precisión a esta necesidad de flexibilidad. Mediante el empleo de herramientas de fabricación aditiva, como la impresión 3D con polímeros accesibles, es posible sustituir la adquisición de refacciones comerciales costosas y reducir drásticamente los tiempos de producción de los componentes mecánicos del prototipo (Pérez et al., 2022). Esta estrategia no solo solventa las restricciones presupuestales severas de los laboratorios universitarios, sino que valida la viabilidad de desarrollar hardware de alta precisión metodológica de manera independiente y abierta.

El impacto socio-productivo del proyecto se manifiesta en la preparación técnica de capital humano altamente competitivo para los sectores del motor y de la manufactura avanzada. La simulación de procesos a escala constituye una herramienta clave para analizar de forma predictiva el comportamiento de las líneas de producción, facilitando la identificación de cuellos de botella y optimizando la toma de decisiones informadas dentro de la empresa (Benites Peralta, 2020). Al instrumentar un entorno físico interactivo que equilibra con rigor la teoría conceptual y las experiencias prácticas de taller, se dota al estudiantado de habilidades procedimentales críticas en el manejo de sensores industriales, actuadores neumáticos y controladores lógicos programables (Fernández et al., 2020).

Esta formación especializada se traduce en un beneficio directo para el sector productivo regional. Las organizaciones locales adquieren la posibilidad de incorporar profesionales con una menor curva de aprendizaje o, de igual forma, pueden replicar estos modelos interactivos de bajo costo para capacitar a sus propios operarios de manera eficiente, impulsando la productividad general sin detener los flujos de trabajo de sus plantas operativas.

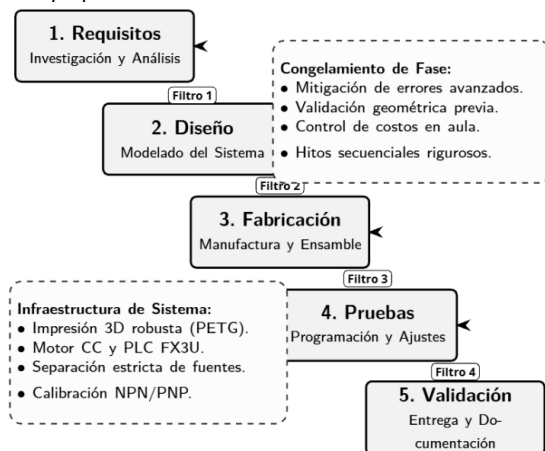
II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Análisis previo de requerimientos y fundamentación metodológica en cascada

El desarrollo del sistema didáctico se rigió por los principios de la ingeniería de requisitos mediante la implementación de una metodología de cascada estructurada en cinco etapas secuenciales y lineales: investigación y análisis de requisitos, diseño y modelado del sistema, fabricación y ensamblaje, programación y pruebas, junto con la validación y documentación. El diagrama de la Figura 1 muestra la metodología seleccionada para este evento.

Figura 1.

Diagrama de la metodología aplicada en el proyecto. Fuente: Elaboración propia



Este enfoque clásico de cascada garantiza que cada fase actúe como un filtro técnico estricto; de este modo, no es posible avanzar hacia el modelado geométrico ni hacia la manufactura física sin haber consolidado y congelado previamente los criterios de diseño y las especificaciones operativas. Esta rigidez metodológica inicial resulta indispensable en proyectos de ingeniería aplicada, ya que mitiga la propagación de errores dimensionales o de compatibilidad eléctrica hacia las etapas de ensamble avanzado, optimizando el uso de recursos y asegurando que el hardware final responda con precisión a los objetivos pedagógicos trazados para el aula.

2.2 Selección de materiales de fabricación con manufactura aditiva

Durante la primera etapa de la metodología en cascada, el análisis previo para la selección de la infraestructura mecánica se centró en balancear la resistencia al desgaste, la replicabilidad y el costo de operación. Para la estructura de la

banda transportadora articulada, se evaluaron diversos polímeros comerciales, determinando que el tereftalato de polietileno glicol (PETG) ofrecía las propiedades óptimas de resistencia al impacto, tenacidad y estabilidad térmica superiores al ácido poliláctico estándar, soportando adecuadamente la fricción continua de los eslabones sin sufrir deformaciones prematuras.

Para fundamentar la selección del polímero empleado en la manufactura aditiva frente a las alternativas más comunes de la industria del prototipado rápido, se realizó un análisis comparativo cuantitativo y cualitativo entre el Ácido Poliláctico (PLA) y el Tereftalato de Polietileno Glicol (PETG). El estudio previo de las propiedades mecánicas y térmicas determinó que, si bien el PLA ofrece una alta rigidez y facilidad de procesamiento, sus limitaciones intrínsecas respecto a la fragilidad y baja resistencia a la flexión dinámica lo hacían inviable para componentes sometidos a esfuerzos mecánicos continuos. En la Tabla 1 se detallan los criterios técnicos evaluados que justificaron la adopción del PETG como el material idóneo para garantizar la durabilidad de la estación ciberfísica.

Tabla 1.

Comparación de capacidades mecánicas de los materiales de impresión basado en las hojas del fabricante.

