



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

TECTIZAPIC[®]

Revista Académico-Científica

**Tecnológico Nacional de México
Instituto de Ciudad Valles**



**TODOS
SOMOS
TECNM**

Vol. 10 N°2

ISSN: 2444-4944

DICIEMBRE 2024

“Calidad Educativa Para La Productividad”

DIRECTORIO

MAP. Héctor Aguilar Ponce
Director TecNM / I. T. de Ciudad Valles

M.P.L.E. Luis Medina Urbina
Subdirector de Servicios Administrativos

Dra. Azucena de los Ángeles Gutiérrez Reyes
Subdirectora de Planeación y Vinculación

M.E. Karina Berlanga Reséndiz
Subdirectora Académica

CONSEJO EDITORIAL

MAP. Héctor Aguilar Ponce

Presidente

M.E. Karina Berlanga Reséndiz

Secretaria Académica

Dra. Azucena De Los Ángeles Gutiérrez Reyes

Secretaria de Relaciones Internas y Externas

M.P.L.E. Luis Medina Urbina

Secretario de Finanzas y Comercialización

Dr. Jaime Jesús Delgado Meraz

Secretario Técnico

M.E. Zenayda Saldierna Cepeda

Jefa de Información y Jefa de Edición y Producción

M.T.I. Nitgard Zapata Garay

Jefe de Edición Digital

Lic. Leticia Delgado Velázquez

Jefa de Resguardo

CÓMITE CIENTÍFICO

Dr. José Porfirio González Farías

Docente investigador del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Celaya, Posgrado en Gestión Administrativa.

Dr. Mariano Mendoza Elos

Docente investigador del Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Roque, División de Investigación de Posgrado e Investigación.

Dra. Laura Georgina Vázquez
Lara de la Cruz

*Docente Investigador del Tecnológico
Nacional de México, Instituto Tecnológico de
Celaya*

COORDINACIÓN DE PUBLICACIÓN

M.E. Zenayda Saldierna Cepeda
Jefa del Departamento de Comunicación y Difusión.

Dra. Mariela Ramona Michel Michel
Editora

REGISTRO ANTE EL IMPI – No. 2550676

Nombre: TECTZAPIC

Tec- En referencia al origen de la revista del Instituto Tecnológico de Ciudad Valles.

Tzapic – Significa “fuerte” en el idioma Tének de la región de la Huasteca.

ÍNDICE

Presentación	1
Normas para autores	2
Efectividad biológica de insecticidas en el control de cochinilla del nopal (<i>Dactylopius opuntiae</i>) en Morelos, México. Biological effectiveness of insecticides in the control of nopal mealybug (<i>Dactylopius opuntiae</i>) in Morelos, Mexico. <i>Daniel Perales-Rosas, Mairiel Valle-de la Paz, Pedro Aguilar-Zárate, Rafael Nieto-Aquino</i>	6
Cilindros con posicionamiento eléctrico para demostración de actuadores neumáticos. <i>Cylinders with electrical positioning for demonstration of pneumatic actuators. Francisco Alberto Barrena Rodríguez, Obed Antonio García Cano, Dafne Hazzely Durán Vázquez, Carlos Omar Ríos Orozco.</i>	17
Walking Energy: Generador de energía por pisada. <i>Walking Energy: Footstep energy generator. Miguel Ángel Salazar Lozano, Laura Guadalupe Butzmann Álvarez, Obed Antonio García Cano, Marlene Parra Escobedo.</i>	28
Las visitas a empresas como estrategia de enseñanza-aprendizaje en la formación de ingenieros en educación superior. <i>Company visits as a teaching-learning strategy in engineering education within higher education. Belem Meza Arteaga, Azucena de los Ángeles Gutiérrez Reyes, Desiderio Leines Medina, Perla Lizeth Turrubiate Castro.</i>	41

PRESENTACIÓN

Una Institución de Nivel Superior se caracteriza por el parámetro de excelencia educativa que la distingue, la responsabilidad académica que va más allá de la imagen propuesta y que, en vías de un desarrollo que amerita reconocimiento con base a la experiencia de cuarenta dos años, propone y promueve en la Región de la Huasteca Potosina, una docencia y una investigación de gran alcance y compromiso, en lo que compete al proceso enseñanza-aprendizaje, apegado al modelo y enfoque por competencias.

Si bien es sabido, algunos teóricos, al referirse a la investigación como trabajo intelectual avalado por fuentes originales, cuyo fundamento sostiene su credibilidad y permanencia, sostienen que la verdadera intencionalidad creadora de proponer alternativas posibles encaminadas a una también posible solución, es resultado de teoría y praxis, cuya exposición y aplicación participativa, perfecciona lo establecido, innova lo investigado, corrobora lo previamente propuesto, sostiene con nuevos y/o novedosas aportaciones que el problema a investigar, es de alguna u otra manera inacabable y siempre susceptibles de nueva búsqueda y cambio. Por lo que, en general y substancialmente, la investigación da pie a procesos asiduos y permanentes cuya amplitud cognoscitiva, definitivamente conlleva responsabilidad, compromiso y respeto por el trabajo propio y por el de los demás.

