

Compartiendo conocimientos

FEGLININ

Año 9, N°33, vol.4, junio 2025

REVISTA OFICIAL
DE LA



Tópicos:

Tecnología; Innovación; Calidad;
Productividad; Desarrollo Económico.



CONTENIDO

DISEÑO Y MANUFACTURA AVANZADA APLICADA AL DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE MÓDULO DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS DE ESTÁTICA	4
TÉCNICA DE RECUPERACIÓN DE INFORMACIÓN POR COMPONENTES CLAVE DE LOS GRANDES MODELOS DE LENGUAJE.	10
ESTANCIAS TÉCNICAS INTERNACIONALES: ESTRATEGIA PARA LA INNOVACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL DE MÉXICO	19
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE MATERIAL DE REVESTIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE MUROS TAPIALES CON SUELO-CEMENTO	26
DISEÑO DE UN SISTEMA DE MANUFACTURA MODULAR ADAPTABLE A DISTINTAS FORMAS PRODUCTIVAS PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN EL ÁREA DE TALLERES Y LABORATORIOS DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ZITÁCUARO	37

Código DOI asignado a este volumen: <https://doi.org/10.70417/tl-32s16Tzf9>

Comisión Editorial F.G.D.P.

Directora Editorial:

Lic. Sandra Patricia Vázquez Hernández
Federación Global de Profesiones AC
administracion@federacionglobal.com

Secretario Técnico:

Dr. Lorenzo Sánchez Vásquez
Abbott Laboratories de México
lorenzo.sanchezI@abbott.com

Consejeros Técnicos:

Dra. Minerva Cristina García Vargas
Tecnológico Nacional de México Campus Zitácuaro
minerva.gv@zitacuaro.tecnm.mx

Dr. Ramsés Flores Gama
Universidad Loyola del Pacifico
ramses.flores@loyola.edu.mx

Editor Responsable:

Mtro. Juan Pablo Díaz Moreno
Federación Global de Profesiones AC
congreso@federacionglobal.com

FEGLININ, año 9, No. 33, vol.4, abril - junio 2025, es una publicación trimestral editada por la Federación Global de Profesiones AC, calle Juan de Dios Bonilla, 11-c, Col. Alta Costa Azul, Acapulco de Juárez, Guerrero, México, C.P. 39850, TEL (722) 32-92-228, <https://www.federacionglobal.com>, federacionglobal@gmail.com, editor responsable: Juan Pablo Díaz Moreno. Reserva de Derecho al Uso Exclusivo No -en trámite-, ISSN: 2594-2298, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, secretaria general de la Federación Global de Profesiones AC, Lic. Sandra Patricia Vázquez Hernández, calle Juan de Dios Bonilla, 11-c, Col. Alta Costa Azul, Acapulco de Juárez, Guerrero, México, C.P. 39850, fecha de la última modificación, 14 de junio de 2025.

Queda prohibida la reproducción total o parcial del contenido publicado en esta revista, mismo que es propiedad y queda registrado a nombre de los autores; su reproducción no autorizada constituye una infracción y un delito de conformidad con las leyes aplicables

EDITORIAL

Se presenta acá una nueva oportunidad de conectar con los lectores de FEGLININ, esto en sí mismo es representa una esperanza para llegar más lejos dado que lo que cada uno de nosotros compartimos, ya sea verbalmente o por escrito siempre nos llevara más lejos en lo que estemos haciendo y en este caso los temas tratados en las páginas de este número son por demás importantes.

Para quien esto escribe, pensar en el desarrollo económico y social de las naciones sin la innovación, la calidad, la productividad y la tecnología resulta por demás ilusorio, dado que las prácticas comerciales comunes se han originado precisamente en la innovación de nuevos productos servicios y procesos.

Tenemos ahora la oportunidad de leer juntos, las propuestas contenidas en este nuevo número de la revista FEGLININ número que al mismo tiempo nos permite dar inicio al noveno año de operaciones de esta revista. Todos y cada uno de los artículos que se presentan en los diferentes volúmenes de esta edición nos dejan ver la gran capacidad que existe en la comunidad científica global y la necesidad de fortalecer nuestras acciones como editores y revisores de los trabajos que se nos presentan hemos avanzado también en el fortalecimiento de las relaciones académicas con distintas universidades y ello nos permite ofrecer mejores espacios para la difusión y la divulgación del conocimiento.

No es momento para aflojar el paso en las acciones que se han emprendido, sino más bien para fortalecer los lazos en nuestra comunidad y seguir impulsando los diferentes proyectos que de a poco se nos van revelando por los miembros de la federación global de profesiones.

La responsabilidad que debemos asumir todos y cada uno de los miembros de la FGDP y aquellos que integran las instituciones con las que se han establecido convenios de colaboración es la de generar y compartir en todos los ámbitos posibles la mayor cantidad conocimientos, técnicas y nuevas teorías que permitan en su aplicación real un avance significativo en el mejoramiento de las condiciones de vida de los ciudadanos del mundo.

Vayamos pues al futuro con decisión y empuje para que juntos logremos mejores condiciones de convivencia con nosotros mismos y con nuestro entorno

Atte:

Juan Pablo Díaz Moreno

Presidente de la FGDP

DISEÑO Y MANUFACTURA AVANZADA APLICADA AL DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE MÓDULO DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS DE ESTÁTICA

DESIGN AND ADVANCED MANUFACTURING APPLIED TO THE DEVELOPMENT OF A DIDACTIC MODULE PROTOTYPE FOR STATIC PRACTICES



M.I. Rommel Arel Leal Palomares¹

Ing. Michelle Loreda Castro²

M.A.N. Nadia Lizzette Puentes Llanos³

RESUMEN

El Instituto Tecnológico Superior de Guasave no cuenta actualmente con equipo de laboratorio para impartir la asignatura de Estática en lo referente al Tema I Equilibrio de la partícula. Los equipos de laboratorio son costosos y ante cualquier reemplazo de partes se depende del proveedor para solventar la necesidad. Haciendo uso de la metodología de diseño de Robert Norton, creando un diseño 3D en SolidWorks y fabricando las piezas necesarias para crear un conjunto de un prototipo de mesa de fuerzas, será posible la realización de prácticas de equilibrio de fuerzas concurrentes en el plano. La mayoría de las piezas fueron impresas en 3D, algunas otras fueron de ferretería, además de un plato de metacrilato graduado con láser. La impresión 3D por deposición fundida es una herramienta de bajo costo, alta personalización y precisión dimensional sobresaliente para generar prototipos funcionales con fines didácticos.

ABSTRACT

The Guasave Higher Technological Institute currently does not have the laboratory equipment to teach the Statics subject for Topic I: Particle Equilibrium. Laboratory equipment is expensive, and any replacement parts require resale. Using Robert Norton's design methodology, creating a 3D design in SolidWorks and manufacturing the necessary parts to create a prototype force table assembly will allow for concurrent force equilibrium practices in the plane. Most of the parts were 3D printed; some were sourced from hardware stores, along with a laser-graded methacrylate plate. Fused deposition 3D printing is a low-cost, highly customizable, and outstanding dimensional accuracy tool for generating functional prototypes for educational purposes.

Palabras clave: Laboratorio, estática, diseño, impresión 3D, prototipo.

Key Words: Laboratory, statics, design, 3D printing, prototype.

INTRODUCCIÓN

Aunque actualmente existen las herramientas digitales para facilitar en el estudiante aprendizajes a distancia, es claro que no es posible sustituir la enseñanza de forma presencial. Un ejemplo de ello, son las prácticas de laboratorio, en donde primeramente el alumno debe de aprender a integrarse a un equipo de trabajo, aplicando sus competencias de socialización, el respeto a sus compañeros y la responsabilidad de entregar resultados individuales que serán parte del resultado del equipo (Gómez, 2013).

¹ M.I. Rommel Arel Leal Palomares es docente del programa de Ingeniería Mecánica del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Guasave, rommel.lp@guasave.tecnm.mx

² Ing. Michelle Loreda Castro es Ingeniera Mecánica egresada del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Guasave, L1725010266@guasave.tecnm.mx

³ M.A.N. Nadia Lizzette Puentes Llanos es docente del programa de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Guasave, nadia.pl@guasave.tecnm.mx

Se han realizado trabajos como el de García (2022) en donde se evidencia que el diseño y fabricación de material didáctico impreso en 3D permite la integración sistémica de contenidos matemáticos que los estudiantes utilizan en actividades cotidianas o laborales, tal como análisis y cálculos. Por otro lado, García Filiberto et al. (2020) han logrado desarrollos didácticos realizados en software de código abierto y prototipado rápido en 3D, mediante la técnica de FDM en donde el objetivo fue apoyar a la enseñanza de la Ingeniería Civil, Mecánica y Mecatrónica.

El laboratorio de Ing. Mecánica del Instituto Tecnológico Superior de Guasave carece de equipos que puedan ser útiles para realizar prácticas de la asignatura de Estática del programa educativo de Ing. Mecánica. Dentro de los temas de la asignatura, se considera de gran importancia el primero: Equilibrio de la partícula, en donde se tiene como competencia el solucionar problemas para las fuerzas que se concentran en un punto. Lo que se busca con este proyecto es que los estudiantes cuenten con mejores condiciones para adquirir las competencias requeridas, además de que se difunda que, con base en la creatividad y los conocimientos de la carrera, es posible crear soluciones para las diversas problemáticas que como institución se nos presenten. Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo es diseñar y manufacturar una mesa de fuerza para prácticas de estática de la carrera de Ingeniería Mecánica.

La mesa de fuerza es un aparato experimental muy antiguo, que data de principios del siglo XVIII (véase la figura 1). Sin embargo, los fenómenos de la física siguen siendo los mismos, sin importar la antigüedad del diseño del aparato.

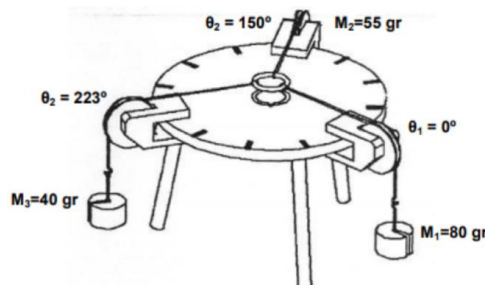


Figura 1 Montaje de un sistema de fuerzas concurrentes en una mesa de fuerzas

Fuente: Laboratorio de Física, 2025.

Lo anteriormente expuesto, nos permite proponer la siguiente pregunta de investigación: ¿Será posible diseñar y construir un prototipo de módulo de prácticas de estática que permita montar casos de estudio de equilibrio de la partícula donde al obtener las magnitudes de las fuerzas concurrentes de forma analítica y contrastarlas con el experimento se tenga una diferencia máxima de 5% con respecto a la fuerza de menor magnitud?

Este trabajo se realizó en el Instituto Tecnológico Superior de Guasave, haciendo uso de métodos de diseño mecánico, manufactura avanzada de impresión 3D y ensamble del prototipo en el Laboratorio de Ing. Mecánica y en el de Electricidad, Magnetismo y Electrónica.

Las limitantes para desarrollo de este proyecto fueron:

- La disponibilidad de recurso económico para adquisición de piezas y materiales.

- La disponibilidad de herramientas y equipos ideales para manufactura.

METODOLOGÍA

Existen muchos autores que exponen sus metodologías de diseño, en este caso, se aplicó la metodología de proceso de diseño de Robert Norton, que a diferencia de otras si considera la etapa de elaboración de prototipos y pruebas, además de la producción (véase figura 2).

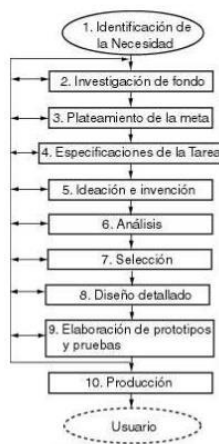


Figura 2 Proceso de diseño.

Fuente: (Norton, 2009)

En cuanto al diseño virtual, se desarrollaron cada una de las piezas en SolidWorks. La pieza modelada en 3D más relevante fue la estructura para prensa, la cual fue creada a partir de la técnica de diseño con enfoque en manufactura, en la cual el modelado se realiza mimetizando la forma en la que la parte sería manufacturada (Essentials, 1995) (véase la figura 3).

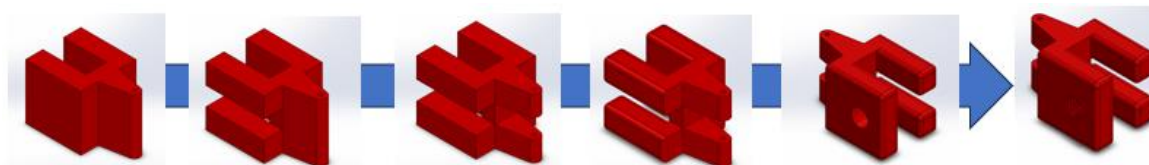


Fig. 3 Modelado de prensa con base en el enfoque en manufactura en SolidWorks.

Fuente: Elaboración propia

Además, se creó un ensamble en donde se observó que todas las piezas estuvieran adecuadamente localizadas, para cumplir con la función pretendida de la mesa de fuerzas (véase figura 4).

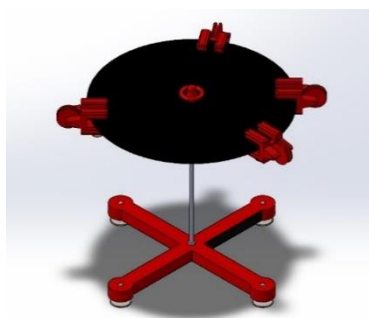


Fig. 4 Modelo 3D de la mesa de fuerzas realizado en el software SolidWorks.

Una vez finalizado el diseño, se continuó con la manufactura por medio de impresión 3D con el uso de un equipo FlashForge Creator 3, en donde se crearon la mayoría de las piezas del módulo de prácticas a excepción del plato graduado y las partes de ferretería (tornillos, tuercas, alambre, pesos de calibración). Se utilizó esta técnica de manufactura por tener la bondad de que se pueden crear sin ayuda de terceros, componentes bajo demanda basados en diseño propios o de terceros (Acelera pyme, 2022) (véase la figura 5).