Criterio Técnico	Ácido Poliláctico (PLA)	Tereftalato de Polietileno Glicol (PETG)	Impacto Directo en el Sistema Didáctico
Resistencia al Impacto	Baja; material altamente rígido pero quebradizo bajo esfuerzos súbitos.	Alta; elevada tenacidad que permite absorber impactos mecánicos sin fracturarse.	Tolera la manipulación constante, ensambles repetitivos y caídas accidentales en el laboratorio.
Estabilidad Térmica	Baja; temperatura de deflexión térmica limitada entre los 50 °C y 60 °C.	Moderada-Alta; mantiene su integridad estructural hasta los 75 °C - 80 °C.	Previene deformaciones geométricas causadas por el calor disipado por el motorreductor y fuentes.
Resistencia al Desgaste	Limitada; presenta una degradación acelerada ante la fricción superficial continua.	Excelente; posee un bajo coeficiente de fricción y alta resistencia a la abrasión cíclica.	Garantiza la vida útil operativa y el deslizamiento suave de los eslabones de la banda transportadora.
Flexibilidad y Fatiga	Crítica; su nula elasticidad induce fracturas por fatiga ante esfuerzos de tensión.	Moderada; capacidad de flexión elástica bajo cargas dinámicas prolongadas.	Absorbe las tensiones mecánicas durante la tracción y el arrastre de las piezas bajo estudio.

Como se observa en el análisis comparativo, la selección del PETG constituye un requisito de diseño esencial para asegurar la viabilidad del Aprendizaje Basado en Proyectos. El empleo de un polímero con mayor tenacidad y resistencia al desgaste por fricción no solo extiende el ciclo de vida de la banda

transportadora articulada, sino que reduce la necesidad de mantenimiento correctivo e impresión de refacciones a mediano plazo, consolidando la accesibilidad económica y la replicabilidad de la plataforma en entornos reales de enseñanza.

2.3 Caracterización analítica y selección del sistema de actuación electromecánico

La selección del actuador principal de la banda transportadora articulada representó un punto crítico dentro de la fase de diseño técnico para garantizar un desplazamiento homogéneo y síncrono de las piezas bajo estudio. El análisis previo determinó que los motores de corriente continua sin reducción carecen del torque necesario a bajas revoluciones, lo que induce fallas por atascamiento ante la fricción superficial del polímero PETG. Por lo tanto, se optó por un motorreductor de corriente continua con imanes permanentes y caja reductora metálica integrada modelo GA25-370, configurado para operar a una tensión nominal de 12 V y una velocidad angular de salida de 62 RPM bajo condiciones de carga nominal. El motor se muestra en la Figura 2.

Figura 2.

Motor con reductor seleccionado como actuador principal de la banda.
Fuente: Elaboración propia.



Para validar analíticamente la viabilidad de este componente antes de su integración física, se calcularon las variables cinemáticas y dinámicas elementales del sistema. En primera instancia, la velocidad angular nominal del eje de salida del reductor ω se transformó al sistema internacional mediante (1).

$$\omega = \frac{62 \cdot 2\pi}{60} \approx 6.49 \text{ rad/s} \quad (1)$$

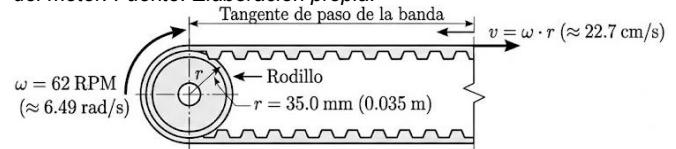
El rodillo motriz de la banda transportadora posee un diámetro exterior de 70.0 mm, lo que establece un radio exterior de diseño (r) de 35.0 mm. Con estos valores, la velocidad lineal teórica de transporte (v) se determinó mediante la relación fundamental que se muestra en (2)

$$v = 6.49 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 0.035 \approx 0.227 \text{ m/s} \quad (2)$$

Esta velocidad lineal resultante de 22.7 cm/s proporciona una dinámica de traslado fluida y controlada, idónea para un proceso industrial didáctico. Esta tasa de desplazamiento asegura que los sensores ópticos alcancen sus tiempos de respuesta mínimos de conmutación y permite que los algoritmos de visión artificial dispongan del tiempo necesario para el procesamiento de las matrices de píxeles durante las etapas de detección de fallas. La representación gráfica de los cálculos se muestra en la Figura 3

Figura 3.

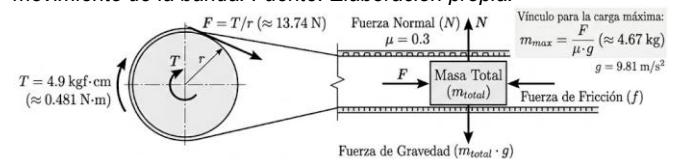
Diagrama de cálculo de velocidad lineal a partir del movimiento angular del motor. Fuente: Elaboración propia.



Por otra parte, el análisis dinámico requirió verificar la capacidad del motorreductor para romper la inercia y vencer la fuerza de fricción del sistema articulado impreso. El par nominal de 4.9 kgf·cm equivale a 0.481 Nm al aplicar la conversión correspondiente mediante la aceleración de la gravedad constante; el diagrama se presenta en la Figura 4.

Figura 4.

Diagrama de cuerpo libre y capacidad de carga del sistema de movimiento de la banda. Fuente: Elaboración propia.