TECTZAPIC, “Tecnológico Fuerte” es una revista semestral, con revisión por pares, dirigida y arbitrada por el Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Ciudad Valles; editada y mantenida por Servicios Académicos Intercontinentales S.L. con el apoyo de Grupo EUMED.NET.

Todos los artículos publicados en esta revista son indexados en bases de datos científicas internacionales a través de los índices: **Latindex**, **IdeasRepec**, **Dialnet**, **Researchgate** y **Google Scholar**.

Público al que va dirigida

Esta revista está dirigida a todo tipo de público, principalmente a los interesados en los temas publicados: profesores, estudiantes, investigadores y lectores en general.

Política de acceso abierto

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de poner disponible gratuitamente toda la información posible.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Nacional del Derecho de Autor.

NORMAS PARA AUTORES

Es necesario como parte del proceso de envío de un artículo para su publicación en la revista Tectzapic, los autores deben verificar el cumplimiento de los elementos aquí solicitados ya que deben seguir las reglas descritas. En caso de no cumplir con las directrices les será devuelto el manuscrito a los autores.

Los artículos deberán cumplir con el requisito de originalidad, utilizar la plantilla adjunta, en formato de Microsoft Word, con el tipo de letra Times Roman 12 pts., espacio entre líneas de 1.0, texto con alineación justificada. La extensión debe ser de un mínimo de 10 a un máximo de 15 páginas.

El artículo debe tener los apartados de: Introducción, Métodos, Resultados, Discusión, Conclusiones y las Referencias.

Es necesario se envíen dos archivos, uno que no contenga ninguna referencia a las identidades de los autores; y otro con los datos que se solicitan en la plantilla del artículo.

Tiempo de respuesta máximo. Será de 90 días desde el cierre de la convocatoria de la recepción a la publicación.

Solicitar la plantilla para el artículo y carta de los autores al correo de oficinaeditorial@tecvalles.mx

1. Título. El título en español e inglés, en su redacción debe ser explícito y de forma concisa reflejar el contenido del trabajo.

2. Autoría. Nombre(s) completo(s) y apellidos completos de los autores, el organismo o centro de trabajo y correo electrónico del contacto de correspondencia. Es importante incluir el número de filiación ORCID. (En caso de no estar registrado lo puede hacer de forma gratuita en el siguiente enlace: <https://orcid.org/register>).

3. Resumen. En un párrafo de máximo 15 líneas (en español e inglés) se deberá plasmar la síntesis de la investigación, presentando el objetivo, la metodología utilizada, los resultados más importantes y las principales conclusiones. No debe contener resultados que no correspondan a la investigación.

4. Palabras clave. Presentar cinco conceptos separados por comas, estos términos deben ser relevantes del artículo y no aparecer en el título. Se recomienda emplear los tesauros Unesco.

5. Redacción del texto y presentación. Al redactar debe ser con un lenguaje claro, conciso y coherente. Los textos serán escritos en español.

6. Tablas y figuras. Se presentarán en el cuerpo del texto. después de mencionarla por primera vez. Estarán numeradas de acuerdo con su aparición y cada una llevará su título breve, claro y descriptivo, El título de la figura o tabla debe aparecer una línea debajo del número. Utilice cursiva en el título. En caso de ser necesario alguna explicación deberá ir al pie como “nota”, así como con la indicación de la fuente correspondiente, en caso de que esta sea tomada de otro autor.

Todas las tablas y figuras se deben enviar también en formato JPEG, en un único archivo comprimido ZIP o RAR. Las fotografías y figuras tendrán una resolución mínima de 300 píxeles por pulgada para su publicación.

7. Fórmulas y/o expresiones matemáticas. Deberán insertarse en el propio Word o LibreOffice, pero en ningún caso irán incorporadas como imágenes.

8. Resultados y discusión. Descripción lógica, precisa de los resultados obtenidos. Se debe resumir los datos recolectados y el tratamiento estadístico que se les realizó. Cuando no se aplican análisis estadísticos o cuantitativos, los resultados pueden ser frases o afirmaciones que resuman la información de manera clara.

9. Conclusiones. En esta parte se derivan conclusiones, Se hacen recomendaciones para otras investigaciones, se analizan las implicaciones de la investigación y se establece cómo se respondieron las preguntas de investigación y si se cumplieron o no los objetivos.

9. Referencias. Desarrollará un listado de los materiales citados en el texto, estos son los que dan soporte a su artículo.