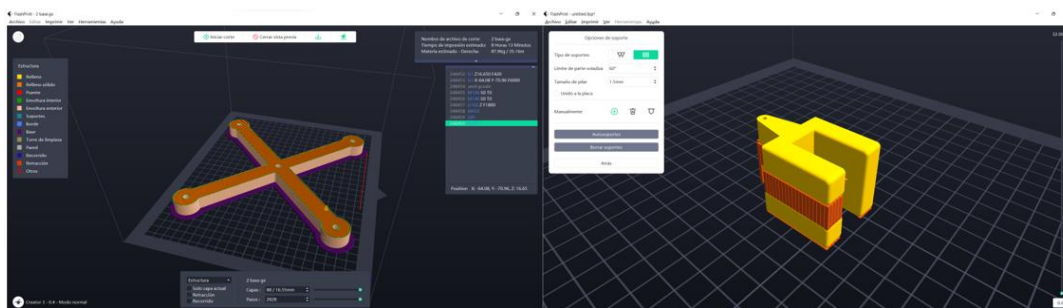


Fig. 5 Gestión de la impresión 3D de piezas para la mesa de fuerzas en el software FlashPrint.

Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

Se obtuvo una mesa de fuerzas para práctica de estática, portátil, con sencilla operación, fácil ensamble-desensamble y con piezas de la localidad (véase figura 6).



Fig. 6 Mesa de fuerzas ensamblada.

Descripción de la práctica propuesta

Para un sistema de fuerzas coplanares es posible establecer un par de ecuaciones vectoriales (i, j) , que para lograr el equilibrio, estas fuerzas deben de sumar 0 para la fuerza resultante (Hibbeler, 2010).

El objetivo de la práctica sería, demostrar experimental y analíticamente el equilibrio de un sistema de 3 o 4 fuerzas montadas en la mesa de fuerzas.

Paso 1. Ensambla la mesa de fuerzas (véase la figura 5).

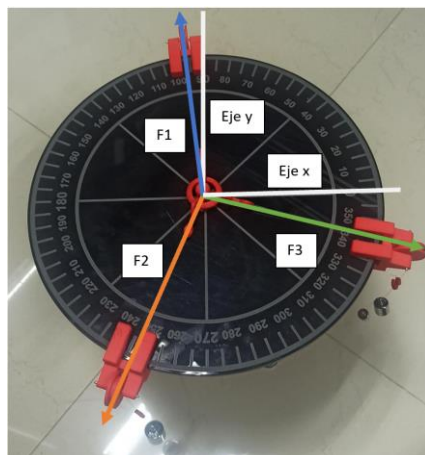


Fig. 15 Modelo 3D de la mesa de fuerzas realizado en el software SolidWorks.

Paso 2. Monta las fuerzas (masas) con sus respectivos ángulos (véase la tabla 1), observando la referencia de 0° alineada al eje x positivo y 90° para el eje y positivo.

Tabla 1. Fuerzas para el experimento y sus características

Número	Masa (g)	Fuerza (N)	Ángulo (°)
F ₁	60	0.5886	96
F ₂	50	0.4905	248
F ₃	30	0.2943	343

Paso 3. Una vez que experimentalmente se tienen las fuerzas y sus direcciones, procede a demostrar el equilibrio aplicando los cálculos correspondientes.

$$\begin{aligned}
 &\rightarrow + \sum F_x = 0 \\
 &-(0.5886 \text{ N})(\sin 6^\circ) - (0.4905 \text{ N})(\cos 68^\circ) + (0.2943 \text{ N})(\cos 17^\circ) = 0 \\
 &0.0367 \neq 0 \\
 &\uparrow + \sum F_y = 0 \\
 &+(0.5886 \text{ N})(\cos 6^\circ) - (0.4905 \text{ N})(\sin 68^\circ) - (0.2943 \text{ N})(\sin 17^\circ) = 0 \\
 &0.0445 \neq 0
 \end{aligned}$$

Paso 4. Anota los resultados de la suma de fuerzas horizontales y verticales, además calcula la diferencia porcentual de la fuerza de menor magnitud con respecto al resultado de la suma de fuerzas para cada ecuación y anótalo en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultado de suma de fuerzas y diferencia porcentual con respecto a la fuerza de menor magnitud

Suma de fuerzas en el eje	Magnitud de la fuerza (N)	Fuerza de menor magnitud (N)	Diferencia porcentual entre suma de fuerzas y fuerza menor
horizontal	0.0367	0.2943	12.29%
vertical	0.0445	0.2943	15.12%

Como puede observarse en el ejemplo anterior se obtuvo una diferencia porcentual mayor al 5% que fue la meta planteada en la pregunta de investigación. Por lo tanto, con lo realizado

en este trabajo aún no es posible solventar la pregunta de investigación. Consideramos que ese resultado es afectado por aspectos como:

- Error de paralaje al tomar la medición del ángulo de dirección de cada fuerza.
- Rueda indicadora del ángulo que no indica la mínima variación del instrumento (1°).
- Ganchos que se anclan a la argolla central (partícula en equilibrio) que rozan con la superficie del plato (acrílico color negro) producen fricción (Predictiva 21, 2023) y esto puede provocar fuerzas que reduzcan las fuerzas aplicadas por los pesos sean menores.

Como trabajos futuros se pretende realizar un rediseño del módulo de prácticas con un enfoque sustentable (materiales), además de solventar el error con respecto a las magnitudes de las fuerzas en el experimento y en los cálculos (reducir la fuerza resultante para cada eje).

CONCLUSIONES

Se diseñó y creo un módulo de prácticas para equilibrio de la partícula, lo cual es competencia educativa de la asignatura de Estática de la carrera de Ing. Mecánica. Los módulos comerciales son costosos y a partir de los conocimientos básicos de la carrera y haciendo uso de la creatividad se pueden constituir soluciones con el apoyo de los mismos estudiantes. Al aplicar metodologías de diseño es posible orientar las actividades para asegurar el alcance del objetivo. La manufactura avanzada 3D, permite lograr piezas para prototipos con formas idénticas al diseño digital, además de que la diferencia entre dimensiones del diseño y que se logra al final con este tipo de fabricación es mínima (0.5 mm) y no afecta el funcionamiento (formlabs, 2025).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acelera pyme. (2022, October 17). *Usos y ventajas de la impresión 3D* | Acelera pyme. <https://www.acelerapyme.gob.es/novedades/pildora/usos-y-ventajas-de-la-impresion-3d>. <https://www.acelerapyme.gob.es/novedades/pildora/usos-y-ventajas-de-la-impresion-3d>
- Essentials, S. (1995). *SolidWorks*® 2011. Dassault Systemes SolidWorks Corporation.
- formlabs. (2025). *Guía sobre tolerancias, fiabilidad y precisión en la impresión 3D*. https://formlabs.com/latam/blog/precision-fiabilidad-tolerancia-impresion-3d/?srsltid=AfmBOoqKvwzQH0Cs_3aOhbYlW3WlJrdptw7PJvBNqGKMhA2h9jedkA-. https://formlabs.com/latam/blog/precision-fiabilidad-tolerancia-impresion-3d/?srsltid=AfmBOoqKvwzQH0Cs_3aOhbYlW3WlJrdptw7PJvBNqGKMhA2h9jedkA-
- García, F. C. (2022). Integración de la impresión 3D en la educación tecnológica. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12, 336. <https://doi.org/10.23913/ride.v12i24.1170>
- García Filiberto, C., Flores Martín, C., Sánchez Enrique, G. R., Mora Israel, R., & Rendón Juan, C. C. (2020). *La didáctica de la educación superior con apoyo de la impresión 3D y el desarrollo de software*. 9(3), 129–140. www.mecamex.net/revistas/LMEM
- Gómez, M. (2013). La importancia de los laboratorios en la enseñanza de la ingeniería Dra. María Idalia Gómez de la Fuente. *Ingenierías*, 61.
- Hibbeler, R. C. (2010). *Ingeniería Mecánica Estática* (12th ed.). Prentice Hall.
- Laboratorio de Física. (2025). *Mesa de fuerzas: equilibrio de traslación*.
- Norton, R. (2009). *DISEÑO DE MAQUINARIA Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos* (Vol. 1). McGraw-Hill.
- Predictiva 21. (2023, October 31). *Fricción*. <https://predictiva21.com/definicion-friccion>

TÉCNICA DE RECUPERACIÓN DE INFORMACIÓN POR COMPONENTES CLAVE DE LOS GRANDES MODELOS DE LENGUAJE.

INFORMATION RETRIEVAL TECHNIQUE WITH KEY COMPONENTS OF THE MAJOR LANGUAGE MODELS.



Ing. Noel Merino Peralta¹

Dr. Angelino Feliciano Morales²

Dr. Rene Edmundo Cuevas Valencia³

RESUMEN

La recuperación aumentada de datos ha emergido como un nuevo enfoque en la inteligencia artificial, enriqueciendo los métodos de recuperación de datos con modelos generativos para incrementar notablemente la precisión y pertinencia de las respuestas en sistemas automatizados. En estas circunstancias, resulta crucial analizar los fundamentos técnicos de la recuperación aumentada de datos, su aplicación en entornos multilingües y su influencia en aplicaciones como asistentes virtuales educativos, buscadores especializados y sistemas de traducción automatizada. Este artículo analiza los conceptos básicos teóricos, los componentes arquitectónicos y el uso práctico de la información para recuperarse y enfatizar su sinergia con grandes modelos de idiomas como GPT-3 o Bert. Se analiza cómo esta combinación integra sistemas de recuperación de información con capacidades de los grandes modelos de lenguaje, permitiendo respuestas precisas y contextualizadas. Finalmente, se discuten desafíos técnicos y éticos, así como futuras direcciones de investigación en este campo.

ABSTRACT

Augmented data retrieval has emerged as a new approach in artificial intelligence, enriching data retrieval methods with generative models to significantly increase the accuracy and relevance of answers in automated systems. Under these circumstances, it is crucial to analyze the technical foundations of augmented data retrieval, its application in multilingual environments and its influence on applications such as educational virtual assistants, specialized search engines and automated translation systems. This article analyzes the basic theoretical concepts, the architectural components and the practical use of information retrieval and emphasizes its synergy with large language models such as GPT-3 or Bert. It discusses how this combination integrates information retrieval systems with capabilities of large language models, enabling accurate and contextualized responses. Finally, technical and ethical challenges are discussed, as well as future research directions in this field.

Palabras clave: Recuperación aumentada de información, Modelos generativos, Bases de datos multimodales, Ética en Inteligencia Artificial.

Key Words: *Augmented information retrieval, Generative models, Multimodal databases, Ethics in Artificial intelligence.*

INTRODUCCIÓN

Los grandes modelos de lenguaje han definido las capacidades del procesamiento del lenguaje natural mostrando capacidades para generar texto coherente y realizar tareas complejas como traducción, síntesis de informe y análisis semántico (Brown et al., 2020). No obstante, su dependencia de datos estáticos de entrenamiento limita su eficacia en

¹ Ing. Noel Merino Peralta, estudiante de la Maestría en Ingeniería para la Innovación y Desarrollo Tecnológico impartida en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero. 19306462@uagro.mx

² Profesor e investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero. afmorales@uagro.mx

³ Profesor e investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero. reneecuevas@uagro.mx

escenarios que demandan información en tiempo real, o específica de dominios (Guu et al., 2020). La Recuperación Aumentada de Información surge como solución al integrar sistemas de recuperación de información con LLM, permitiéndoles acceder a bases de conocimiento externas en tiempo real. Este enfoque examina cómo RAG opera, sus componentes esenciales y su impacto en aplicaciones prácticas, se muestra en la figura 1.

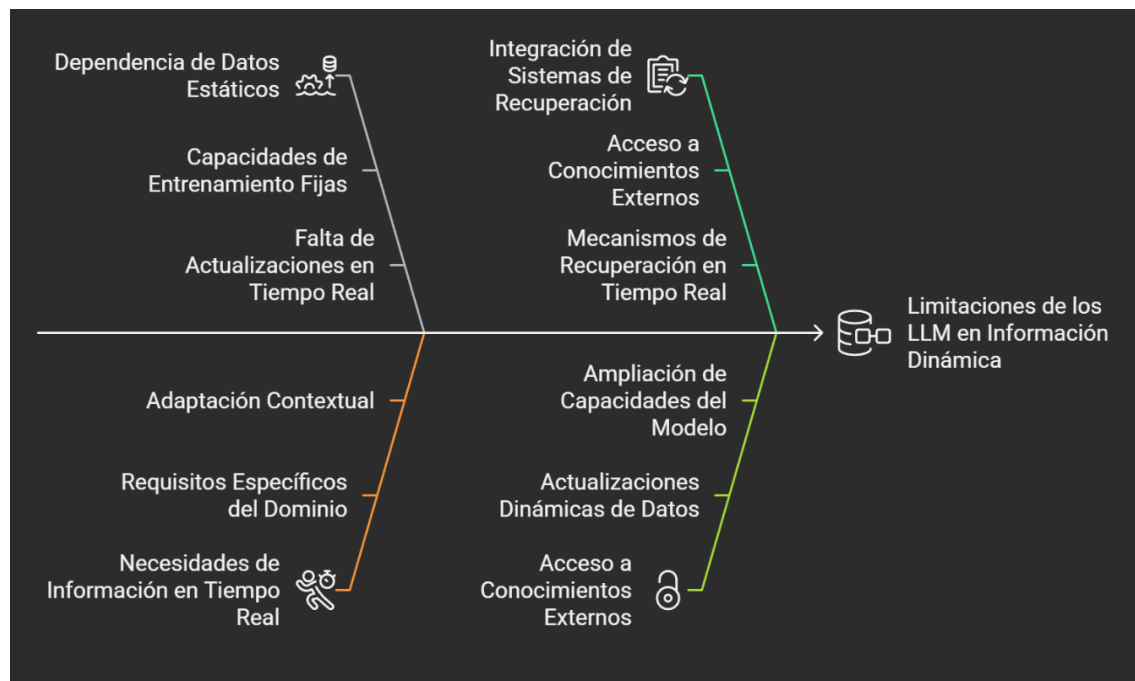


Figura 1: Mejorando la Eficacia de los LLM con RAG

Fuente: Elaboración propia

Los sistemas tradicionales de recuperación de información enfrentan limitaciones al procesar consultas complejas o ambiguas, especialmente en contextos multilingües o con datos multimodales (Lewis et al., 2020). La integración de modelos generativos, como los basados en arquitecturas *Transformer*, ha permitido superar estas barreras mediante la generación contextualizada de respuestas, sin embargo; la falta de acceso a fuentes de datos actualizadas y confiables sigue siendo un obstáculo crítico (Guu et al., 2020).