A partir de este valor la fuerza tractora neta (F) ejercida en la periferia del rodillo motriz se calculó en (3)

$$F = \frac{T}{r} = \frac{0.48 \text{ N} \cdot \text{m}}{0.035 \text{ m}} \approx 13.74 \text{ N} \quad (3)$$

Para determinar la masa máxima total (m) que el sistema puede desplazar sobre la cama de deslizamiento antes de alcanzar el punto de par de parada (*stall torque*), se aplicó la relación de fricción estática en (4), asumiendo un coeficiente de fricción conservador para el contacto entre polímeros de $\mu=0.3$.

$$m = \frac{F}{\mu \cdot g} = \frac{13.74 \text{ N}}{0.3 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2} \approx 4.67 \text{ kg} \quad (4)$$

Dado que las piezas impresas utilizadas en las prácticas de clasificación poseen una masa promedio que no excede los 100 gramos, el sistema opera con un factor de seguridad superior a 46. Este amplio margen garantiza que el motorreductor trabaje de manera permanente dentro de su zona lineal de máxima eficiencia, previniendo sobrecalentamientos por alta demanda de corriente, minimizando el desgaste de los engranajes internos y permitiendo a los estudiantes experimentar con la introducción de cargas adicionales o perturbaciones mecánicas simuladas sin riesgo de daño en el hardware de potencia.

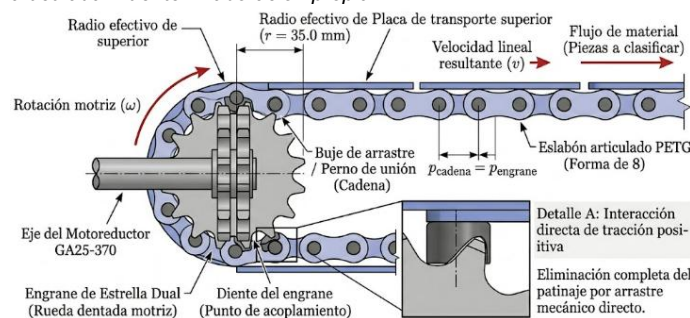
2.4 Modelado digital y análisis estructural mediante ingeniería asistida por computadora.

Una vez consolidados los requerimientos técnicos y las especificaciones dinámicas del sistema motriz, la segunda fase metodológica se enfocó en la virtualización integral de los componentes mecánicos. Esta etapa resulta de vital importancia en el desarrollo de hardware abierto y modular, ya que la transición directa de la conceptualización teórica a la manufactura suele generar un alto desperdicio de material y

severos desajustes geométricos. Para mitigar estos riesgos, se empleó la suite de ingeniería Siemens NX®, consolidando un entorno integrado de diseño asistido por computadora (CAD) y análisis de ingeniería (CAE). Este ecosistema de software permitió estructurar y validar la geometría tridimensional de cada pieza del ensamblaje, ajustando las tolerancias necesarias para compensar la contracción térmica natural que experimenta el polímero PETG tras el proceso de extrusión.

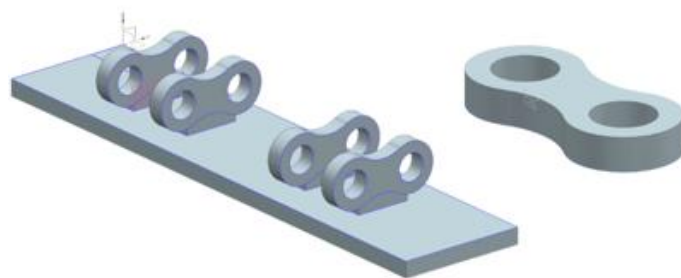
El núcleo de la innovación mecánica radicó en la customización del sistema de transporte, el cual abandonó el esquema tradicional de tracción por fricción (banda lisa sobre rodillo liso) para implementar un mecanismo de tracción positiva altamente eficiente. Se diseñó una arquitectura de transmisión inspirada en las cadenas de rodillos industriales (Figura 5).

Figura 5.
Mecanismo de tracción mediante engrane de estrella y cadena articulada. Fuente: Elaboración propia.



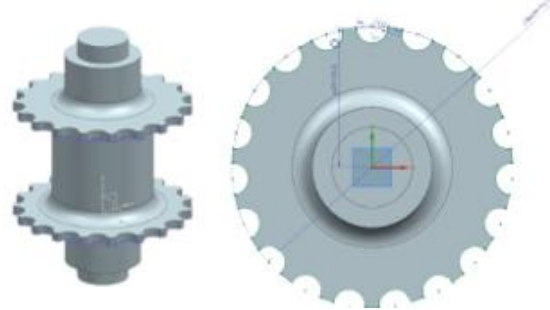
Para lograrlo, la banda se modeló de forma modular separando la superficie de carga del sistema de arrastre. Por un lado, se diseñaron placas rectangulares planas que conforman la cama superior donde viajan las piezas; por la parte inferior, estas placas se acoplaron a eslabones paramétricos en forma de "ocho". Al unir secuencialmente estos eslabones mediante bujes cilíndricos, se estructuró una cadena flexible y resistente; las partes diseñadas se ven en la Figura 6.

Figura 6.
Vista isométrica del modelo CAD de las placas de transporte acopladas a los eslabones de tracción. Fuente: Elaboración propia.