Las referencias siguientes deben ser en formato APA 7 <https://normas-apa.org/> Todas las referencias citadas en el artículo deben estar con la información completa en la sección correspondiente de “REFERENCIAS”, cuando esta sea un artículo que tenga DOI, deberá indicarse siempre.

Ejemplos de citas que aparecen en el cuerpo del texto

En caso de ser citas textuales solamente en caso de ser menos de 40 palabras se presenta incrustada en el texto entre comillas o si la cita tiene 40 palabras o más debe ser presentada en bloque, a parte del texto, y siempre al final anotar la página de la misma.

Ejemplo: Interpretando los resultados, Smith (2001) sugiere que la “aptitud para...” (p.421)

Las citas parafraseadas son cuando se presenta ideas o información de alguna investigación de un autor, pero en palabras propias del que redacta el artículo; esto permite resumir, sintetizar y comparar autores de referencia. Siempre se debe incluir el apellido del autor y el año de publicación. Al parafrasear no es obligatorio incluir el número de la página del autor citado.

Ejemplo:

El porcentaje de consumo de calorías en la década superó por en un 100 % a la anterior. (Ramírez, 2021).

Ejemplo:

Según Blanco (2019) la aprobación crediticia es indispensable (pp. 30–31).

Para citar un estándar, una norma técnica o una directriz de calidad en el Estilo APA, debes proporcionar el autor, la fecha, el título y la fuente del trabajo. Después del título, proporcione cualquier número o identificador para el estándar entre paréntesis sin cursiva.

Ejemplo: cita norma

(Organización que hizo el estándar, año).

Referencia

Organización que hizo el estándar. (año). Título de la norma (Norma núm. 1234). <https://www.url.com>

Citar corporaciones, instituciones o fundaciones como autores. Cuando la autoría es el nombre de un corporativo o asociación. Sólo se abrevia el nombre completo de la institución a un acrónimo apropiado, cuando la abreviatura sea bien conocida (una universidad famosa o una institución como la ONU, por ejemplo). En caso de ser un organismo poco conocido, deberá escribir el nombre completo en la primera cita e inserte la abreviatura entre paréntesis/corchetes

después del nombre completo. En las siguientes citas, puedes utilizar la abreviatura.

Ejemplo de citas:

(Asociación Americana para el Avance de la Ciencia [AAAC], 2014, p. 18)

Siguientes citas

(AAAC, 2014, p. 90)

Citas secundarias. Se refiere al contenido original presentado en otra publicación. Preferentemente utilizar la cita original, de no ser posible siga estas instrucciones cuando cite una fuente secundaria:

- En la lista de referencias, proporcione una entrada para la fuente secundaria que utilizó.
- En el texto, identifique la fuente primaria y escriba “como se citó en” y apunte la fuente secundaria.
- Si se conoce el año de publicación de la fuente primaria, inclúyalo también en la cita del texto.

Ejemplo: Se está parafraseando un trabajo de González (2020) en el que cita la investigación de Fuentes (1981), se cita el trabajo de González como la fuente original, seguido del trabajo de Fuentes. Solo el trabajo de González debe aparecer en la lista de referencias.

Cita en paréntesis

(Fuentes, 1981, como se citó en González, 2020)

Cita narrativa

Fuentes (1981, como se citó en González, 2020) presenta su descubrimiento de los beneficios de tomar agua...

Citas con más de un autor. Cuando se cita una fuente que tiene tres, cuatro o cinco autores, todos los autores se incluyen la primera vez que la fuente sea citada. Cuando esa fuente se cita de nuevo, se utiliza el apellido del primer autor y "et al".

Cada una de las citas deberá incluirse en el apartado correspondiente de REFERENCIAS, al final del artículo en extenso y sólo se incluirán las referencias que se hayan citado en el trabajo. Por lo tanto, no se integrarán otras complementarias, aunque se consideren de interés para el tema. Ejemplo: (Hernández et al., 2019).

ENVÍO DE ARTÍCULO

Deberá anexar en su envío los siguientes archivos.

- Dos versiones del texto del artículo (original y anonimizada).
- Declaración de autoría firmada.
- Tablas y figuras en un único fichero comprimido en formato ZIP o RAR

Los archivos complementarios deben cargarse como diferentes componentes del artículo.

Para los artículos autorizados y previo a su publicación

Se enviará al autor de correspondencia la prueba de su artículo para ser revisada en un plazo máximo de tres días. En las pruebas no se permitirán modificaciones adicionales a las observadas. Una vez se realice la publicación definitiva, se notificará de ello al autor de correspondencia.