La RAG aborda este problema al enlazar modelos generativos (ej., GPT-3, BERT) con bases de datos externas, permitiendo la extracción de información relevante en tiempo real y su posterior síntesis en respuestas coherentes (Izacard & Grave, 2021), este enfoque ha demostrado eficacia en dominios como la educación digital, donde se requiere precisión léxica y adaptabilidad cultural (Sánchez, 2022).

Con el objetivo de desarrollar una técnica innovadora de recuperación de información que integre componentes clave de los grandes modelos de lenguaje para mejorar la precisión y eficiencia en la búsqueda de datos relevantes, este trabajo propone avanzar el paradigma RAG mediante la incorporación de mecanismos de atención dinámica y filtrado semántico adaptativo.

Los RI, están evolucionado continuamente en la última década, pasando de enfoques basados en palabras clave a métodos semánticos y análisis formó lógicos que interpretan el contexto y la intención del usuario (Pérez & González, 2021).Hasta cierto punto, en escenarios

multilingües o con datos heterogéneos (ej., texto, audio, video, presentaciones, etc.), estos sistemas aún enfrentan varios desafíos para garantizar precisión y relevancia, especialmente al procesar consultas confusas o culturalmente específicas (UNESCO, 2023). Un ejemplo ilustrativo es la traducción automática de lenguas indígenas, donde la falta de contextos culturales en bases de datos convencionales genera errores de interpretación (Hernández & López, 2021).

METODOLOGÍA

Para validar la eficacia de RAG en contextos multilingües, se siguió una metodología en tres fases: (1) análisis comparativo de modelos como GPT-3 y BERT (Brown et al., 2020); (2) evaluación cuantitativa mediante métricas BLEU y ROUGE; y (3) casos de estudio en educación, donde EduBot-MX demostró un 30% de mejora en precisión (García et al., 2022). Los resultados evidenciaron que RAG reduce errores en traducciones de lenguas indígenas al integrar contextos culturales ausentes en LLM tradicionales.

Los sistemas tradicionales de recuperación de información enfrentan limitaciones al procesar consultas complejas o ambiguas, especialmente en contextos multilingües o con datos multimodales (Lewis et al., 2020). La integración de modelos generativos, como los basados en arquitecturas *Transformer*, ha permitido superar estas barreras mediante la generación contextualizada de respuestas, sin embargo; la falta de acceso a fuentes de datos actualizadas y confiables sigue siendo un obstáculo crítico (Guu et al., 2020).

La RAG aborda este problema al enlazar modelos generativos (ej., GPT-3, BERT) con bases de datos externas, permitiendo la extracción de información relevante en tiempo real y su posterior síntesis en respuestas coherentes (Izacard & Grave, 2021), este enfoque ha demostrado eficacia en dominios como la educación digital, donde se requiere precisión léxica y adaptabilidad cultural (Sánchez, 2022).

Los RI, están evolucionado continuamente en la última década, pasando de enfoques basados en palabras clave a métodos semánticos y análisis formó lógicos que interpretan el contexto y la intención del usuario (Pérez & González, 2021). Hasta cierto punto, en escenarios multilingües o con datos heterogéneos (ej., texto, audio, video, presentaciones, etc.), estos sistemas aún enfrentan varios desafíos para garantizar precisión y relevancia, especialmente al procesar consultas confusas o culturalmente específicas (UNESCO, 2023). Un ejemplo ilustrativo es la traducción automática de lenguas indígenas, donde la falta de contextos culturales en bases de datos convencionales genera errores de interpretación (Hernández & López, 2021).

La integración de modelos generativos, como los basados en arquitecturas *Transformer* (ej., BERT, GPT), ha permitido superar parcialmente estas limitaciones al generar respuestas más contextualizadas (Lewis et al., 2020). Por el contrario, estos modelos suelen depender de datos de entrenamiento estáticos, lo que los hace vulnerables a desactualizaciones o calado en dominios especializados, como terminología médica o jurídica (Martínez, 2022). La RAG surge como una solución híbrida al combinar la capacidad de los grandes modelos de lenguaje con la actualización dinámica de bases de datos externas, facilitando la extracción de información verificable y su síntesis adaptativa, es decir, la información que arroja es confiable, evita que los LLM alucinen y argumenten respuestas confusas o incorrectas.

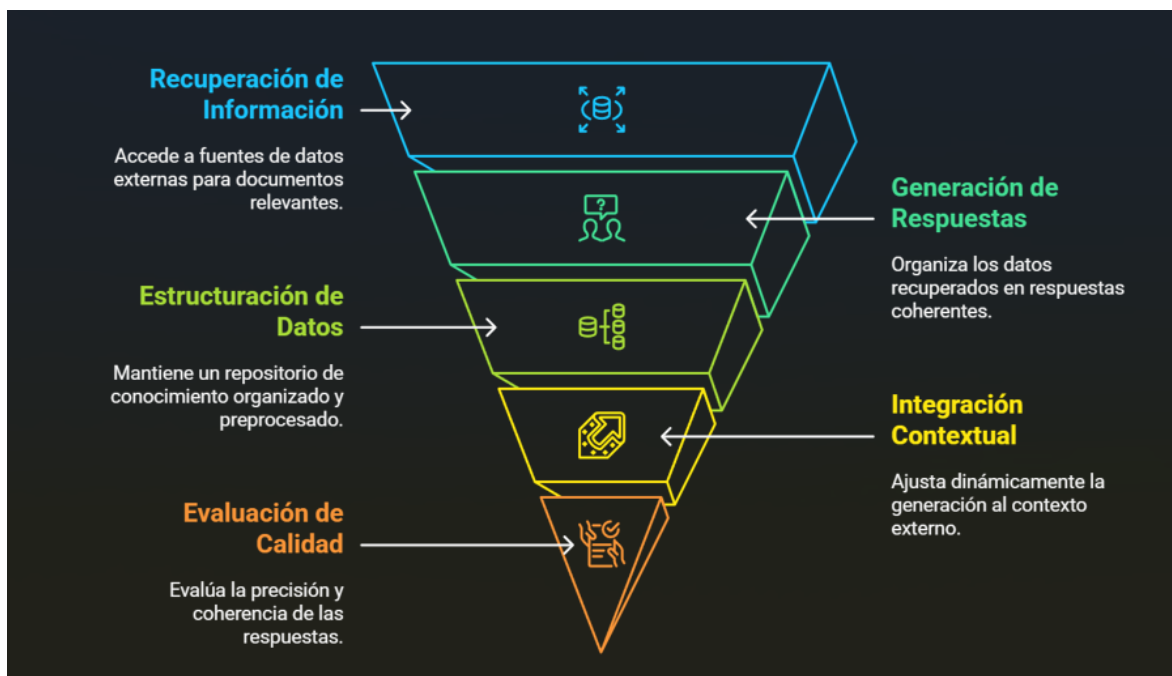


Figura 2: Proceso de Mejora de Respuestas de PLN

Fuente: Elaboración propia

En América Latina, este paradigma ha ganado relevancia en aplicaciones educativas, por ejemplo, chatbots como EduBot-MX utilizan Generación Aumentada de Información (RAG), para recuperar contenidos pedagógicos de repositorios institucionales y generar explicaciones personalizadas, mejorando la accesibilidad en comunidades con limitado acceso a docentes especializados (García et al., 2022). Sin embargo, su implementación enfrenta retos técnicos y éticos, como la escalabilidad en el manejo de datos no estructurados y la mitigación de sesgos algorítmicos en lenguas minoritarias (UNESCO, 2023).

Fundamentos de RAG

Los sistemas de RAG integran mecanismos de recuperación de información, con grandes modelos generativos para mejorar la calidad y precisión de las respuestas en tareas de procesamiento de lenguaje natural. Este modelo combina un componente de recuperación, que ingresa a fuentes externas (p. ej., bases de datos o documentos), con un modelo generativo (como GPT o T5), que sintetiza la información recuperada para producir textos coherentes y contextualizados (Lewis et al., 2020).

La técnica de recuperación emplea dense passage retrieval (DPR) para identificar fragmentos relevantes de un corpus, utilizando embeddings de alta dimensión para mapear consultas y documentos en un espacio semántico común (Gua et al., 2020). Posteriormente, el componente generativo procesa tanto la entrada del usuario como los textos recuperados para generar respuestas fundamentadas en evidencia externa, minimizando así, la dependencia de conocimiento memorizado (Izacard & Grave, 2021).

RAG es un marco híbrido que fusiona dos procesos críticos:

Recuperación de información: extrae documentos relevantes de un corpus externo (ej., bases de datos, artículos científicos o web).

Generación contextual: utiliza un LLM para sintetizar respuestas basadas en los documentos recuperados y la consulta del usuario.

A diferencia de los LLM comunes, que dependen únicamente de patrones aprendidos durante el entrenamiento, RAG enriquece el contexto con información dinámica, reduciendo errores factuales y mejorando la precisión de la respuesta con ello se le da fin al proceso de alucinaciones de los grandes modelos de lenguaje (Borgeaud et al., 2021).

Componentes clave de un sistema RAG

Este enfoque se fundamenta en cinco componentes principales, cada uno con funciones específicas y respaldado por investigaciones recientes en procesamiento del lenguaje natural (PLN).

Módulo de recuperación de información

Este componente se encarga de acceder a fuentes de datos externas para identificar documentos o fragmentos relevantes según la consulta del usuario, para ello, emplea métodos de recuperación densa (dense retrieval), donde la consulta como los textos se codifican en espacios vectoriales de alta dimensión mediante modelos como DPR (Karpukhin et al., 2020). Dichos modelos superan a las técnicas tradicionales basadas en palabras clave, ya que capturan similitudes semánticas mediante embeddings contextuales, la eficacia de este módulo depende de la calidad del corpus y de la mejora de los algoritmos de búsqueda (Lewis et al., 2020).

Módulo Generativo

Una vez recuperada la información, un modelo generativo basado en arquitecturas de transformadores, como T5 o BART, organiza los datos en respuestas coherentes (Lewis et al., 2020). Estos modelos se entrenan mediante tareas de denoising o generación condicionada, lo que les permite combinar el contexto recuperado con conocimientos previos internalizados durante el preentrenamiento, la capacidad de generar texto fluido, coherente y relevante está directamente vinculada a la escalabilidad del modelo y a su adaptación a dominios específicos (Guu et al., 2020).

Corpus de datos estructurado

El sistema RAG requiere un repositorio organizado y preprocesado que sirva como base de conocimiento, este corpus puede incluir documentos científicos, artículos o bases de datos especializadas, presentaciones, los cuales se indexan para facilitar su recuperación rápida, la normalización de textos (e.g., tokenización, eliminación de ruido) y la actualización periódica son críticas para mantener la relevancia de la información (Lewis et al., 2020).

Mecanismo de integración contextual

La interacción entre los módulos de recuperación y generación se gestiona mediante técnicas de fusión, como la atención cruzada (cross-attention) o la concatenación de información de vectores. Por ejemplo, en enfoques como RAG-Sequence o RAG-Token, el modelo generativo gestiona los fragmentos recuperados como entradas adicionales, lo que permite ajustar dinámicamente la generación al contexto externo (Lewis et al., 2020). Este paso es fundamental para evitar inconsistencias o respuestas con alucinaciones.

Métricas de evaluación cuantitativas y cualitativas

La eficacia de un sistema RAG se mide mediante métricas estándar en anotar como BLEU evalúan la superposición léxica entre respuestas generadas y referencias humanas (Papineni et al., 2002), mientras que ROUGE analiza la coherencia y exhaustividad en tareas de resumen (Lin, 2004). Adicionalmente, se utilizan evaluaciones humanas para valorar la fluidez y precisión factual, especialmente en dominios técnicos (Lewis et al., 2020).



Figura 2: Componentes Clave de un Sistema RAG

Fuente: elaboración propia

Integración con LLM; colaboración sinérgica

La eficacia de RAG radica en cómo el LLM utiliza la información recuperada para enriquecerse de información, en la fase de entrenamiento, se ajustan los parámetros del modelo para:

Identificar dependencias contextuales: asociar consultas con documentos relevantes.

Generar respuestas verificables: citando fuentes externas, lo que aumenta la transparencia (Petroni et al., 2021).

Un ejemplo destacado es RAG-Token, donde el LLM genera cada token de la respuesta considerando simultáneamente la consulta y los documentos (Lewis et al., 2020). Esto contrasta con enfoques secuenciales, donde la recuperación y la generación son etapas separadas, lo mismo sucede con el ranqueo de documento y la concatenación de información.

Aplicaciones prácticas

1. Asistentes Virtuales Inteligentes

RAG permite a asistentes virtuales de estos campos, ofrecer diagnósticos y recomendaciones basados en la última literatura científica disponible. Esto reduce riesgos asociados por la desactualización del conocimiento, ya que los sistemas pueden acceder a información reciente y relevante en tiempo real (Gao et al., 2021).

2. Educación personalizada

Plataformas educativas integran RAG para ofrecer explicaciones adaptadas al nivel del estudiante, utilizando recursos como libros de texto digitales o videos tutoriales.

3. Análisis de datos empresariales

En finanzas, sistemas RAG recuperan informes de mercado y generan resúmenes ejecutivos, ayudando en la toma de decisiones (Chen et al., 2023).