Para transmitir la potencia del motorreductor hacia esta cadena polimérica, se diseñó un rodillo motriz configurado como un engrane de estrella doble como el que muestra la Figura 7. El dibujo asistido de este componente se parametrizó con un radio exterior de 35.0 mm, calculando milimétricamente el paso entre los dientes para que los valles del engrane abracen con total exactitud los bujes de los eslabones impresos.

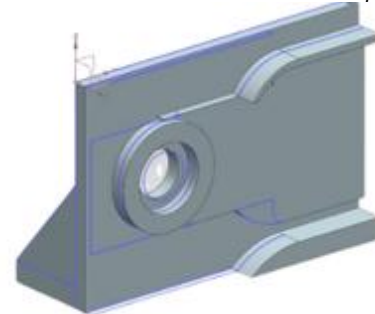
Figura 7.
Geometría tridimensional del rodillo motriz dentado (engrane de estrella doble). Fuente: Elaboración propia.



Este engranaje garantiza una tracción síncrona que elimina por completo el riesgo de patinaje de la banda ante variaciones de carga o fricción, asegurando que el esfuerzo tractivo se mantenga dentro del margen de seguridad del motor.

De forma paralela a la transmisión de potencia, el diseño estructural contempló la arquitectura física de los periféricos de clasificación y las bases de los actuadores. Se modelaron soportes robustos para la fijación del motor GA25-370 y bases deslizantes para los sensores ópticos e inductivos, permitiendo ajustes rápidos en el laboratorio. Un ejemplo de éstos es el mostrado en la Figura 8 que presenta los soportes del rodillo y del rodamiento del otro extremo.

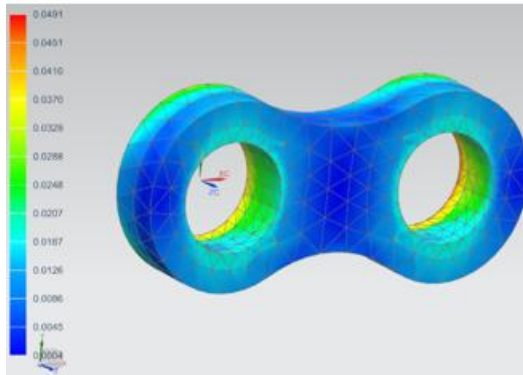
Figura 8.
Ejemplo de soporte diseñado para sostener el eje giratorio y el rodamiento para evitar la fricción. Fuente: Elaboración propia.



Para validar la integridad del diseño paramétrico frente a las cargas dinámicas de operación antes de proceder a la manufactura aditiva, los componentes mecánicos críticos fueron sometidos a un Análisis de Elementos Finitos (FEA) utilizando el solucionador integrado NX Nastra, el cual se visualiza en la Figura 9. En el caso específico del sistema de transmisión, el modelo del eslabón articulado se sometió a las fuerzas de tracción nominales, registrando un esfuerzo equivalente de von Mises máximo de 0.0491 MPa, el cual se concentra de manera predecible en las caras internas de los orificios de sujeción. Considerando que el límite de fluencia del polímero PETG empleado se sitúa en un aproximado de 50 MPa, este amplio factor de seguridad comprueba analíticamente que la fuerza tractora del sistema motriz no inducirá elongación plástica ni fallas por fatiga en los elementos de arrastre.

Figura 9.

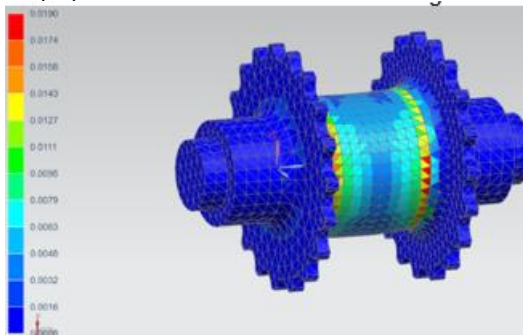
Análisis de elementos finitos (FEA) del eslabón articulado, mostrando una distribución de esfuerzo de von Mises máxima de 0.0491 MPa en las zonas de tracción. Fuente: Elaboración propia.



Por su parte, la simulación estructural aplicada al rodillo motriz de estrella doble reveló un esfuerzo máximo de tensión de apenas 0.0190 MPa, localizado en el cubo cilíndrico central que une ambas caras dentadas como lo ilustra la Figura 10.

Figura 10.

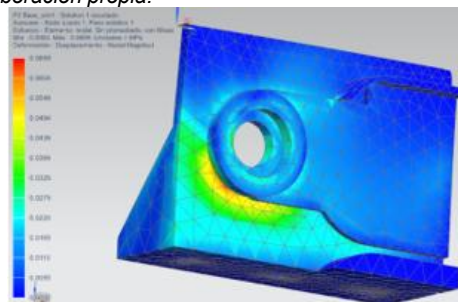
Simulación estructural del engrane motriz de estrella doble. Fuente: Elaboración propia.



Asimismo, se evaluó la resistencia mecánica de los soportes periféricos destinados a la fijación de la instrumentación y los actuadores neumáticos. El análisis CAE aplicado a la base estructural principal arrojó un esfuerzo pico de 0.0659 MPa. La simulación de la Figura 11 permitió observar que las tensiones mecánicas se disipan de manera adecuada a través de los radios de transición y los orificios de montaje.

Figura 11.

Distribución de esfuerzos de von Mises en los soportes periféricos. Fuente: Elaboración propia.