Efectividad biológica de insecticidas en el control de cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae*) en Morelos, México

Biological effectiveness of insecticides in the control of nopal mealybug (*Dactylopius opuntiae*) in Morelos, Mexico

Recibido: 24 de septiembre de 2024

Aceptado: 15 de noviembre de 2024

Daniel Perales-Rosas

Laboratorio Nacional CONAHCYT para la Evaluación de Productos Bióticos-LaNAEPBi
unidad de servicio Tecnológico Nacional de México / I. T. de Ciudad Valles
<http://orcid.org/0000-0003-4257-3993>

Mairel Valle-de la Paz*

Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Guerrero, Av. Universidad
S/N. Ex. Rancho Shalako, C.P. 39106, Carr. Nal. Petaquillas-Chilpancingo. Las
Petaquillas, Guerrero, México.

<http://orcid.org/0000-0002-5411-1481>

*Autor de correspondencia: 15965@uagro.mx

Pedro Aguilar-Zárate

Laboratorio Nacional CONAHCYT para la Evaluación de Productos Bióticos-LaNAEPBi
unidad de servicio Tecnológico Nacional de México / I. T. de Ciudad Valles
<https://orcid.org/0000-0002-7983-9022>

Rafael Nieto-Aquino

Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico de Ciudad Valles. Carretera al
Ingenio Plan de Ayala Km.2, Col. Vista Hermosa, Ciudad Valles, San Luis Potosí,
México, C.P. 79010

<https://orcid.org/0000-0003-1661-8043>

RESUMEN

La cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae*) es la plaga más agresiva en el cultivo de nopal verdura en el estado de Morelos, los productores realizan hasta dos aplicaciones semanales con insecticidas sin registro de uso ante COFEPRIS, limitando la comercialización al mercado internacional y presentando residuos de plaguicidas que sobre pasan las tolerancias permitidas. Para lo cual se evaluó la efectividad biológica de las mezclas de insecticidas + detergente biodegradable Persil[®] y su comparación con los tratamientos del coadyuvante no iónico Break Thru[®] y Persil[®] sin mezcla de insecticida para el control de la cochinilla del nopal. El estudio se realizó de septiembre a noviembre del 2022 en el municipio de Tlalnepantla, Morelos. Se aplicó un diseño experimental de bloques completos al azar de 17 tratamientos y 4 repeticiones, la variable respuesta fue el porcentaje de daño por cladodio. Los resultados muestran que con las dosis bajas de New Leverage[®] 085 OD (75 mL/100 L de agua + 0.5 L Persil[®]); Velfidor[®] 350 SC (75 mL/100 L de agua + 0.5 L Persil[®]); Applaud[®] 40 SC (50 mL/100 L de agua + 0.5 L Persil[®]) y Movento[®] 150 OD (25 mL/100 L de agua + 0.5 L Persil[®]) son la mejor alternativa para el control de cochinilla del nopal con eficacias superiores al 86%, también se observó que los tratamientos de Break Thru[®] y Persil[®] se obtuvieron eficacias superiores al 70% desde la primer evaluación, por lo que pueden ser utilizados en poblaciones iniciales de la cochinilla del nopal, eliminando de esta forma la problemática de los residuos de plaguicidas en el nopal verdura.

Palabras clave: Control químico, residuos de plaguicidas, nopal verdura, eficacia.

Abstract

The nopal mealybug (*Dactylopius opuntiae*) is the most aggressive pest in the nopal crop in the state of Morelos. Producers make up to two applications per week with insecticides without registration of use before COFEPRIS, limiting the commercialization to the international market and presenting pesticide residues that exceed the permitted tolerances. The biological effectiveness of mixtures of insecticides + Persil[®] biodegradable detergent and their comparison with treatments of the non-ionic coadjuvant Break Thru[®] and Persil[®] without insecticide mixture for the control of the nopal mealybug was evaluated. The study was conducted from September to

November 2022 in the municipality of Tlalnepantla, Morelos. A randomized complete block experimental design with 17 treatments and 4 replicates was applied, the response variable was the percentage of damage per cladode. The results show that low doses of New Leverage[®] 085 OD (75 mL/100 L of water + 0.5 L Persil[®]); Velfidor[®] 350 SC (75 mL/100 L of water + 0.5 L Persil[®]); Applaud[®] 40 SC (50 mL/100 L of water + 0.5 L Persil[®]) and Movento[®] 150 OD (25 mL/100 L of water + 0.5 L Persil[®]) are the most effective treatments. 5 L Persil[®] are the best alternative for nopal mealybug control with efficacies higher than 86%. It was also observed that Break Thru[®] and Persil[®] treatments obtained efficacies higher than 70% from the first evaluation, so they can be used in initial populations of the nopal mealybug and in the control of the nopal mealybug.

Keywords: Chemical control, pesticide residues, vegetable nopal, efficacy.