Desafíos y consideraciones éticas

Calidad de la Recuperación: documentos irrelevantes o sesgados pueden propagar desinformación (Lin et al., 2021).

Escalabilidad: indexar terabytes de datos requiere infraestructura robusta y eficiencia computacional.

Privacidad: el acceso a bases de datos confidenciales exige mecanismos de anonimización y cumplimiento normativo (ej., GDPR).

RESULTADOS

La implementación de sistemas de Recuperación Aumentada para Generación (RAG) en conjunto con grandes modelos de lenguaje (LLM) como GPT-3 y BERT ha demostrado mejoras significativas en la precisión y relevancia de las respuestas generadas esto se logra mediante la integración dinámica de bases de conocimiento externas, lo que reduce la dependencia de datos estáticos de entrenamiento y mitiga errores fácticos o "alucinaciones" comunes en LLM tradicionales. Esta sinergia permite abordar consultas complejas en dominios especializados (médico, jurídico) y contextos multilingües, superando limitaciones de sistemas de recuperación de información convencionales.

En aplicaciones prácticas, destaca el uso de RAG en plataformas educativas como EduBot-MX (México), donde se generan explicaciones pedagógicas personalizadas a partir de repositorios institucionales, mejorando la accesibilidad en comunidades con recursos limitados, de igual manera, en el ámbito de la traducción automática, se observa una reducción de errores interpretativos en lenguas indígenas al incorporar contextos culturales ausentes en bases de datos básicas. En sectores como salud y finanzas, los sistemas RAG han facilitado diagnósticos actualizados y resúmenes ejecutivos basados en literatura científica o informes de mercado, respectivamente.

La evaluación de estos sistemas se fundamenta en métricas cuantitativas (BLEU para superposición léxica, ROUGE para coherencia en resúmenes) y cualitativas (evaluaciones humanas), las cuales ratifican la fluidez, precisión y adaptabilidad contextual de las respuestas. Sin embargo, persisten desafíos técnicos como la escalabilidad en el procesamiento de grandes cantidades de datos no estructurados y la eficiencia computacional requerida para ordenar terabytes de información. Desde una perspectiva ética, se identifican riesgos asociados a la propagación de sesgos algorítmicos en lenguas minoritarias, la privacidad en el manejo de datos sensibles y la necesidad de transparencia en la atribución de fuentes.

CONCLUSIONES

Los sistemas de Recuperación Aumentada para Generación de información constituyen un avance paradigmático significativo en el desarrollo de modelos de lenguaje de gran escala a

los sistemas de recuperación de información dinámica, RAG supera dos limitaciones fundamentales de los LLMs tradicionales.

La combinación de recuperación de información y generación de texto no solo mejora la precisión y relevancia de las respuestas, sino que también abre nuevas oportunidades para transformar sectores críticos donde la información precisa y actualizada es esencial, esta arquitectura híbrida redefine el futuro de la inteligencia artificial generativa, ofreciendo soluciones precisas y adaptadas a entornos dinámicos y complejos.

Aunque la generación aumentada por recuperación revoluciona las capacidades de los modelos de lenguaje de gran escala, su adopción enfrenta desafíos multifacéticos y desde el punto de vista técnico, persisten retos como la escalabilidad al procesar grandes corpus en tiempo real y los sesgos heredados de los datos de entrenamiento. Luego, surgen preocupaciones éticas relacionadas con la privacidad de fuentes y la transparencia en la atribución de información, especialmente en contextos regulatorios como el GDPR de la Unión Europea.

La RAG no solo redefine las capacidades de los LLM, sino que también establece un precedente para sistemas de IA híbridos, donde la sinergia entre recuperación y generación impulsa tanto la utilidad práctica como la confiabilidad. Su evolución continuará transformando sectores críticos, siempre que se aborden los desafíos técnicos y éticos con un enfoque colaborativo y responsable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borgeaud, S. et al. (2021). Improving language models by retrieving from trillions of tokens. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/2112.04426>
- Brown, T. et al. (2020). Language models are few-shot learners. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/2005.14165>
- Echeverri Torres, M. M., & Manjarrés-Betancur, R. (2020). Asistente virtual académico utilizando tecnologías cognitivas de procesamiento de lenguaje natural. *Revista Politécnica*, 16(31), 85–96. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v16n31a7>
- Guu, K., Lee, K., Tung, Z., & Pasupat, P. (2020). Retrieval augmented language model pre-training. *ICML*. <https://arxiv.org/abs/2005.11401>
- Hernández, J., & López, M. (2021). Traducción automática de lenguas indígenas de México https://www.researchgate.net/publication/325922473_Hacia_la_Traduccion_Automatica_de_las_Lenguas_Indigenas_de_Mexico
- Izacard, M., & Grave, E. (2021). Leveraging passage retrieval with generative models for open domain question answering. *EACL*. <https://aclanthology.org/2021.eacl-main.74>
- Karpukhin, V., Oguz, B., Min, S., Lewis, P., Wu, L., Edunov, S., Chen, D., & Yih, W. (2020). Dense passage retrieval for open-domain question answering. *Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, 6769–6781. <https://doi.org/10.18653/v1/2020.emnlp-main.550>
- Lewis, P., Perez, E., & Yogatama, D. (2020). Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. *NeurIPS*. <https://arxiv.org/pdf/2005.11401>
- Lin, C.-Y. (2004). ROUGE: A package for automatic evaluation of summaries. *Proceedings of the ACL-04 Workshop: Text Summarization Branches Out*, 74–81.
- Papineni, K., Roukos, S., Ward, T., & Zhu, W.-J. (2002). BLEU: A method for automatic evaluation of machine translation. *Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 311–318. <https://doi.org/10.3115/1073083.1073135>

- Roberts, A., Chung, H. W., Levskaya, A., Mishra, G., Bradbury, J., Andor, D., Narang, S., Lester, B., Gaffney, C., Mohiuddin, A., Hawthorne, C., Lewkowycz, A., Salcianu, A., van Zee, M., Austin, J., Goodman, S., Soares, L. B., Hu, H., Tsvyashchenko, S., ... Fiedel, N. (2022). Scaling up models and data with t5x and seqio. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2203.17189>
- Núñez-Canal, M., Fernández-Ardavín, A., Díaz Marcos, L., & Aguado, O. (2024). Aprendizaje generativo integral: Un modelo para la educación superior ante los desafíos de la inteligencia artificial. European Public & Social Innovation Review, 9, 1-21. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-1685>
- MongoDB. (s. f.). ¿Qué es la generación aumentada por recuperación (RAG)?. MongoDB. <https://www.mongodb.com/es/resources/basics/artificial-intelligence/retrieval-augmented-generation>
- UNESCO. (2022). Aplicación de la Recomendación sobre la Ética de la Inteligencia Artificial. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000382931_spa?posInSet=4&queryId=6b25ea48-e8dd-4469-8ceb-745ffa889be4
- Vaswani, A. et al. (2017). Attention is all you need. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/1706.03762>

ESTANCIAS TÉCNICAS INTERNACIONALES: ESTRATEGIA PARA LA INNOVACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL DE MÉXICO

INTERNATIONAL TECHNICAL STAYS: STRATEGY FOR INNOVATION AND ECONOMIC AND SOCIAL DEVELOPMENT IN MEXICO

M.C. García-Vargas¹

A. García-Arreola²

F.J. López Hernández³

J. M. Romero García⁴

RESUMEN

Las estancias técnicas internacionales en entornos multidisciplinarios representan una oportunidad clave para el desarrollo profesional de los docentes, particularmente en el ámbito de la ingeniería. Este tipo de experiencias promueve el intercambio de conocimientos, la adopción de nuevas tecnologías y el fortalecimiento de competencias clave para contribuir al desarrollo social y económico de México. En este artículo se analiza la importancia de estas estancias, destacando su papel en la formación docente, la innovación educativa y el impacto en la ingeniería como motor de desarrollo nacional.

ABSTRACT

International technical stays in multidisciplinary environments represent a key opportunity for the professional development of teachers, particularly in the field of engineering. This type of experience promotes the exchange of knowledge, the adoption of new technologies and the strengthening of key competencies to contribute to the social and economic development of Mexico. This article analyzes the importance of these stays, highlighting their role in teacher training, educational innovation and the impact on engineering as a driver of national development.

Palabras clave: Estancias técnicas; Intercambio de conocimientos; Innovación educativa.

Key Words: Technical stays; Exchange of knowledge; Educational innovation.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de programas de movilidad internacional para docentes tiene sus raíces en iniciativas de intercambio académico surgidas a mediados del siglo XX, cuando la necesidad de fomentar la cooperación internacional y compartir conocimientos se volvió esencial para el avance educativo y científico. Países como Estados Unidos, Alemania y Japón lideraron programas de intercambio enfocados en la formación técnica y científica, lo que permitió a miles de académicos participar en experiencias de aprendizaje fuera de sus fronteras. En México, las primeras estancias técnicas internacionales se enfocaron en áreas como la ingeniería civil y eléctrica, fundamentales para el desarrollo de infraestructura durante la segunda mitad del siglo XX. Sin embargo, en las últimas décadas, la expansión de sectores estratégicos como la industria automotriz, las energías renovables y las tecnologías de la información ha hecho evidente la necesidad de actualizar continuamente a los docentes de ingeniería mediante experiencias internacionales. Hoy en día, las estancias técnicas internacionales son reconocidas como una herramienta clave para la transferencia de

¹ Docente de la Academia de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zitácuaro, minerva.gv@zitacuaro.tecnm.mx

² Docente de la Academia de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zitácuaro, alan.ga@zitacuaro.tecnm.mx

³ Jefe del Departamento de Ingeniería Industrial, francisco.lh@zitacuaro.tecnm.mx

⁴ Jefe de Laboratorio del Instituto Universitario de Investigación en Biorrefinerías jrgarcia@ujaen.es

conocimiento y tecnología, con un impacto directo en la formación de profesionales capaces de enfrentar los retos del mundo globalizado y contribuir al desarrollo económico del país.

En el contexto actual, la globalización y la constante evolución tecnológica demandan que los docentes de ingeniería desarrollen competencias que trasciendan las fronteras nacionales, adoptando nuevas metodologías y tecnologías para mejorar su práctica educativa y contribuir al desarrollo social y económico del país. Las estancias técnicas internacionales en entornos multidisciplinarios representan una oportunidad clave para el fortalecimiento profesional del cuerpo docente, al permitirles adquirir experiencias internacionales, ampliar su perspectiva académica y establecer redes de colaboración con expertos de diversas disciplinas.

A pesar de su relevancia, en México existe una brecha significativa en la participación de docentes de ingeniería en este tipo de programas, debido a factores como la falta de recursos, el desconocimiento de las convocatorias internacionales y la ausencia de estrategias institucionales que fomenten estas experiencias. Asimismo, se ha observado una limitada evidencia empírica sobre el impacto real de dichas estancias en la mejora de la formación docente y en el desarrollo de competencias clave relacionadas con la innovación educativa y la transferencia tecnológica.

Por lo tanto, es necesario investigar cómo las estancias técnicas internacionales contribuyen a la formación docente en ingeniería, identificando su papel en la adopción de nuevas tecnologías, el fortalecimiento de competencias profesionales y su potencial para transformar la educación superior y aportar al desarrollo del país.

El objetivo general del presente artículo es analizar la importancia de las estancias técnicas internacionales en entornos multidisciplinarios para el desarrollo profesional de los docentes de ingeniería, destacando su impacto en la formación docente, la innovación educativa y el fortalecimiento de competencias clave para el desarrollo social y económico de México. Los objetivos específicos son: Identificar las competencias profesionales y académicas que se fortalecen durante las estancias técnicas internacionales en el ámbito de la ingeniería; evaluar el impacto de las estancias internacionales en la adopción de nuevas tecnologías y metodologías innovadoras por parte de los docentes de ingeniería; determinar las barreras y limitaciones que enfrentan los docentes de ingeniería para participar en estancias internacionales y proponer estrategias para promover la participación de docentes de ingeniería en programas de movilidad internacional.

El presente ensayo pretende responder a las siguientes preguntas de investigación: ¿Qué competencias profesionales y académicas se fortalecen en los docentes de ingeniería durante las estancias técnicas internacionales? ¿Cómo contribuyen las estancias internacionales a la adopción de nuevas tecnologías y metodologías innovadoras en la enseñanza de la ingeniería? ¿Qué factores limitan la participación de los docentes de ingeniería en estancias técnicas internacionales? ¿Cómo pueden las instituciones de educación superior fomentar la participación de sus docentes en estos programas?

Las estancias técnicas internacionales en entornos multidisciplinarios son una herramienta fundamental para el desarrollo profesional de los docentes de ingeniería, porque promueven la actualización constante de conocimientos, la adopción de nuevas tecnologías y el fortalecimiento de competencias clave. Estas competencias son esenciales para garantizar una formación académica de calidad en el ámbito de la ingeniería, un área estratégica para el desarrollo social y económico de México.

Este estudio es relevante porque permite visibilizar el impacto de las estancias internacionales en la formación docente y su potencial para transformar la educación superior, fomentando la innovación y el intercambio de conocimientos. Asimismo, el análisis de las barreras existentes y la propuesta de estrategias para promover estas experiencias pueden contribuir a la elaboración de políticas institucionales más efectivas, que apoyen la movilidad internacional y la profesionalización del cuerpo docente, (ver figura 1).

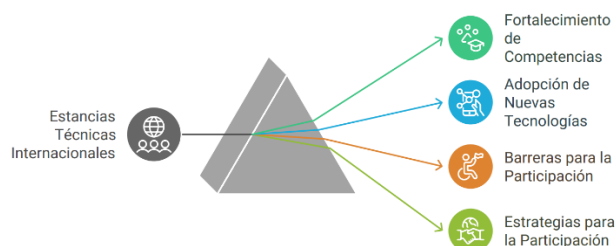


Figura 1 Análisis integral sobre la importancia de las estancias técnicas internacionales para los docentes de ingeniería

En el contexto de la ingeniería, este tipo de formación resulta particularmente importante, dado que el acceso a tecnologías de vanguardia y la interacción con expertos internacionales pueden facilitar la transferencia de conocimientos y acelerar el desarrollo de proyectos innovadores. A su vez, esto se traduce en una mejor formación para los estudiantes de ingeniería, quienes estarán mejor preparados para enfrentar los retos del mercado laboral globalizado.