La inclusión de nervaduras de refuerzo en el modelo digital demostró ser sumamente efectiva para distribuir el impacto transversal y repetitivo generado por la actuación de los pistones de simple efecto, previniendo zonas de alta concentración de esfuerzos que pudieran derivar en fracturas de la estructura impresa a mediano plazo.

Esta validación por computadora demuestra que el núcleo del engrane es capaz de soportar y transmitir de forma continua el torque de 4.9 kgf/cm generado por el motorreductor hacia los bujes de la cadena.

2.5 Caracterización analítica y selección del sistema de actuación electromecánico

En lo referente a la infraestructura eléctrica y de control, la determinación del hardware se fundamentó en criterios de estandarización industrial y flexibilidad de interfaz. La selección de un controlador lógico programable basado en la arquitectura FX3U obedeció a su extendida presencia en los sectores productivos y a la versatilidad de su programación mediante diagramas de contactos, lo que facilita la transferencia directa de estas competencias hacia el campo laboral. Por su parte, el diseño del sistema de alimentación demandó separar de manera estricta las etapas de potencia y de control.

Adicionalmente, el diseño contempló desde su concepción teórica la inclusión de bloques de distribución externa con bornes tipo banana organizados por códigos de color; este requerimiento se estableció de forma prioritaria para evitar el deterioro físico de las terminales originales del controlador por manipulación repetitiva y para proporcionar un entorno de conexión rápido que desarrolle habilidades en el diagnóstico de lazos abiertos e interconexiones dinámicas entre múltiples plataformas de hardware.

El análisis metodológico previo priorizó el uso de actuadores neumáticos de simple efecto acoplados a electroválvulas distribuidoras, debido a que su configuración física permite introducir los conceptos base de la electroneumática y el manejo de fluidos de forma segura y progresiva.

Para complementar la detección de las piezas, se determinó la inclusión de un esquema de sensores ópticos e industriales de proximidad que confronta al estudiante con la calibración de señales PNP y NPN, el análisis de hojas técnicas y el acondicionamiento de variables discretas. La Tabla 2 resume los componentes principales del sistema modular.

Tabla 2.

Componentes principales seleccionados para el proyecto

Componente	Especificación / Modelo Base	Justificación Técnica y Criterio de Selección
Banda transportadora	Eslabones articulados impresos en PETG	Alta tenacidad, excelente resistencia al impacto y bajo coeficiente de fricción ante operación continua.
Actuador principal	Motorreductor de DC GA25-370 (12V, 130 RPM)	Relación óptima entre torque de arrastre y velocidad lineal controlada para un entorno educativo seguro.
Unidad de control	Controlador Lógico Programable (Réplica FX3U)	Arquitectura abierta de bajo costo compatible con estándares industriales de programación secuencial.
Instrumentación	Sensores ópticos,	Dispositivos discretos

n periférica	inductivos y capacitivos	y industriales seleccionados para posibilitar la detección multimaterial sin contacto.
Actuadores mecánicos	Cilindros neumáticos de simple efecto y electroválvulas	Configuración de fluido mecánica ideal para la introducción progresiva a los sistemas de rechazo y desvío de piezas.
Módulos de distribución	Bornes tipo banana sobre bloques impresos a color	Interfaz de sacrificio diseñada para proteger las terminales del PLC y agilizar el mapeo visual de trayectorias.
Etapas de potencia	Fuente de riel DIN (24V, DR-60-24) y fuente tipo rejilla (12V)	Aislamiento galvánico estricto entre la lógica de control y la potencia para mitigar el ruido electromagnético inducido.
Interfaz Hombre-Máquina	Botonera industrial y lámparas piloto multivariantes	Elementos robustos de interacción directa bajo códigos de colores normalizados para el ingreso y salida de estados.

2.6 Instrumentación, sistemas de detección y arquitectura de automatización.

Para asegurar una experiencia transportable a los entornos productivos reales, la arquitectura se diseñó bajo estándares industriales, sustituyendo las placas de desarrollo de propósito general por un Controlador Lógico Programable (PLC) como núcleo central de procesamiento, garantizando la robustez eléctrica frente al ruido electromagnético y la repetibilidad en los ciclos de escaneo.

El subsistema de detección se configuró mediante un arreglo estratégico de sensores que actúan en la periferia de la cama superior de eslabones articulados en PETG. En primera instancia, se implementó un sensor óptico fotoeléctrico difuso de corto alcance para la detección de presencia y el conteo inicial de las probetas transportadas. Paralelamente, con el propósito de discriminar el tipo de material de las piezas bajo estudio (clasificación metal/no metal), se posicionó un sensor inductivo de proximidad de alta sensibilidad, capaz de conmutar ante la cercanía de elementos ferrosos o de aluminio sin contacto físico directo. La disposición geométrica de estos instrumentos se calibró finamente mediante las bases deslizantes diseñadas en NX, asegurando que las señales analógicas y digitales ingresen a los módulos de entrada del PLC dentro de los márgenes mínimos de retraso por propagación.