INTRODUCCIÓN

El estado de Morelos se caracteriza por ser el principal productor de nopal verdura en México, en el ciclo agrícola 2023 se cultivaron 4, 219 ha, sobresaliendo el municipio de Tlalnepantla con 3, 030 ha, Tlayacapan con 572 ha y Totolapan con 553 ha (SIAP, 2024). Una de las principales plagas que afectan al cultivo de nopal verdura en el estado de Morelos es la cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae* Cockerell). Las especies de este género se caracterizan por tener cuerpo blando y su aspecto distintivo es la excreción de cera de color blanco de apariencia algodonosa a través de las estructuras cuticulares (Vanegas, 2009; Rodrigo et al., 2010). Esta cera envuelve la totalidad del insecto y es su mecanismo de defensa contra depredadores (Fig. 1) (Tulloch, 1970). Los adultos muestran un dimorfismo sexual marcado. En el ciclo de vida de los machos se reconocen cinco estados que comprenden huevo, ninfa, prepupa, pupa y adulto; mientras en las hembras sólo se observan huevo, ninfa y adulto (Gullan y Kosztarab, 1997; Rodrigo et al., 2010). Las hembras adultas tienen cuerpo de forma ovalada con antenas cortas de siete segmentos, patas cortas y no tienen alas (Rodrigo et al., 2010).

Las hembras se asientan en los cladodios de diferentes edades y se sujetan a ellos mediante su aparato bucal que es de tipo chupador. Allí permanecerán toda su vida succionando la savia y causando daño constante a la planta (Mondragón et al., 2012). Los machos pupan encima de las hembras, tienen alas que les permiten moverse y su única función es fecundar a las hembras, por lo que su vida es muy corta (Fig. 1) (Romero et al., 2006). El daño lo ocasionan las colonias de ninfas y hembras de cochinilla que se fijan al cladodio, succionando la sabia, ocasionando debilitamiento y clorosis de las pencas, además de un daño estético que reduce el valor comercial del nopal (Fig. 1).

Debido a que existe solo un insecticida con registro en nopal para el control de cochinilla (Sivanto Prime[®] 200 SL: RSCO-INAC-0189-0672-009-17.09) ante COFEPRIS, por considerarse un cultivo tradicional y regional en México, los productores de nopal verdura del estado de Morelos, utilizan una gran diversidad de agroquímicos, sobre todo residuales sin Límites Máximos de Residuos (LMR), que ponen en riesgo la salud de los consumidores. Ramírez-Bustos (2018) encontró residualidad de plaguicidas en centros de acopio de nopal verdura en el estado de Morelos, de los siguientes ingredientes activos, Carbendazim (18 muestras), seguido de Clorpirifos e Imidacloprid (15 muestras), Malatión (4 muestras), Dimetomorf I (2 muestras) y Ometoate (1 muestra). A nivel de parcela encontró a Clorpirifos (0.309 mg/kg), Dimetomorf I (0.029 mg/kg), Malation (0.155 mg/kg), Ometotato (0.032 mg/kg) y Carbendazim (0.090 mg/kg) e Imidacloprid (0.058 mg/kg).



Figura 1.

a). Ciclo biológico de cochinilla del nopal. a). Huevo, b). Ninfa I, c-d) Ninfa II, e) Hembra, f). Macho, tomadas de Rangel-Estrada et al. 2013. b). Daño ocasionado por cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae*) en pecas de nopal verdura, Morelos, 2023, Fotografía de Perales-Rosas, D.

Hernández-Pérez et al. (2019) mencionan que el control de la cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) en nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), en el estado de Morelos es apremiante por la importancia alimenticia en la población y fuente de ingreso económicos para los productores, utilizando 2 a 3 insecticidas mezclados y aplicando hasta dos veces por semana, generando resistencia de la plaga, fitotoxicidad al cultivo, residualidad en nopal verdura fresco e intoxicaciones de trabajadores y consumidores, impidiendo su comercialización en el mercado internacional.

En respuesta a la problemática anteriormente mencionada, el personal técnico del Comité Estatal de Sanidad Vegetal del estado de Morelos realiza recomendaciones de insecticidas comerciales a dosis bajas (New Leverage[®] 085 OD, Velfidor[®] 350 SC, Applaud[®] 40 SC, Sivanto Prime[®] 200 SL, Movento[®] 150 OD) en combinación con un detergente líquido biodegradable de uso doméstico (Persil[®]) y un coadyuvante no iónico (Break Thru[®]) para el control de la cochinilla del nopal, sin embargo, estas recomendaciones no han sido validadas en campo, por lo que se planteó evaluar la efectividad biológica de las mezclas de insecticidas + detergente biodegradable Persil[®] y su comparación con los tratamientos del coadyuvante no iónico Break Thru[®] y Persil[®] sin mezcla de insecticida para el control de la cochinilla del nopal.

METODOLOGÍA

Diseño de investigación. El estudio se realizó del 21 de septiembre del 2022 al 17 de noviembre del 2022 en el municipio de Tlalnepantla, Morelos, México, en las coordenadas Latitud:19°00'55.47" N y Longitud de 99°00'05.72" O en una huerta comercial de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) variedad Milpa Alta en etapa de desarrollo vegetativo (Fig. 2).