Si bien este estudio busca ofrecer un análisis integral sobre la importancia de las estancias técnicas internacionales para los docentes de ingeniería, existen algunas limitaciones que deben tenerse en cuenta:

El acceso a información y datos específicos debido a la falta de registros sistemáticos sobre la participación de docentes de ingeniería en estancias internacionales puede dificultar el análisis estadístico del impacto real de estas experiencias.

La diversidad de experiencias porque las estancias internacionales varían en cuanto a duración, objetivos y disciplinas involucradas, lo que puede generar resultados heterogéneos y dificultar la generalización de los hallazgos.

Los recursos limitados para realizar estudios longitudinales, es decir, sería ideal llevar a cabo un seguimiento a largo plazo para evaluar el impacto de estas experiencias en la carrera profesional de los docentes y en el desempeño académico de sus estudiantes, pero este enfoque podría estar fuera del alcance del presente estudio.

METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo documental y cualitativo, sigue un diseño descriptivo-exploratorio, que busca identificar y analizar las competencias clave que se desarrollan en estas experiencias y el impacto que tienen en el desempeño docente y en la adopción de nuevas tecnologías. La investigación documental se combina con el análisis de casos, lo que permite profundizar en experiencias reales y aportar evidencia empírica sobre el fenómeno estudiado.

RESULTADOS

Estancias técnicas internacionales y el desarrollo profesional docente

Las estancias técnicas internacionales son una modalidad de formación continua que combina la práctica profesional con el aprendizaje en contextos internacionales. Estas experiencias permiten a los docentes actualizarse en las últimas tendencias de su campo, desarrollar competencias interculturales y fortalecer su capacidad para integrar enfoques multidisciplinarios en su práctica educativa (Knight, 2021).

En el caso de la ingeniería, las estancias en países con altos niveles de desarrollo tecnológico ofrecen a los docentes la posibilidad de conocer de primera mano innovaciones en las diferentes disciplinas. Constituyen una de las estrategias más efectivas para la actualización y formación continua de los docentes. Estas experiencias brindan la oportunidad de vincularse directamente con entornos académicos y profesionales de vanguardia, lo que permite a los docentes mejorar no solo sus competencias técnicas, también sus habilidades pedagógicas, metodológicas y su capacidad para integrar conocimientos globales en el aula.

Uno de los beneficios más significativos de las estancias internacionales es la posibilidad de acceder a las últimas tendencias tecnológicas y metodológicas en su área de especialización. Los docentes de ingeniería, por ejemplo, pueden familiarizarse con tecnologías emergentes como la manufactura esbelta aplicada a la producción de bienes y servicios. Esta actualización se traduce en la incorporación de contenidos más relevantes y actualizados en sus cursos, lo que prepara a los estudiantes para enfrentar los desafíos del entorno profesional contemporáneo.

Otra ventaja es la exposición a sistemas educativos internacionales que impulsa la adopción de nuevas metodologías de enseñanza que fomentan el aprendizaje activo, la colaboración y la resolución de problemas reales. Estas metodologías incluyen: Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), en la que se promueve que los estudiantes trabajen en proyectos reales relacionados con su disciplina, lo que les permite aplicar conocimientos teóricos de forma práctica. Otra metodología es el aula invertida, muy común en países avanzados, en la que se reorganiza el tiempo de clase para dedicarlo a la resolución de problemas y discusión en lugar de la tradicional exposición de contenidos. También la Gamificación y aprendizaje digital que son herramientas digitales y dinámicas lúdicas para aumentar el interés y la participación estudiantil. Los docentes que integran estas metodologías en sus clases mejoran el desempeño académico de sus estudiantes, y desarrollan en ellos habilidades clave como el pensamiento crítico, la creatividad y el trabajo en equipo

Fortalecimiento del proceso de enseñanza-aprendizaje

El impacto de las estancias técnicas en el proceso de enseñanza-aprendizaje es profundo y multifacético. Los docentes regresan con una visión renovada, enriquecida por la experiencia internacional, lo que los convierte en agentes de cambio dentro de sus instituciones. Entre las principales mejoras observadas tras una estancia internacional se encuentran la innovación curricular: los docentes actualizan el contenido de sus asignaturas y diseñan nuevas actividades de aprendizaje más alineadas con las necesidades del entorno global; además las experiencias internacionales permiten a los docentes introducir casos de estudio y prácticas que reflejan las demandas de la industria global, lo que hace que el aprendizaje sea más relevante y significativo. Por otro lado, los profesores desarrollan habilidades interculturales y una mayor apertura para atender las necesidades de estudiantes de diferentes entornos sociales y culturales.

Mejora de la motivación docente y estudiantil

El enriquecimiento profesional adquirido durante una estancia técnica internacional también se traduce en un aumento de la motivación docente. Los profesores regresan con una mayor confianza en sus capacidades, lo que genera un efecto positivo en sus estudiantes, transfiriéndoles una perspectiva internacional y alentándolos a considerar la posibilidad de estudiar o trabajar en el extranjero. El impacto en la motivación estudiantil se ve reflejado en un aumento del interés por la asignatura, es decir, los estudiantes perciben la conexión entre lo que aprenden en el aula y las aplicaciones reales en contextos internacionales, lo que incrementa su compromiso y motivación.

Estudios recientes muestran que los docentes que participan en estancias internacionales presentan una mayor disposición para adoptar enfoques innovadores y fomentar la participación activa de sus alumnos en el proceso de aprendizaje (Gómez, 2022).

Estas prácticas fomentan del pensamiento global obteniendo como resultado un mayor rendimiento académico al incorporar nuevas estrategias de aprendizaje que suelen estar asociadas a una mejora en el desempeño académico general.

Creación de redes de colaboración internacional

Las estancias internacionales fortalecen el desarrollo profesional del docente, además de abrir la puerta a la creación de redes de colaboración académica y profesional a nivel internacional. Estas redes permiten el intercambio de recursos educativos, la realización de proyectos conjuntos y el acceso a oportunidades de investigación aplicada, lo que contribuye al crecimiento académico de las instituciones mexicanas.

Ingeniería como motor del desarrollo social y económico

La ingeniería es uno de los pilares del desarrollo social y económico de cualquier nación. En México, sectores clave como la manufactura avanzada, la tecnología de la información y la energía renovable dependen directamente del talento humano formado en las aulas de las universidades. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2023), el sector industrial representa más del 30% del Producto Interno Bruto (PIB) del país, destacando el papel de la ingeniería en el desarrollo económico nacional.

La formación de ingenieros altamente capacitados, a través de docentes actualizados y con experiencias internacionales, es esencial para impulsar la competitividad de México en el contexto global, (ver figura 2)



Figura 2 Beneficios de las Estancias Técnicas Internacionales

Impacto de las estancias internacionales en la ingeniería mexicana

El análisis de experiencias de docentes mexicanos en estancias internacionales revela un impacto significativo en su desarrollo profesional y en la calidad de la formación de futuros ingenieros. Un estudio reciente de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES, 2023) muestra que los docentes de ingeniería que participaron en programas internacionales incorporaron metodologías más innovadoras y una visión global en sus clases, mejorando el desempeño de sus estudiantes.

Contribución al desarrollo social y económico de México

Las estancias técnicas internacionales en el área de la ingeniería mejoran la formación académica, y tienen un impacto directo en el desarrollo económico y social del país a través del impulso a la innovación, gracias a que los docentes formados internacionalmente introducen nuevas tecnologías y metodologías que pueden ser aplicadas en sectores estratégicos del país. Se fortalece el capital humano debido a la formación de ingenieros con una visión global que resulta clave para mejorar la competitividad de México a nivel internacional. Se incrementa la generación de proyectos de alto impacto como resultado de las experiencias internacionales que promueven la creación de proyectos colaborativos entre universidades e industrias, potenciando el desarrollo regional y nacional.

En el ámbito social, las estancias internacionales aportan una perspectiva más amplia y ética a la práctica de la ingeniería, favoreciendo proyectos que promueven el bienestar comunitario y la inclusión social, especialmente en áreas rurales o de alta vulnerabilidad. Los docentes formados internacionalmente desempeñan un papel clave en la formación de ingenieros conscientes de su responsabilidad social, preparados para liderar iniciativas que mejoren la calidad de vida de las comunidades a través de soluciones sostenibles e innovadoras.

El desarrollo regional se ve directamente beneficiado, porque muchas de estas experiencias permiten la transferencia de tecnología y metodologías hacia universidades en estados menos industrializados, impulsando el crecimiento económico local. La vinculación entre la academia, el sector productivo y las autoridades locales es clave para detonar proyectos de desarrollo económico sostenibles, alineados con las necesidades del entorno y las políticas nacionales de innovación.

A pesar de sus beneficios, las estancias técnicas internacionales en ingeniería presentan desafíos específicos como la desigualdad en el acceso, debido a que no todos los docentes tienen la oportunidad de participar en programas internacionales debido a limitaciones económicas y burocráticas. Otro fuerte desafío es que las instituciones educativas no siempre valoran formalmente las competencias adquiridas en el extranjero y un reto más son la barrera lingüística y la barrera cultural que pueden limitar la integración efectiva en el contexto internacional (ver figura 3)



Figura 3 Beneficios versus Desafíos en las Estancias Técnicas Internacionales

Algunas recomendaciones para el fortalecimiento de las estancias técnicas internacionales en ingeniería son: Ampliar los convenios internacionales en ingeniería para fortalecer la cooperación con universidades y centros de investigación líderes en tecnología e innovación. Establecer fondos específicos para movilidad internacional en áreas estratégicas, priorizando los sectores clave para el desarrollo económico de México, como energía renovable, industria 4.0 y tecnología de la información. Promover la certificación de competencias adquiridas implementando sistemas de certificación que reconozcan formalmente las habilidades adquiridas durante las estancias internacionales y fomentar la formación en idiomas para facilitar su aprendizaje como parte del proceso de internacionalización para superar las barreras lingüísticas.

CONCLUSIONES

Las estancias técnicas internacionales para docentes, especialmente en el ámbito de la ingeniería, son una herramienta estratégica para el desarrollo social y económico de México. Estas experiencias permiten a los docentes actualizarse en las últimas tendencias tecnológicas y fortalecer sus competencias, lo que se traduce en una mejora en la formación de futuros ingenieros capaces de enfrentar los desafíos del mundo contemporáneo.

Para aprovechar al máximo su potencial, es fundamental promover políticas públicas que faciliten la movilidad internacional y asegurar el financiamiento adecuado. México tiene la oportunidad de posicionarse como un referente en innovación y tecnología si logra consolidar estas experiencias internacionales como parte integral de su estrategia educativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES). (2023). *Movilidad académica y su impacto en la educación superior en México*. México: ANUIES.
- Gómez, P. (2022). *Movilidad internacional y formación docente en ingeniería*. Bogotá: Editorial Pedagógica.
- INEGI. (2023). *Estadísticas del sector industrial en México*. Ciudad de México: INEGI.
- Knight, J. (2021). *Internationalization in Higher Education: Concepts and Practices*. Londres: Routledge.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE MATERIAL DE REVESTIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE MUROS TAPIALES CON SUELO-CEMENTO

PHYSICAL CHARACTERISTICS OF LINING MATERIAL FOR THE ELABORATION OF RAMMED EARTH WALLS WITH SOIL-CEMENT



Arq. Urb. Omar Yair Pacheco Román¹
 Dr. Esteban Rogelio Guinto Herrera²
 Dr. Manuel Ignacio Ruz Vargas³

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se centra en la caracterización de un suelo de revestimiento de la ciudad de Chilpancingo de los Bravo para su potencial uso en la fabricación de muros tapiales con suelo-cemento. La metodología empleada incluye pruebas de granulometría, límites de consistencia (Atterberg), densidad de sólidos y Proctor estándar. Los resultados más importantes arrojaron una granulometría con 19.38% de gravas, 63.77% de arena y 16.85% de material fino, un límite líquido de 21.19% y un índice de plasticidad de 14.10%. El suelo se clasificó como arena arcillosa (CL) según el SUCS y A-2-6 según la norma ASTM D3282. Las principales conclusiones indican que el suelo cumple con los parámetros de la norma brasileña NBR 13553 y las recomendaciones para bloques de tierra estabilizada con cemento (CSEB), además de mostrar una baja contracción lineal y volumétrica, lo que lo hace adecuado para la elaboración de muros tapiales con suelo-cemento.

ABSTRACT

The present research work is focused on the characterization of a facing soil from Chilpancingo for its potential use in the fabrication of soil-cement walling. The methodology employed included tests of granulometry, consistency limits (Atterberg), solids density and standard Proctor. The most important results showed a granulometry with 19.38% gravels, 63.77% sand and 16.85% fine material, a liquid limit of 21.19% and a plasticity index of 14.10%. The soil was classified as clayey sand (CL) according to SUCS and A-2-6 according to ASTM D3282. The main conclusions indicate that the soil complies with the parameters of Brazilian standard NBR 13553 and the recommendations for cement-stabilized earth blocks (CSEB), in addition to showing low linear and volumetric shrinkage, which makes it suitable for the elaboration of soil-cement walling..

Palabras clave: Tapial, suelo-cemento, caracterización, CSEB, SUCS.

Key Words: Tapial, soil-cement, characterization, CSEB, SUCS.

INTRODUCCIÓN

La elaboración de muros es fundamental para delimitar espacios, los métodos utilizados en su fabricación son variados, cada uno cuenta con sus respectivas ventajas y desventajas. La utilización de materiales alternativos puede ser una solución cuando se busca mejorar o simplificar alguna condición en el proceso de fabricación de muros. Los materiales fabricados con tierra se han utilizado durante siglos en diversas partes del mundo por culturas o condiciones del entorno (Sánchez Tizapa, y otros, 2021).