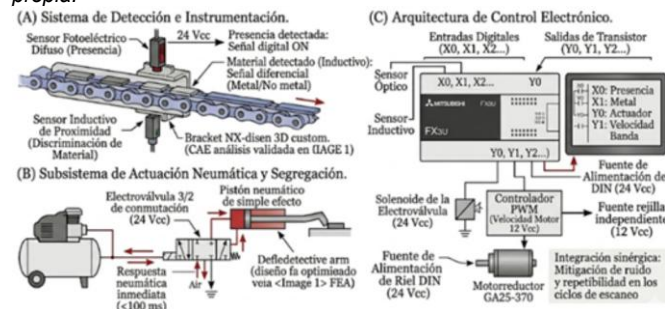
Por otra parte, la ejecución de las tareas de segregación y desvío de las piezas se asignó a un conjunto de actuadores neumáticos lineales de simple efecto, los cuales recuperan su posición pasiva mediante un resorte interno. El control de estos pistones se realiza a través de electroválvulas de conmutación de 3 vías y 2 posiciones (3/2) acopladas a un colector de distribución de aire comprimido.

El voltaje de operación de las bobinas de las electroválvulas se unificó a 24 Vcc para mantener compatibilidad directa con los módulos de salidas de transistor del PLC. Esta configuración neumática permite que los brazos deflectores respondan de forma inmediata a los comandos lógicos de expulsión, logrando

un desalajo limpio y preciso de las probetas hacia sus respectivas rampas de almacenamiento. El resumen general de la arquitectura de automatización integrada en el sistema se ve en la Figura 12.

Figura 12.

Arquitectura de automatización implementada. Fuente: Elaboración propia.



2.7 Manufactura aditiva y parámetros de impresión 3D

La materialización física de los componentes se realizó mediante manufactura aditiva por Modelado por Depósito Fundido (FDM) utilizando el software Ultimaker Cura® para la segmentación digital. El material seleccionado fue PETG. Con fines didácticos, se implementó un código de color nemotécnico: el sistema móvil de tracción positiva (eslabones articulados y placas de transporte) se extruyó en color azul, mientras que las estructuras fijas y soportes periféricos se fabricaron en color negro. Los componentes dinámicos se configuraron con un relleno giroidal al 30% de densidad para garantizar una distribución isotrópica de los esfuerzos, empleando soportes de tipo árbol con una interfaz de 0.2 mm en voladizos superiores a 45°.

La producción se distribuyó de forma estratégica en un parque de impresoras Creality integrado por los modelos Ender 3 V2, Ender 3 V3 SE y Ender 3 S1. Para optimizar los tiempos de fabricación, se modificó una de las unidades con una boquilla de 0.8 mm y una altura de capa de 0.4 mm destinada a los elementos estructurales de gran volumen. En contraste, las piezas de precisión geométrica (dientes del engrane y bujes) se fabricaron con boquillas estándar de 0.4 mm y alturas de capa de 0.2 mm, reduciendo los tiempos globales de impresión en un 40% en comparación con las boquillas de impresión estándar de las impresoras sin comprometer las tolerancias mecánicas que fueron medidas a través de vernier digital. Los parámetros térmicos y de velocidad estandarizados para el proceso de extrusión se detallan en la Tabla 2.

Tabla 3.

Parámetros estándar de laminado para filamento PETG

Parámetro Técnico	(Boquilla 0.4 mm)	(Boquilla 0.8 mm)	Propósito Tecnológico
Temperatura de Extrusión	235 °C – 240 °C	240 °C – 245 °C	Asegura la correcta fusión del copoliéster y una óptima adhesión intercapas.
Temperatura de la Cama	75 °C – 80 °C	80 °C	Previene el desprendimiento de la pieza por contracción térmica (<i>warping</i>).
Velocidad de	80 mm/s	65 mm/s	Controla el flujo volumétrico para evitar

Impresión				subextrusión en boquillas de gran diámetro.
Ventilación de Capa	20% – 30% (Desactivado en capa 1)	15% – 20%	–	Balancea el enfriamiento del polímero para maximizar la unión molecular.
Velocidad de Retracción	40 mm/s	35 mm/s		Mitiga el goteo del material (<i>stringing</i>) durante los desplazamientos libres.

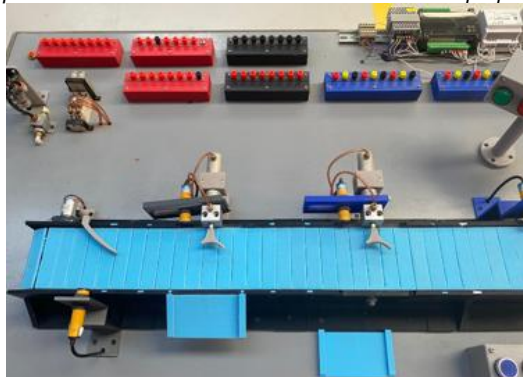
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La validación del sistema didáctico-modular se dividió en dos vertientes principales: en primer lugar, la consolidación física y operativa del prototipo industrial a escala; en segundo lugar, una evaluación cuasi-experimental del impacto de la plataforma en el proceso de enseñanza-aprendizaje durante un semestre lectivo completo, involucrando a dos secciones de asignaturas de especialidad con una muestra total de aproximadamente 40 estudiantes (20 alumnos por grupo).