Muestra. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con 17 tratamientos y 4 repeticiones (Cuadro 1), el tamaño de la unidad experimental fue de 23 m² y la parcela útil de 18.4 m², con una superficie total de 1564 m² (Cuadro 1).

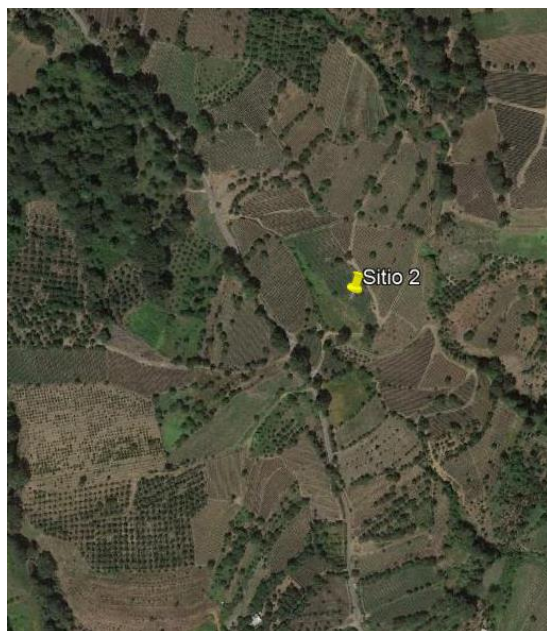


Figura 2.
Sitio de ubicación del estudio en campo, Tlalneplantla, Morelos, México.

BLOQUES			
I	II	III	IV
T8	T7	T1	T11
T2	T11	T10	T15
T3	T5	T17	T10
T17	T13	T16	T3
T9	T12	T12	T5
T15	T4	T7	T2
T11	T10	T5	T13
T5	T19	T3	T12
T4	T8	T8	T14
T16	T6	T14	T6
T12	T3	T15	T16
T13	T15	T4	T8
T6	T2	T13	T9
T1	T14	T9	T1
T7	T1	T11	T7
T14	T9	T6	T17
T10	T16	T2	T4

Cuadro 1.
Croquis de distribución de los tratamientos en campo.

Se realizaron dos aplicaciones de los tratamientos a intervalos de 14 días, dirigiendo la aplicación a la base de los cladodios, utilizando una mochila motorizada marca Arimitzu de 22 L de capacidad con dos boquillas de cono lleno, con un gasto de 652 L de agua/ha. Los tratamientos aplicados se observan en el Cuadro 2 y las especificaciones de los insecticidas en el Cuadro 3.

Cuadro 2.

Dosis y tratamientos aplicados en el control de daño de cochinilla del nopal (Dactylopius opuntiae) en el estado de Morelos, 2022.

Dosis de los tratamientos			
Tratamiento	Ingredientes activos	Dosis (mL/100 L agua)	Persil (L/100 L agua)
T1	Imidacloprid + Deltametrina + Persil [®]	75	0.5
T2	Imidacloprid + Deltametrina + Persil [®]	100	0.5
T3	Imidacloprid + Deltametrina + Persil [®]	150	0.5
T4	Imidacloprid + Persil [®]	75	0.5
T5	Imidacloprid + Persil [®]	100	0.5

T6	Imidacloprid + Persil [®]	150	0.5
T7	Buprofezin + Persil [®]	50	0.5
T8	Buprofezin + Persil [®]	75	0.5
T9	Buprofezin + Persil [®]	100	0.5
T10	Spirotetramat + Persil [®]	25	0.5
T11	Spirotetramat + Persil [®]	37.5	0.5
T12	Spirotetramat + Persil [®]	50	0.5
T13	Flupyradifurone + Persil [®]	1L/ha	0.5
T14	Break Thru [®]	60	-----
T15	Break Thru [®]	2.5 mL/ L agua)	-----
T16	Persil [®]	_____	0.5
T17	TESTIGO ABSOLUTO	_____	_____

Cuadro 3.

Especificaciones técnicas de los insecticidas aplicados en campo para el control de cochinilla del nopal (Dactylopius opuntiae) en el estado de Morelos, 2022.