Uno de los métodos en la construcción con tierra es la de los muros tapiales, estos elementos son muros contruidos mediante el vaciado del material en un encofrado (o cimbra) y

¹ Arq. Urb. Omar Yair Pacheco Román, 14567555@uagro.mx

² Dr Esteban Rogelio Guinto Herrera, 01911@uagro.mx

³ Dr. Manuel Ignacio Ruz Vargas, 13744@uagro.mx

posteriormente compactado mediante procesos manuales, dando como resultado un elemento estructural que funciona como envolvente (Maniatidis & Walker, 2003).

Sin embargo, seleccionar el material base (tierra) es crucial, no todos los tipos son aptos para la fabricación de elementos, sus características deben cumplir ciertos valores. Aunque en México no existe normativa que regule el uso de tierra como un material de construcción para muros monolíticos tipo tapiales, si hay presencia de normatividad referente en el mundo, concretamente la norma brasileña NBR 13553 (1996) especifica características que deberán estar presentes en los materiales para elaboración de muros monolíticos con suelo-cemento.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo la caracterización de suelo, datos que serán necesarios para la fabricación de muros de suelo-cemento para un análisis futuro más detallado sobre sus propiedades mecánicas y características como elementos empleados en construcción de viviendas. Esta propuesta de análisis va orientada para la ciudad de Chilpancingo de los bravo, capital del estado de Guerrero, México.

METODOLOGÍA

La Para fines de esta investigación se ha determinado como banco de material la proveedora “Roca Eterna”, ubicada al norte de la ciudad de Chilpancingo de los Bravo. El material seleccionado como espécimen de prueba es clasificado por el banco como “material de revestimiento”. Este suelo fue seleccionado debido a sus características físicas apreciadas en sitio, dado que mostro tener una alta presencia de arenas y material fino, elementos que son requeridos para una correcta selección de suelo; el personal del banco informó que este material en particular no cuenta con un proceso de cribado para partículas gruesas, por lo que la presencia de gravas es perceptible, pero para fines de la investigación y en cumplimiento con la norma referente estas gravas serán descartadas en los procedimientos de ensaye.

El material seleccionado se sometió a las pruebas necesarias para su caracterización, pasando antes por un proceso de cribado para descartar las partículas más gruesas. Las pruebas realizadas fueron granulometría, límites de consistencia (Atterberg), densidad de sólidos, y prueba Proctor estándar (compactación). Con estas pruebas se obtuvieron los datos necesarios para asignarle una clasificación al material con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS, ASTM D2487) y también una clasificación según la norma ASTM D3282 (esto según lo indicado por la norma NBR 13553).

Desarrollo experimental

Granulometría

La granulometría de un suelo es fundamental para su clasificación, el objetivo de esta prueba es definir los porcentajes que componen la muestra en diferentes tamaños de partículas. Tener una granulometría con presencia de elementos finos considerables ayudará a brindar una mayor cohesión de material, pues rellenarán los espacios vacíos dejados por las partículas de mayor tamaño (Guillén Guillén, Muciño Vélez, Guerrero Baca, & Cruz Farrera, 2021).

La realización de esta prueba se llevó a cabo con los estándares establecidos en el manual M·MMP·1·06 (2003). Se analizó una porción representativa de 1223.69 gr del material y comenzando con el tamiz no 4 (4.75 mm). Una vez que se tuvo la muestra que pasa el tamiz No. 4, se continuó con el método de lavado y cribado mediante las mallas: 10, 20, 40, 60, 100 y 200 resultando en la separación de partículas por tamaño como se muestra en la figura 1.

Una vez seco y pesado el material se procedió a realizar la tabla 1 con los resultados obtenidos.



Figura 1. Resultados de granulometría y tamices empleados

Límites de consistencia

El objetivo de calcular los Límites de Atterberg es determinar las propiedades de plasticidad y consistencia de un suelo fino (arcillas y limos). Estos límites ayudan a clasificar el suelo y predecir su comportamiento en diferentes condiciones de humedad. Además, esto ayuda a clasificar el suelo estudiado en algún sector de la carta de plasticidad, dato esencial para conseguir una correcta clasificación. Se determinaron los valores necesarios mediante las pruebas descritas en el manual M·MMP·1·07 (2007).

Límite líquido

Esta prueba fue realizada mediante el procedimiento copa de Casagrande, para ello se tomó una muestra que pasara por el tamiz No. 40, agregando cantidades de agua hasta su saturación y dejándola en reposo aproximadamente 24 horas.

Con la muestra lista, en la copa, previamente calibrada para generar un golpe desde aproximadamente 1 cm de altura, se colocaron las porciones necesarias para realizar esta prueba, cubriéndola con espesores de 8 a 10 mm. Posteriormente, utilizando un ranurador metálico curvo (tipo media luna como el mostrado en la figura 2), fue generada una abertura y se procedió con los golpes requeridos hasta lograr unir el material de acuerdo con la especificación.

Con cada iteración se extrajo una muestra que ayudó determinar el contenido de humedad. Una vez obtenidos los datos, observables en la tabla 2, se graficaron para obtener su curva de fluidez (véase figura 7).



a) Copa de Casagrande

Figura 2. Proceso de determinación de límite líquido.

b) Determinación de contenido de humedad

c) Ranurador empleado

Límite plástico

Esta prueba se realizó con una muestra cercana a los 25 golpes, extraída de la anteriormente utilizada, procediendo a realizar cilindros, su diámetro aproximado a los 3 mm acorde al manual. Haciéndolos girar hasta conseguir su agrietamiento, revisar figura 3, punto en el que fueron pesados y secados para determinar su contenido de humedad. La tabla 3 contiene los datos obtenidos.



Figura 3. Proceso de elaboración de cilindros para determinación de límite plástico

Índice de plasticidad

Para determinar el índice de plasticidad se tomaron los resultados obtenidos por las pruebas de límite líquido y límite plástico, utilizando la fórmula 1.

$$IP = L_L - L_P \quad (1)$$

Donde:

IP = índice plástico del material (%)

L_L = Límite líquido obtenido del material (%)

L_P = Límite plástico del material (%)

Contracción lineal y límite de contracción volumétrica

Se realizaron pruebas para calcular la contracción lineal, límite de contracción volumétrica e índice de contracción. Conocer estos parámetros es necesario, pues como se comporte este

material ante la pérdida de humedad es fundamental para determinar el agrietamiento que generaría la disminución de volumen. La presencia de expansión y contracción en suelos al estar expuestos a cambios por humedad ocasiona que estos presenten agrietamientos considerables (Torres Lora, 2019).

El límite de contracción no es independiente, referido a los límites líquido y plástico, por lo tanto, con una muestra representativa obtenida en el procedimiento de Casagrande cercana a los 25 golpes se procede al llenar moldes tipo vigas, para determinar la contracción lineal; y anillos que brinden datos de contracción volumétrica, ver figura 4.

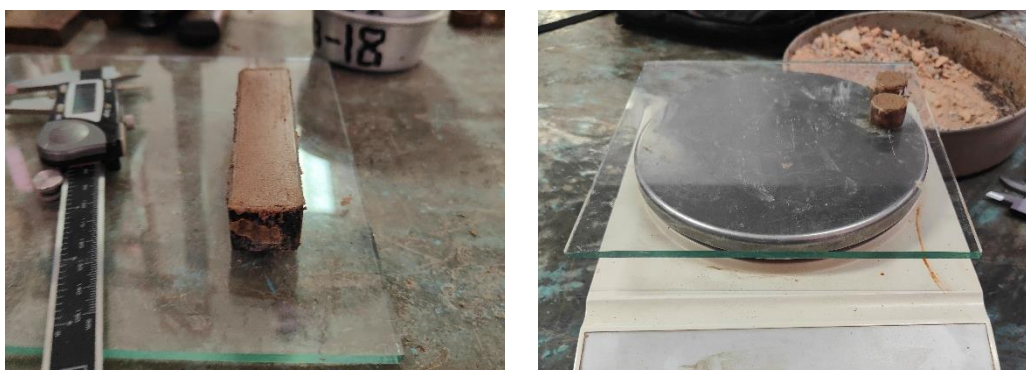


Figura 4. Elaboración de vigas y anillos

La contracción lineal ayuda a observar el comportamiento de un suelo ante la pérdida de humedad mediante su cambio en sentido longitudinal (véase tabla 4). Este valor es determinado con los datos obtenidos con la fórmula 2.

$$CL = \frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

CL = Contracción lineal

L_i = Longitud inicial

L_f = Longitud final

El límite de contracción fue determinado mediante la fórmula 3.

$$L.C = \frac{50L_L}{50 + IP} \quad (3)$$

Donde:

$L.C$ = Límite de contracción

L_P = Límite plástico

IP = Índice de plasticidad

Mientras que para calcular el índice de contracción se establece la diferencia existente entre límite plástico y límite de contracción. Adicional a esto se presenta la tabla 5 con los datos de cambio volumétrico de las pastillas elaboradas mediante anillos.

Densidad de solidos

Para calcular la densidad de sólidos del suelo se utilizó una muestra representativa que pasa el tamiz No. 4, así mismo con un matraz previamente calibrado se procedió a la realización de la prueba. Con la muestra vertida en su interior para conseguir eliminar el aire no disuelto se llevó a baño maría (como se observa en la figura 5). Una vez dejado enfriar se llevó a la bomba de vacío para posteriormente ser pesado. Con todos los datos obtenidos se elaboró la tabla 6.



Figura 5. Proceso para determinar la densidad de sólidos (arena y finos)

La determinación de la densidad de sólidos se lleva a cabo mediante la fórmula 4.

$$S_s = \frac{W_s K}{W_s + W_{mw} - W_{mws}} \quad (4)$$

Donde:

S_s = Densidad de sólidos

W_s = Peso del suelo seco

W_{mw} = Peso del matraz + agua a t° (valor de la curva de calibración de matraz)

W_{mws} = Peso del matraz + agua + muestra a t°

K = Densidad del agua a t°

Prueba Proctor estándar

Todos los materiales requieren un control de calidad, para los que tendrán un proceso de compactación se requieren parámetros como el peso volumétrico seco máximo del material que se obtiene mediante la prueba Proctor estándar o Proctor modificada (Pérez García, Garnica Anguas, Bautista Bernal, & Ortiz Cruz, 2020).

Para la realización de esta prueba se prepararon muestras con diferentes contenidos de humedad. Fueron determinados los datos del equipo: peso y volumen interior de molde. La prueba fue realizada mediante los estándares de la norma ASTM D698 (2020). Rellenando el molde en porciones de 1/3 respecto al volumen y realizando una compactación a 25 golpes mediante un martillo (pisón) con peso de 2.5 kg desde una altura de 30.5 cm. Una vez terminado este procedimiento se enrazó el molde, fue pesado y extraída una muestra del interior (véase figura 6) para determinar el contenido de humedad durante la prueba. Los resultados obtenidos están registrados en la tabla 7. Con estos datos se graficó la curva de

compactación para determinar el contenido óptimo de humedad en que se alcanza el mayor peso volumétrico seco.

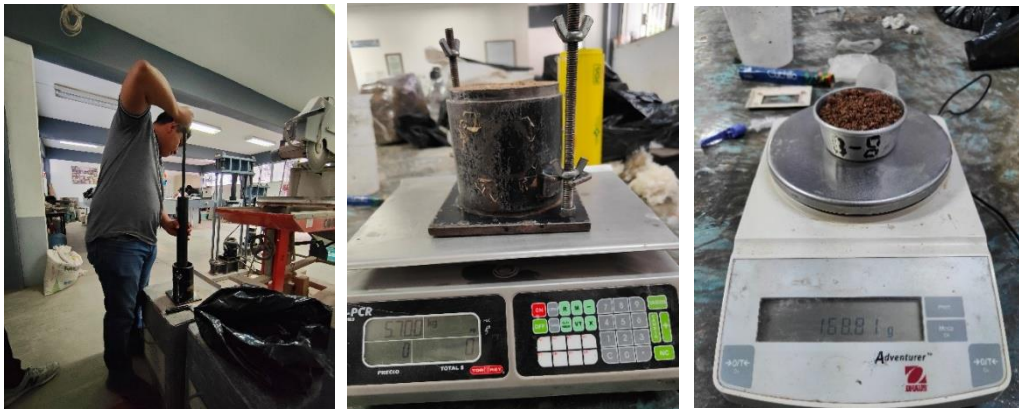


Figura 6. Proceso de prueba Proctor estándar

RESULTADOS

Para lograr la correcta clasificación del suelo se analizaron todos los resultados obtenidos (tabla 1). La clasificación mediante el SUCS, nos pide los datos de límites de consistencia para lo cual es necesario realizar la carta de plasticidad de nuestro material, esto debido a la alta presencia de material fino resultado de la granulometría.

Tabla 1. Resultados de granulometría

Malla N°	Abertura	Peso del suelo retenido	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje que pasa	Malla N°	Abertura	Peso del suelo retenido	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje que pasa
-----	mm	gr	%	%	-----	mm	gr	%	%
3"	76				10	2	332.82	27.2	53.42
2"	58.8				20	0.84	154.95	12.66	40.76
1 1/2"	36.1				40	0.42	134.76	11.01	29.75
1"	25.4				60	0.25	32.84	2.68	27.07
3/4"	19.05				100	0.149	50.09	4.09	22.98
1/2"	12.7				200	0.074	74.91	6.12	16.86
3/8"	9.52	0	0	100	Pasa 200		206.15	16.85	0
N° 4	4.75	237.17	19.38	80.62	SUMA		986.52	100.00	
Pasa N° 4		986.52	80.62						
SUMA		1223.69							

Acorde con los resultados de la granulometría tenemos un 19.38% de gravas (material retenido por el tamiz No. 4), 63.77% de arena y 16.85% de material fino

Para los límites de consistencia los resultados se muestran en la figura 7 y en las tablas 2 y 3.