3.1 Consolidación de la infraestructura física e integración del hardware

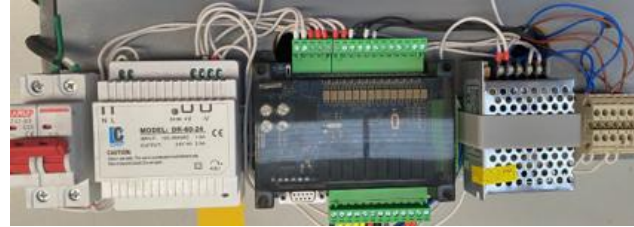
El primer resultado material del proyecto consistió en la transición del modelo paramétrico digital a una estación de trabajo ciberfísica completamente funcional y móvil. Para garantizar la estabilidad dimensional de la banda transportadora ante las vibraciones del motorreductor y los impactos transversales repetitivos de los actuadores neumáticos, se diseñó y fabricó una mesa de soporte robusta y personalizada. La estructura principal se construyó mediante un chasis soldado de Perfil Tubular Rectangular (PTR) de acero estructural, recubierto con una superficie de madera tratada de alta densidad que sirve como aislante dieléctrico para el montaje de los componentes eléctricos. En la parte inferior, el bastidor se equipó con ruedas giratorias industriales con freno de seguridad. El montaje visto desde una vista superior se ve en la Figura 13.

Figura 13.
Vista Superior del Módulo didáctico. Fuente: Elaboración propia.



En el plano de la integración eléctrica y neumática, la estación consolidó un esquema de cableado limpio y seguro que replica los estándares de las líneas de producción reales. El montaje del PLC y fuente de alimentación se ve en la Figura 13.

Figura 14.
Montaje del PLC y fuentes de alimentación. Fuente: Elaboración propia.



El conexionado entre los sensores ópticos e inductivos, las electroválvulas de 24 Vcc y los módulos de entrada/salida del Controlador Lógico Programable (PLC) se centralizó utilizando cables de uso rudo multiconductor con aislamiento termoplástico. Esta canalización robustece mecánicamente el sistema contra tirones accidentales durante las prácticas y mitiga de forma drástica el ruido electromagnético ambiental.

3.2 Incremento en la densidad de prácticas y eficiencia operativa

Una vez operativa la estación, el primer indicador instruccional evaluado fue la densidad del plan de prácticas realizables durante el periodo semestral. Los registros históricos de las generaciones que cursaron el mismo temario bajo el esquema tradicional evidenciaron que la dependencia de módulos limitaba drásticamente el avance del grupo, logrando ejecutar en promedio únicamente entre 5 y 6 prácticas por semestre. La introducción de la estación integrada optimizó los tiempos de preparación de las dinámicas gracias a su sistema de conexiones rápidas. Como se detalla en la Tabla 4, esta eficiencia operativa permitió duplicar la capacidad del laboratorio, alcanzando un total de 12 prácticas formales concluidas en el mismo lapso temporal, transitando hacia algoritmos de control secuencial de mayor complejidad.

Tabla 4.
Matriz comparativa del desarrollo de competencias procedimentales en el laboratorio.

Dimensión de Evaluación	Esquema Tradicional (Clemas de Conexión)	Entorno Modular Propuesto (Banda PETG / PTR)	Impacto Tecnológico y Pedagógico
Densidad Operativa	5 – 6 prácticas por semestre.	12 prácticas por semestre.	Incremento del 100% en la cobertura del temario avanzado de automatización.
Tiempo de Preparación	45 – 60 minutos (Montaje y cableado).	10 – 15 minutos (Conexión directa tipo banana).	Maximización del tiempo efectivo para la programación y depuración de código Ladder.
Enfoque de la Práctica	Cableado básico y detección de errores de continuidad.	Lógica de control, sintonización de velocidad y discriminación multimaterial.	Transición de tareas mecánicas repetitivas hacia el desarrollo de pensamiento crítico.

3.3 Rendimiento académico y aprovechamiento cognitivo

El uso de la plataforma modular demostró una correlación positiva directa con el desempeño cuantitativo de los estudiantes. Las evaluaciones sumativas mostraron que el promedio general de calificaciones de las generaciones previas, el cual se situaba históricamente en una media de 85/100 puntos, se incrementó a un promedio de 92/100 puntos en los grupos experimentales que interactuaron con el prototipo. Este incremento de 7 puntos porcentuales se atribuye a la reducción de la carga cognitiva extraña; al no tener que enfocar el esfuerzo intelectual en el conexionado básico inicial, la atención del estudiante se concentró en la optimización de los tiempos de ciclo, el ajuste de la histéresis de los sensores en las bases impresas y la programación del PLC. Como consecuencia, la resiliencia ante problemas lógicos complejos y la velocidad para diagnosticar fallas lógicas aumentaron significativamente.

IV. CONCLUSIONES

El desarrollo y la consolidación de la presente plataforma ciberfísica modular permitieron validar una alternativa tecnológica de bajo costo y alta replicabilidad para optimizar de manera sustancial la infraestructura de los laboratorios universitarios de ingeniería. Mediante la implementación estratégica de herramientas de diseño y simulación por computadora (CAD/CAE) en sinergia con la manufactura aditiva utilizando PETG, se logró la materialización de un sistema de transporte y clasificación con tracción positiva robusto, eficiente y mecánicamente seguro. En el ámbito pedagógico instruccional, la transición desde un esquema convencional basado en el cableado repetitivo sobre clemas hacia una arquitectura física integrada con bornes de conexión rápida mitigó significativamente la brecha de abstracción y la carga cognitiva extraña del alumnado.