Datos del plaguicida	Plaguicida evaluado	Plaguicida evaluado	Plaguicida evaluado	Plaguicida evaluado	Plaguicida evaluado
Plaguicida	Insecticida	Insecticida	Insecticida	Insecticida	Insecticida
Nombre común	Imidacloprid + Deltametrina	Imidacloprid	Buprofezin	Flupyradifurone	Spirotetramat
Nombre comercial y/o código (de existir)	New Leverange [®] 085 OD	Velfidor [®] 350 SC	Applaud [®] 40 SC	Sivanto Prime [®] 200 SL	Movento [®] 150 OD
Formulación	Dispersión en aceite	Suspensión Concentrada	Suspensión Concentrada	Concentrado soluble	Dispersión en aceite
Concentración (% en peso)	Imidacloprid al 7.60% + Deltametrina al 1.01 %	Imidacloprid al 30.2%	Buprofezin al 40.91%	Flupyradifurone al 17.09%	Spirotetramat al 15.3%
Equivalente en g. i.a./L o kg	75 g de Imidacloprid + 10 g de Deltametrina/L	350 g de Imidacloprid/L	445.92 g de Buprofezin/L	200 g de Flupyradifurone/L	150 g de Spirotetramat/L
Otros	Detergente biodegradable Persil [®]	Detergente biodegradable Persil [®]	Detergente biodegradable Persil [®]	Detergente biodegradable Persil [®]	Detergente biodegradable Persil [®]

Se realizó una preevaluación y 4 evaluaciones subsecuentes a intervalos de 7 días, el tamaño de muestra fue de 10 plantas por unidad experimental, 40 plantas por tratamientos, la variable evaluada fue el porcentaje de daño de cochinilla del nopal en el cladodio basal, utilizando la escala de Mora-Aguilera et al. (2000) (Cuadro 4).

Cuadro 4.

Escala logarítmica de evaluación de infestación de Dactylopius opuntiae propuesta por Mora-Aguilera et al. (2000).

INDICE	DESCRIPCION DEL DAÑO
0	0 % colonias
1	1 a 5 % de superficie cubierta con Colonias

2	6 a 15 % de la superficie cubierta con Colonias
3	16 colonias a 25% de superficie cubierta con colonias.
4	De 25% a 50% de superficie cubierta con colonias.
5	De 51% a 75% de superficie cubierta con colonias.
6	De 76% a 100% de superficie cubierta con colonias.

Los índices de daño se transformarán en porcentajes de daño usando la fórmula de Townsend y Heuberger, 1943.

$$P = \frac{\sum(n \cdot V)}{\text{Categoría mayor} \cdot N} \times \frac{100}{100}$$

V= Valor numérico de cada categoría

Donde:

P= Porcentaje de daño

n= Numero de plantas por categoría

N= Número total de plantas en la muestra

Efectividad Biológica. Con las medias por tratamientos de los datos de campo se determinó la efectividad biológica aplicando la fórmula de Abbott (1925).

$$EB = (IT - it / IT) \cdot 100$$

Dónde:

IT= Severidad en el testigo absoluto

it= Severidad en el tratamiento con insecticida

Los datos obtenidos en las diferentes fechas de evaluación fueron sometidos a un análisis de varianza y a la prueba de comparación de medias con Tukey ($\alpha=0.05$) con el paquete de análisis estadístico SAS[®].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Previo a la aplicación de los tratamientos se llevó a cabo la preevaluación, en ella se observó que las poblaciones de cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae*) presentaban porcentajes de daño entre 21 a 30%, sin diferencias estadísticas entre las poblaciones de cochinilla del nopal en los distintos tratamientos (Cuadro 5). La primera evaluación se llevó a cabo a los 7 días después de la primera aplicación de los tratamientos en campo, todos los tratamientos de insecticidas + jabón biodegradable Persil[®] presentaron porcentajes de daños inferiores al 26%, logrando suprimir el daño de la plaga en 19.15% y eficacias de control de las poblaciones de ninfas y hembras de cochinilla del nopal superiores al 42% (Figura 3 y 4), siendo estadísticamente iguales todos los tratamientos, con diferencias estadísticas con el testigo absoluto por el efecto de control de los insecticidas y coadyuvantes (Cuadro 5). La segunda evaluación se realizó a los 14 días después de la primera aplicación de los tratamientos, en ella podemos observar que todos los tratamientos de mezcla de insecticida + jabón biodegradable Persil[®] presentaron eficacias de control superiores al 80%, sobresaliendo la dosis alta de Velfidor[®] 350 SC (150 mL/100 L de agua) + 0.5 L de Persil[®] con 94.0% de eficacia en el control del porcentaje de daño de la cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae*), seguido por el tratamientos 12 (50 mL/100 L de agua) de Movento[®] 150 OD + 0.5 L de Persil[®] y No. 13 (1 L/ha) de Sivanto Prime[®] 200 SL + 0.5 L Persil[®], con eficacias del 93.3% , siendo estadísticamente iguales entre ellos y diferentes al resto de los tratamientos con insecticida + jabón biodegradable Persil[®] y al testigo absoluto (Cuadro. 5, Fig. 4). Estos porcentajes de control son muy aceptables ya que son superiores al 80%, estos resultados superan los

registrados por De Brito et al. (2008) ya que evaluaron jabón en polvo y detergente al 5 % evaluando a los 8 DDA registraron valores superiores de mortalidad de 83.8 y 89.9 % respectivamente.

Cuadro 5.