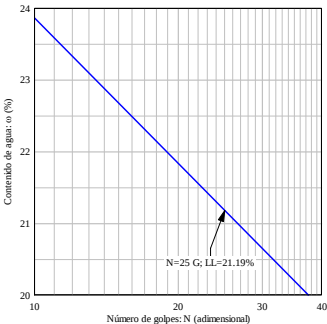


Figura 7. Curva de fluidez. Determinación de limite liquido

Tabla 2. Valores obtenidos mediante prueba de copa de Casagrande

Numero de golpes	Capsula n°	Peso de la capsula + suelo húmedo	Peso de la capsula + suelo seco	Peso del agua	Peso de la capsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua (w)
-----	-----	gr	gr	gr	gr	gr	%
13	B-10	40.22	35.59	4.63	15.59	20	23.15
16	C-19	50.04	45.29	4.75	23.96	21.33	22.27
19	C-20	46.67	41.99	4.68	20.62	21.37	21.90
22	C-14	44.42	40.84	3.58	24.24	16.6	21.57
24	C-11	44.02	40.44	3.58	23.75	16.69	21.45
28	C-5	39.23	36.04	3.19	20.68	15.36	20.77
32	B-18	37.45	33.68	3.77	15.29	18.39	20.50
Limite liquido:							21.19

Tabla 3. Resultados de limite plástico

Capsula n°	Peso de la capsula + suelo húmedo	Peso de la capsula + suelo seco	Peso del agua	Peso de la capsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua (ω)
-----	gr	gr	gr	gr	gr	%
C-18	25.35	25.27	0.08	23.99	1.28	6.25
C-17	25.56	25.46	0.1	24.2	1.26	7.94
					Limite plastico:	7.09

El cálculo para el índice de plasticidad (IP) otorgo el siguiente resultado:

$$IP = 21.19\% - 7.09\%$$

$$IP = 14.10\%$$

Los datos de contracción lineal (tabla 4) están descritos a continuación:

Tabla 4. Valores de contracción lineal

CONTRACION LINEAL			
VIGA	ESTADO	LONGITUD	% CL
1	H	97.98	0.9
	S	97.1	
2	H	98.3	1.4
	S	96.92	
3	H	99.89	2.06
	S	97.83	
			1.45

Los resultados del límite de contracción son los siguientes

$$L.C = \frac{50(7.09)}{50 + 14.10}$$

$$L.C = 5.53\%$$

Con los datos anteriormente descritos se obtuvo el índice de contracción

$$I.C. = 7.09\% - 5.53\%$$

$$I.C. = 1.56\%$$

El cambio volumétrico del material (tabla 5) fue monitoreado por la diferencia de dimensiones que ocurrían en las pastillas elaboradas. A continuación, se muestran los resultados entendiéndose como ΔV el porcentaje de cambio volumétrico respecto al día de elaboración de las pastillas.

Tabla 5. Valores de cambio volumétrico

Día: Desarrollo	0	1	2	3	4
Peso S.H. (gr)	0.04	10.83	10.82	10.81	10.78
Peso S.S. (gr)	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38
Peso Agua (gr)	-6.34	4.45	4.44	4.43	4.4
D(cm)gr	2.025	2.004	1.995	1.994	1.994
h (cm)	1.09	1.089	1.087	1.085	1.085
V _i Vol/día. (cm ³)	3.51	3.43	3.40	3.39	3.39
W (%)	-15850.00	41.09	41.04	40.98	40.82
ΔV	0.00	2.15	3.21	3.48	3.48

La densidad de solidos (tabla 6) para material menor que el tamiz No 4 (arena y finos) dio como resultado un valor de 2.7158 luego de aplicar el factor correctivo por temperatura.

Tabla 6. Resultados de densidad de solidos

MATERIAL < que la malla N° 4	
Wmws: (gr)	747.43
Temperatura de agua en prueba: °C	25°
Wmw: (gr) (curva calibración)	642.84
Wms: (gr)	311.3
Peso de matraz Wm: (gr)	146.03
Ws : (gr)	165.27
Ws + Wmw – Wmws: (gr)	60.68
Densidad de Sólidos experimental: Ss	2.7236
Corrección por temperatura: K	0.99713
Densidad de sólidos normalizada: Ss	2.7158

Con los resultados de la prueba de compactación elaboró una curva de relación entre el contenido de agua y peso específico seco, figura 8, con la finalidad de obtener valores de peso específico máximo y contenido de humedad para conseguirlo (tabla 7).

Tabla 7. Valores de prueba Proctor estándar

	molde + muestra humeda	muestra humeda	peso especifico humedo			muestra humeda + capsula	muestra humedad	muestra seca + capsula	muestra seca	peso del agua	contenido de agua	peso especifico seco
muestra	Wm+molde	Wm	ym	capsula	W cap	W h+cap	Wh	W d+cap	W d	w (g)	w (%)	yd
B9	5700	1915	2.04291495	B-4	15.76	127.38	111.62	122.87	107.11	4.51	4.21%	1.96037109
B8	5745	1960	2.09092079	B-3	16	136.06	120.06	130.23	114.23	5.83	5.10%	1.98938765
B2	5805	2020	2.15492857	B-5	15.78	139.86	124.08	132.37	116.59	7.49	6.42%	2.02484785
B6	5935	2150	2.29361209	B-8	14.81	168.81	154	157.26	142.45	11.55	8.11%	2.12159118
B3	5945	2160	2.30428005	B-9	15.55	128.19	112.64	119.14	103.59	9.05	8.74%	2.11914392
B1	5955	2170	2.31494802	B-7	15.78	163.72	147.94	148.59	132.81	15.13	11.39%	2.07819553

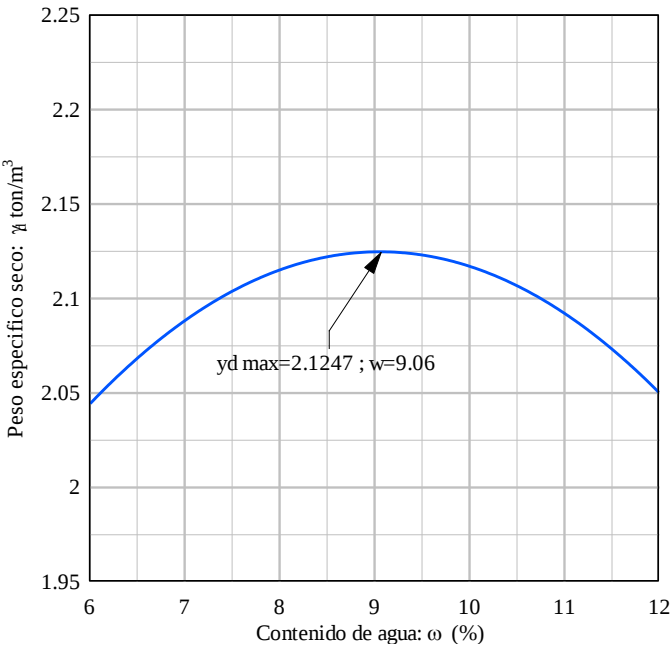


Figura 8. Curva de compactación

Con todos los datos obtenidos se determinó la clasificación del suelo estudiado. Comenzando por la elaboración de la carta de plasticidad (véase figura 9) que utiliza límite líquido e índice de plasticidad para determinar el tipo de finos que se encuentran. Teniendo como resultado un material CL (arcilla de baja compresibilidad).

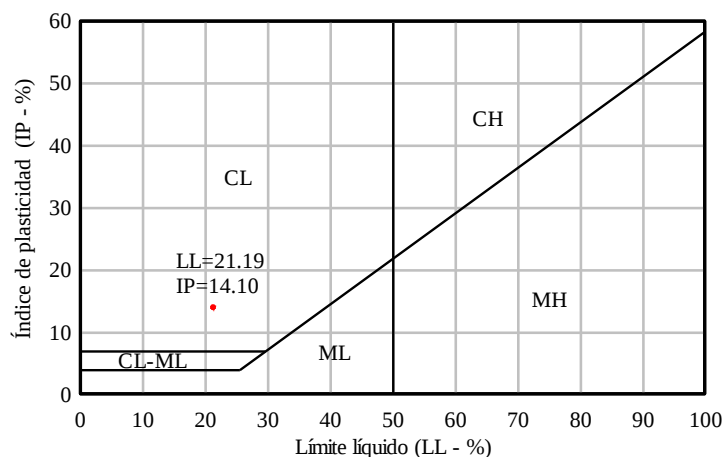


Figura 9. Carta de plasticidad

De acuerdo con el SUCS, el suelo estudiado es clasificado como una *arena arcillosa (con arcilla de baja compresibilidad)*; esto debido a que cumple con las siguientes características:

- Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla No. 4.
- Más de 12% pasa la malla No. 200
- Se clasifica a la fracción fina como CL o CH.

Mientras que en relación a la norma ASTM D3282 el suelo está clasificado como *suelo granular tipo A-2-6*, debido al cumplimiento de los siguientes parámetros:

- Hasta el 35% del material pasa la malla 200
- El límite líquido es no mayor que 40%
- El índice de plasticidad es mayor que 11%

Lo constituyen principalmente gravas y/o arenas arcillosas o limosas

CONCLUSIONES

Con las características observadas mediante los resultados de las pruebas y las clasificaciones obtenidas, se puede definir la factibilidad del material para utilizarlo en la fabricación de suelo-cemento, así como su empleo en la fabricación de muros tapiales. La norma NBR 13553 indica los siguientes parámetros:

- Granulometría: 100% pasa por el tamiz de 4.8 mm (No 4) y entre el 15-50% atraviesa el tamiz de 0.075 mm (No 200).
- Límite líquido: inferior o igual a 45%
- Índice de plasticidad: inferior o igual a 18%
- Clasificar el suelo según la norma ASTM D3282

Aspectos que, para el suelo analizado, se cumplen en su totalidad. Con esto se puede establecer lo siguiente: el suelo cumple de acuerdo a la norma. Costantini Romero, Francisca, & Giomi (2021) comentan lo siguiente:

“El índice de plasticidad recomendado de los suelos utilizados para los Bloques de Tierra Estabilizada con Cemento (CSEB por sus siglas en inglés) debe estar entre 5 y 15. La distribución granulométrica de los suelos utilizados para CSEB debe tener 0-40 % de grava, 25-80 % de arena, 10-25 % de limo y/o 8-30 % de arcilla.”

Si bien los elementos como bloques no constituyen muros monolíticos, sí se pueden considerar sus valores como parámetros de piezas elaboradas con el mismo material y estabilizante. En este sentido de igual manera se cumple con sus sugerencias al tener un IP de 14.10% y distribución granulométrica: gravas 19.38%, arenas 63.77% y arcilla 16.85%.

Otra característica de suma importancia que se pudo observar en el suelo analizado es su comportamiento de contracción lineal y volumétrico. Para ambos casos apenas fue notorio un cambio, los porcentajes mínimos indican que el suelo no altera su volumen una vez que se genera la pérdida de agua, marcando un comportamiento adecuado para el fin que se busca y evitando agrietamiento por cambios de humedad.

En conclusión, el suelo analizado muestra buenos resultados para ser trabajado en conjunto con estabilizante cementante y desarrollar la mezcla conocida como suelo-cemento, además, debido a su buen comportamiento ante la pérdida de humedad y sus características físicas se encontrará un óptimo funcionamiento para la elaboración de muros tapiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Guillén Guillén, C. A., Muciño Vélez, A., Guerrero Baca, L. F., & Cruz Farrera, F. J. (2021). Optimización del proceso de elaboración de Bloques de Tierra Comprimida (BTC) mediante el control granulométrico de las partículas del Suelo. *Nova scientia*, 1-28.
- Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT). (1996). NBR 13553 Materiales para muros monolíticos de suelo-cemento sin función estructural. Brasil.
- ASTM International. (2020). ASTM D698-20: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort (12,400 ft-lbf/ft³ or 600 kN-m/m³). ASTM International.
- Costantini Romero, A. B., Francisca, F. M., & Giomi, I. (2021). Hygrothermal properties of soil-cement construction materials. *Construction and Building Materials*, 125518.
- Maniatidis, V., & Walker, P. (2003). A review of rammed earth construction. Innovation Project “Developing Rammed Earth for UK Housing”, Natural Building Technology Group, Department of Architecture & Civil Engineering, University of Bath.
- Pérez García, N., Garnica Anguas, P., Bautista Bernal, L., & Ortiz Cruz, J. (2020). DETERMINACION DE LA CURVA DE COMPACTACION PROCTOR ESTANDAR DE SUELOS DE TERRAPLEN O SUBRASANTE USANDO EL EQUIPO GIRATORIO. Publicación Técnica No. 604, ISSN 0188-7297.
- Sánchez Tizapa, S., Altamirano de la Cruz, G., Cuevas Sandoval, A., Morales Lozano, A., Moreno Dimas, Á., & Alberto Paatiño, L. (2021). MATERIALS CHARACTERIZATION AND COMPRESSIVE STRENGTH OF COMPRESSED EARTH BLOCKS REINFORCED WITH OAT STRAW. RILEM Annual Week, 689-698.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2003). MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales. En 1. Suelos y materiales para terracerías; 06. Granulometría de materiales compactables para terracerías. Ciudad de México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2007). MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales. En 1. Suelos y materiales para terracerías; 07. Límites de Consistencia. Ciudad de México.
- Torres Lora, L. A. (2019). Correlación del límite de contracción y la actividad coloidal en suelos arcillosos, La Victoria-Lambayeque 2019. Universidad Señor de Sipán, 22.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MANUFACTURA MODULAR ADAPTABLE A DISTINTAS FORMAS PRODUCTIVAS PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN EL ÁREA DE TALLERES Y LABORATORIOS DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ZITÁCUARO

DESIGN OF A MODULAR MANUFACTURING SYSTEM ADAPTABLE TO DIFFERENT PRODUCTION METHODS FOR LABORATORY PRACTICES IN THE WORKSHOP AND LABORATORY AREA OF THE ZITÁCUARO INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Dr. Javier García Hurtado¹

Mctc. Everardo Marín Maya²

Mtro. Raúl Zúñiga Colin³

Dr. Eduardo López Sandoval⁴

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de manufactura modular y adaptable que responda a las necesidades formativas del Área de Talleres y Laboratorios (ATV) del Instituto Tecnológico de Zitácuaro. La problemática identificada radica en la limitada disponibilidad de equipos didácticos versátiles que permitan simular diferentes procesos productivos con fines pedagógicos. Bajo un enfoque metodológico mixto, se desarrolla un prototipo de sistema flexible compuesto por módulos mecánicos, eléctricos y de control que pueden configurarse de manera variable para representar distintas formas de producción. El proyecto busca modernizar los entornos de aprendizaje, mejorar la calidad de las prácticas académicas y contribuir al fortalecimiento de las competencias profesionales de los estudiantes de ingeniería.