Los resultados cuasi-experimentales cuantitativos demostraron que la plataforma optimiza el tiempo efectivo en el taller, permitiendo duplicar la densidad del plan de trabajo semestral de un histórico de 5 o 6 prácticas hasta alcanzar 12 dinámicas formalmente concluidas. Este incremento en la cobertura temática se reflejó de forma directa en un aumento del aprovechamiento académico, donde el promedio general de calificaciones se elevó de 85 a 92 puntos. El enfoque fomentó un aprendizaje activo centrado en la sintonización de variables lógicas y cinemáticas complejas de nivel industrial.

Las evaluaciones cualitativas evidenciaron una transformación radical en el plano actitudinal y motivacional de los estudiantes de ingeniería frente a la solución de retos auténticos. Lejos de generar frustración, la exposición intencional a variables y fallas físicas del entorno real, como falsos contactos eléctricos, fluctuaciones neumáticas o variaciones de carga mecánica, estimuló el entusiasmo, el pensamiento crítico y la capacidad de diagnóstico oportuno bajo presión. Este sistema interactivo no solo democratiza el acceso a infraestructura de entrenamiento técnico especializado, sino que reduce sustancialmente la curva

de aprendizaje de los alumnos, dotándolos de las competencias procedimentales esenciales demandadas por los sectores de la manufactura avanzada y el contexto tecnológico de la Industria 4.0

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Dgo, especialmente a la División de Ingeniería en Sistemas Automotrices y a la Subdirección de Posgrado e Investigación por las facilidades dadas para esta investigación.

VI. REFERENCIAS

- Benites Peralta, J. E. (2020). Simulación de procesos industriales como herramienta predictiva en la ingeniería de manufactura (Tesis de maestría). Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Cabarcas Simanca, A., Marrugo, G. A., y Miranda, J. C. (2021). Desafíos y oportunidades en la transición de entornos virtuales a laboratorios físicos en la enseñanza de la automatización. *Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 16(2), 145–153.
- Fernández, R., García, M., y López, J. A. (2020). Equilibrio pedagógico entre modelos conceptuales y experiencias de taller mediante proyectos prácticos iterativos en robótica y control. *Revista de Educación en Ingeniería*, 15(29), 40–52.
- García, L. M., Martínez, O., y Sánchez, T. (2022). El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y las metodologías activas: Transformación del aula en un entorno de codiseño y manufactura. *Educación Ingeniería y Ciencia*, 21(1), 78–89.
- González, F., y Pérez, D. (2021). Sistemas ciberfísicos e Internet de las Cosas (IoT): El abandono de las arquitecturas aisladas en la instrumentación educativa moderna. *Journal of Smart Manufacturing and Automation*, 4(2), 112–125.
- Herrera Abad/0000-0003-2610-7570, C. A., Palacios, M. E., y Castro, J. L. (2023). Implementación de módulos didácticos abiertos para el control de variables discretas y procesos fluidomecánicos mediante PLC comerciales. *Revista Científica de Ingeniería Industrial*, 26(2), 190–204.
- Martínez, J. R., Gómez, S. H., y Villanueva, A. (2020). Flexibilidad y escalabilidad en la formación práctica: Integración de estaciones de transporte y manipulación robótica modular en la educación superior. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 17(4), 415–426.
- Pérez, M. A., Torres, R., y Espinoza, G. (2022). Optimización de la infraestructura de laboratorios universitarios mediante manufactura aditiva (FDM) con polímeros técnicos de bajo costo. *Revista Internacional de Ingeniería y Prototipado Rápido*, 9(3), 67–79.
- Rivera Gómez, K. S., y Amaya Camargo, L. F. (2023). Diseño y validación cinemática de sistemas modulares de simulación a escala para la adquisición de competencias en instrumentación industrial. *Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tecnológico*, 11(1), 23–36.
- Sucari Pacompía, J., y Roldán Méndez, F. (2024). Diagnóstico sobre la disponibilidad de infraestructura tecnológica idónea y su impacto en la motivación intrínseca en carreras de ingeniería. *Revista Educación Superior y Tecnología*, 13(1), 12–28.

No.	Rol	Descripción Nota 1: favor de eliminar los corchetes una vez colocado su nombre Nota 2: elimine el todo texto de apoyo que se proporcionó en los asteriscos de cada fila y debajo de cada nombre.
1	Conceptualización [Conceptualization]	Eduardo Machado Díaz
2	Curación de datos [Data curation]	Eduardo Machado Díaz
3	Análisis formal [Formal analysis]	Alfredo Orlando Hassan Barrón Quintero
4	Obtención de fondos [Funding acquisition]	Alfredo Orlando Hassan Barrón Quintero
5	Investigación [Investigation]	Eduardo Machado Díaz
6	Methodología [Methodology]	Eduardo Machado Díaz
7	Administración del proyecto [Project administration]	Heber Joctan Martínez Sandoval
8	Recursos [Resources]	Heber Joctan Martínez Sandoval
9	Software [Software]	Eduardo Machado Díaz
10	Supervision [Supervision]	Heber Joctan Martínez Sandoval
11	Validación [Validation]	Alfredo Orlando Hassan Barrón Quintero
12	Visualización [Visualization]	Eduardo Machado Díaz
13	Redacción - borrador original [Writing – original draft]	Eduardo Machado Díaz
14	Redacción - revisión y edición [Writing – review & editing]	Alfredo Orlando Hassan Barrón Quintero