ABSTRACT

This research aims to design and implement a modular and adaptable manufacturing system that meets the training needs of the Workshops and Laboratories Area (ATV) of the Zitácuaro Institute of Technology. The identified problem lies in the limited availability of versatile teaching equipment that allows simulating different production processes for educational purposes. Using a mixed-methodological approach, a flexible system prototype is developed, composed of mechanical, electrical, and control modules that can be variably configured to represent different production methods. The project seeks to modernize learning environments, improve the quality of academic practices, and contribute to strengthening the professional competencies of engineering students.

Palabras clave: manufactura modular, educación tecnológica, sistemas flexibles de producción, prácticas de laboratorio, automatización educativa.

Keywords: modular manufacturing, technological education, flexible production systems, laboratory practices, educational automation.

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de transformación digital y automatización de procesos industriales, las instituciones de educación superior enfrentan el reto de adaptar sus entornos de enseñanza-aprendizaje a las exigencias de la cuarta revolución industrial (Industria 4.0). Esta

¹ Dr. Javier García Hurtado, docente investigador en el área de ingeniería Civil del Tecnológico Nacional de México/Campus Zitácuaro, México, javier.gh@zitacuaro.tecnm.mx

² Mctc. Everardo Marín Maya, docente investigador y coordinador de tutorías del programa de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México/Campus Zitácuaro, México, everardo.mm@zitacuaro.tecnm.mx

³ Mtro. Raúl Zúñiga Colin, docente del Tecnológico Nacional de México/Campus Zitácuaro, México, en el programa de Ingeniería Industrial raul.zc@zitacuaro.tecnm.mx

⁴ Dr. Eduardo López Sandoval, Miembro del Cuerpo Académico de Sistemas y Computación, docente del programa de Ingeniería en Sistemas Computacionales y docente de la Maestría en Sistemas Computacionales del Tecnológico Nacional de México / Campus Zitácuaro, México, eduardo.ls@zitacuaro.tecnm.mx

transformación implica la incorporación de tecnologías avanzadas en los procesos formativos, que permitan a los estudiantes desarrollar competencias técnicas, digitales y cognitivas acordes con las demandas del sector productivo.

En particular, el área de ingeniería requiere laboratorios didácticos que integren tecnologías de manufactura, automatización y control, permitiendo a los estudiantes interactuar con sistemas que simulen condiciones reales de producción. Sin embargo, en muchas instituciones públicas de nivel superior, persiste una brecha significativa entre las tecnologías empleadas en la industria y los recursos disponibles para la enseñanza práctica. Esta situación limita la eficacia de la formación técnica y restringe el potencial de innovación en los programas educativos.

El Instituto Tecnológico de Zitácuaro, como parte del Tecnológico Nacional de México, ha manifestado la necesidad de fortalecer el Área de Talleres y Laboratorios (ATV), dotándola de recursos pedagógicos modernos, versátiles y contextualizados. Actualmente, los equipos disponibles presentan limitaciones en cuanto a su capacidad de adaptación a distintas formas productivas, su vinculación con tecnologías automatizadas y su integración con metodologías activas de aprendizaje.

En respuesta a esta problemática, la presente investigación propone el diseño e implementación de un sistema de manufactura modular adaptable, que permita simular distintos procesos industriales mediante la configuración flexible de módulos mecánicos, eléctricos y de control. Esta solución tecnológica se plantea como una estrategia de innovación educativa orientada a mejorar la calidad de las prácticas de laboratorio, optimizar el uso de los recursos institucionales y contribuir al desarrollo de competencias profesionales relevantes.

La investigación se fundamenta en un enfoque mixto y contempla cuatro fases metodológicas: diagnóstico institucional, diseño del sistema, implementación del prototipo y evaluación de su impacto pedagógico. Con estos resultados se contribuye significativamente a la modernización de la infraestructura educativa del Instituto y al fortalecimiento del perfil de egreso de los futuros ingenieros.

Problemática

En el contexto educativo del Instituto Tecnológico de Zitácuaro, el Área de Talleres y Laboratorios (ATV) constituye un eje fundamental en la formación práctica de los estudiantes de ingeniería. Sin embargo, se ha identificado una limitación en la disponibilidad de sistemas de manufactura que permitan representar distintos tipos de procesos productivos, de forma flexible y contextualizada. Actualmente, los recursos existentes son de aplicación limitada y no responden a la necesidad de simular escenarios diversos, dinámicos y ajustables que reflejen los desafíos reales del sector productivo.

Objetivo general:

Diseñar e implementar un sistema de manufactura modular y adaptable que permita representar diversas formas productivas para fortalecer las prácticas de laboratorio en el Área de Talleres y Laboratorios del Instituto Tecnológico de Zitácuaro.

Objetivos específicos:

- Analizar los requerimientos didácticos y técnicos del ATV del Instituto Tecnológico de Zitácuaro.
- Diseñar un sistema modular de manufactura adaptable a diferentes procesos productivos.
- Implementar un prototipo funcional que integre módulos mecánicos, eléctricos y de control.
- Evaluar el impacto del sistema en el desarrollo de competencias técnicas en los estudiantes.

Justificación

El presente proyecto representa una respuesta estratégica a las necesidades formativas del Instituto Tecnológico de Zitácuaro, particularmente en el contexto de la modernización de los laboratorios de ingeniería. La implementación de un sistema de manufactura modular y adaptable permitirá mejorar la calidad del proceso enseñanza-aprendizaje, optimizar el uso de recursos físicos y tecnológicos, y fomentar el desarrollo de competencias prácticas en los estudiantes.

Asimismo, esta propuesta se alinea con los lineamientos del Tecnológico Nacional de México y con los principios de la Industria 4.0, al promover el uso de tecnologías emergentes, el aprendizaje basado en la práctica y la integración de soluciones innovadoras en el entorno educativo. La versatilidad del sistema permitirá su actualización y ampliación conforme a las necesidades cambiantes del entorno académico y productivo.

Manufactura modular

El concepto de manufactura modular se basa en la estructuración de sistemas productivos mediante componentes o módulos que pueden combinarse de distintas formas para adaptarse a múltiples escenarios de producción (Gershwin, 1994). Esta modularidad permite a los estudiantes interactuar con diversas configuraciones, comprendiendo la lógica de los procesos de fabricación desde una perspectiva sistémica.

Manufactura modular y adaptable

La manufactura modular se refiere a la estructuración de sistemas productivos en unidades independientes que pueden ser combinadas o reconfiguradas para adaptarse a diferentes procesos o productos. Esta característica permite una mayor flexibilidad y eficiencia en la producción, facilitando la adaptación a cambios en la demanda o en los procesos productivos (Zúñiga Colín et al., 2022).

La educación en ingeniería ha transitado hacia modelos centrados en el aprendizaje activo, en los cuales los laboratorios desempeñan un rol fundamental. Según Maldonado, Ramírez y Cordero (2019), la incorporación de sistemas de manufactura didácticos en ambientes educativos mejora significativamente la comprensión de procesos industriales, la motivación estudiantil y el desarrollo de habilidades técnicas específicas.

En el marco de la Industria 4.0, la formación en tecnologías como la automatización, la robótica, los sistemas ciberfísicos y el Internet de las Cosas (IoT) resulta crucial (Schwab, 2017). Por ello, el diseño de un sistema de manufactura flexible para el ámbito académico debe integrar estos elementos de manera didáctica, permitiendo al estudiante visualizar la interacción entre los distintos componentes que intervienen en una línea de producción moderna.

Manufactura Modular y Flexible

La manufactura modular se refiere a sistemas de producción compuestos por módulos independientes que pueden configurarse y reconfigurarse según las necesidades del proceso productivo. Esta característica permite una adaptación rápida a cambios en la demanda o en el diseño del producto, lo cual es esencial en entornos educativos donde se busca simular diversas condiciones industriales (Festo, s.f.).

Por otro lado, la manufactura flexible implica la capacidad de un sistema para adaptarse a variaciones en el tipo y volumen de producción sin requerir una reconfiguración extensa. Los sistemas de manufactura flexibles (FMS) integran tecnologías como controladores lógicos programables (PLC), sensores y actuadores para lograr esta adaptabilidad (Edibon, s.f.).

Aplicación en Entornos Educativos

En el ámbito educativo, la implementación de sistemas de manufactura modular y flexible permite a los estudiantes interactuar con tecnologías actuales, facilitando la comprensión de procesos industriales complejos. Estos sistemas ofrecen una plataforma práctica para el aprendizaje de conceptos como automatización, control de procesos y programación de PLCs (Pranatec, s.f.).

Además, la modularidad de estos sistemas permite su adaptación a diferentes niveles de enseñanza y áreas de especialización, promoviendo un aprendizaje personalizado y centrado en el estudiante. La posibilidad de reconfigurar los módulos según los objetivos de aprendizaje específicos mejora la eficacia de la enseñanza práctica (Festo, s.f.).

Beneficios en la Formación de Ingenieros

La integración de sistemas de manufactura modular en los laboratorios de instituciones de educación superior contribuye significativamente al desarrollo de competencias técnicas y profesionales en los estudiantes. Entre los beneficios destacan:

- Desarrollo de habilidades prácticas: Los estudiantes adquieren experiencia directa en la operación y programación de sistemas automatizados, lo cual es fundamental para su desempeño en la industria (Edibon, s.f.).
- Fomento del pensamiento crítico y la resolución de problemas: La necesidad de configurar y optimizar los sistemas modulares promueve el análisis y la toma de decisiones informadas.
- Preparación para la Industria 4.0: La familiarización con tecnologías avanzadas y sistemas interconectados prepara a los estudiantes para enfrentar los desafíos de la cuarta revolución industrial (Festo, s.f.).

Consideraciones para la Implementación

Para la implementación efectiva de un sistema de manufactura modular en el laboratorio del Instituto Tecnológico de Zitácuaro, se consideran los siguientes aspectos:

- Diseño pedagógico: El sistema debe alinearse con los objetivos de aprendizaje del currículo, permitiendo la integración de teoría y práctica.
- Escalabilidad: La posibilidad de ampliar o modificar el sistema según las necesidades futuras garantiza su relevancia a largo plazo.
- Compatibilidad tecnológica: La selección de componentes debe asegurar la interoperabilidad y la facilidad de mantenimiento.
- Capacitación docente: Es esencial que el personal académico reciba formación adecuada para maximizar el potencial educativo del sistema.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolla bajo un enfoque mixto, combinando el análisis cualitativo de las necesidades formativas con el diseño e implementación cuantitativa de un sistema técnico funcional. La metodología se estructurará en cuatro fases:

1. Diagnóstico institucional: Revisión documental y entrevistas semiestructuradas con docentes y personal técnico del ATV para identificar necesidades y oportunidades de mejora.
2. Diseño técnico: Desarrollo de planos, esquemas de control, especificaciones funcionales y selección de componentes.
3. Implementación del sistema: Construcción del prototipo modular y realización de pruebas piloto con grupos de estudiantes.
4. Evaluación: Aplicación de instrumentos de observación, encuestas de percepción y análisis de resultados académicos.

RESULTADOS

El sistema de manufactura modular y adaptable permite simular diferentes procesos industriales.

Eficacia del sistema como recurso pedagógico, su comparación con otras soluciones tecnológicas similares, su alineación con las tendencias de la Industria 4.0, y las posibilidades de escalabilidad o replicabilidad en otros contextos educativos.

CONCLUSIÓN

El desarrollo de un sistema de manufactura modular adaptable representa una solución pertinente, innovadora y viable para mejorar las prácticas de laboratorio en el Instituto Tecnológico de Zitácuaro. Este proyecto fortalece el vínculo entre teoría y práctica, moderniza los procesos de enseñanza en ingeniería y prepara a los estudiantes para enfrentar los retos tecnológicos del entorno profesional contemporáneo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Edibon. (s.f.). *Sistema de Fabricación Flexible de Transporte, Clasificación, Selección y Manipulación Neumática*. Recuperado de <https://www.edibon.com/es/sistema-de-fabricacion-flexible-de-transporte-clasificacion-seleccion-y-manipulacion-neumatica>
- Festo. (s.f.). *MPS: Fábricas para la enseñanza de mecatrónica*. Recuperado de https://www.festo.com/es/es/e/educacion/conceptos-educativos/aspectos-mas-destacados/fabricas-para-la-ensenanza/mps-fabricas-para-la-ensenanza-de-mecatronica-id_31963/
- Gershwin, S. B. (1994). *Manufacturing systems engineering*. Prentice Hall.
- Maldonado, G., Ramírez, R., & Cordero, M. (2019). Enseñanza activa en ingeniería: laboratorios reconfigurables. *Revista de Educación Técnica*, 27(1), 13–25.
- Pranatec. (s.f.). *Sistema de Producción Modular MPS*. Recuperado de <https://pranatec.com.mx/producto/sistema-de-produccion-modular-mps/>
- Rojas-Solís, J. L., & Méndez-Miranda, J. (2020). Diseño e implementación de un sistema didáctico de manufactura flexible para la formación de ingenieros. *Revista Educación Tecnológica*, 19(2), 45–58. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062020000200045>
- Schwab, K. (2017). *La cuarta revolución industrial*. Debate.
- Zúñiga Colín, R., López Garza, V., & Muñoz Hernández, G. (2022). *Sistema de manufactura adaptable modular*. CIATEQ. Recuperado de <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1020/661>