Comparación de medias del porcentaje de daño de la cochinilla del nopal (Dactylopius Opuntiae) del cultivo de nopal en el estado de Morelos.

Trat.	Producto	Dosis (mL/100 L agua)	Persil (L/100 L agua)	Pre-eval.	Agrupación (Eficacia)			
					1ra. Eval.	2da. Eval.	3ra. Eval.	4ta. Eval.
T1	New Laverange [®] 085 OD + Persil [®]	75	0.5	26.22 a	19.12 b (57.4)	8.72 b (82.2)	4.15 bc (92.8)	8.70 b (87.1)
T2	New Laverange [®] 085 OD + Persil [®]	100	0.5	24.12 a	15.8 b (64.8)	8.30 b (83.1)	7.87 b (86.3)	9.55 b (85.9)
T3	New Laverange [®] 085 OD + Persil [®]	150	0.5	29.55 a	25.8 b (42.6)	8.32 b (83.0)	2.87 c (95.0)	6.62 b (90.2)
T4	Velfidor [®] 350 SC + Persil [®]	75	0.5	30.37 a	16.2 b (63.9)	7.90 b (83.9)	7.90 b (86.3)	12.05 b (82.2)
T5	Velfidor [®] 350 SC + Persil [®]	100	0.5	29.12 a	11.65 b (74.0)	3.30 c (93.2)	7.05 b (87.8)	10.80 b (84.0)
T6	Velfidor [®] 350 SC + Persil [®]	150	0.5	26.62 a	12.07 b (73.1)	2.90 c (94.0)	4.97 b (91.4)	8.27 b (87.8)
T7	Applaud [®] 40 SC + Persil [®]	50	0.5	21.22 a	17.02 b (62.1)	3.70 b (92.4)	5.80 b (89.9)	10.37 b (84.7)
T8	Applaud [®] 40 SC + Persil [®]	75	0.5	29.12 a	12.47 b (72.2)	5.80 b (88.1)	7.07 b (87.7)	8.30 b (87.7)
T9	Applaud [®] 40 SC + Persil [®]	100	0.5	28.27 a	17.45 b (61.1)	7.47 b (84.7)	4.15 b (92.8)	6.20 b (90.8)
T10	Movento [®] 150 OD + Persil [®]	25	0.5	23.30 a	13.32 b (70.3)	4.95 b (89.9)	5.40 b (90.6)	8.72 b (87.1)
T11	Movento [®] 150 OD + Persil [®]	37.5	0.5	29.12 a	9.97 b (77.8)	7.05 b (85.6)	4.97 b (91.4)	12.45 b (81.6)
T12	Movento [®] 150 OD + Persil [®]	50	0.5	26.22 a	13.7 b (69.5)	3.27 c (93.3)	2.02 c (96.5)	8.32 b (87.7)
T13	Sivanto Prime [®] 200 SL + Persil [®]	1L/ha	0.5	23.72 a	12.87 b (71.3)	3.27 c (93.3)	6.65 b (88.5)	8.70 b (87.1)
T14	Break Thru [®]	60	-----	28.32 a	14.55 b (67.6)	8.30 b (83.1)	4.55 bc (92.1)	14.12 b (79.2)
T15	Break Thru [®]	2.5 mL/ L agua	-----	29.55 a	12.05 b (73.1)	10.40 b (78.8)	5.40 b (90.6)	9.55 b (85.9)
T16	Persil [®]	-----	0.5	26.62 a	11.65 b (74.0)	10.37 b (78.8)	5.37 b (90.7)	11.22 b (83.4)
T17	Testigo absoluto	-----	-----	26.22 a	44.95 a	49.15 a	57.87 a	67.90 a

Nota: Letras distintas en una misma columna difieren por Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

El porcentaje de daño disminuyó drásticamente en la tercera evaluación por el efecto acumulado de las dos aplicaciones de insecticidas + detergente biodegradable Persil[®], los mejores tratamientos en la tercera evaluación fueron el No. 3 (150 mL/100 L de agua de New Laverange[®] 085 OD + 0.5 L Persil[®]), No. 12 (50 mL/100 L agua de Movento[®] 150 OD + 0.5 L de Persil[®]) con porcentajes de daño de cochinilla del nopal inferiores al 2.87% (Figura 3). Vavrina et al (1995) proponen el uso de jabones contra insectos de cuerpo blando por la remoción de las capas de cera cuticular, por lo que el efecto del detergente Persil[®] y del coadyuvante no iónico Break Thru[®] fue remover la capa cerosa de las ninfas y hembras adultas de la cochinilla del nopal, exponiéndolas al efecto de los tratamientos insecticidas y al efecto de los factores ambientales y parasitoides (Figura 2). López-Rodríguez et al. (2021) sugieren que la utilización de jabones es una opción para el manejo de *D. opuntiae*, pudiendo ser una

táctica eficiente y amigable con el ambiente.

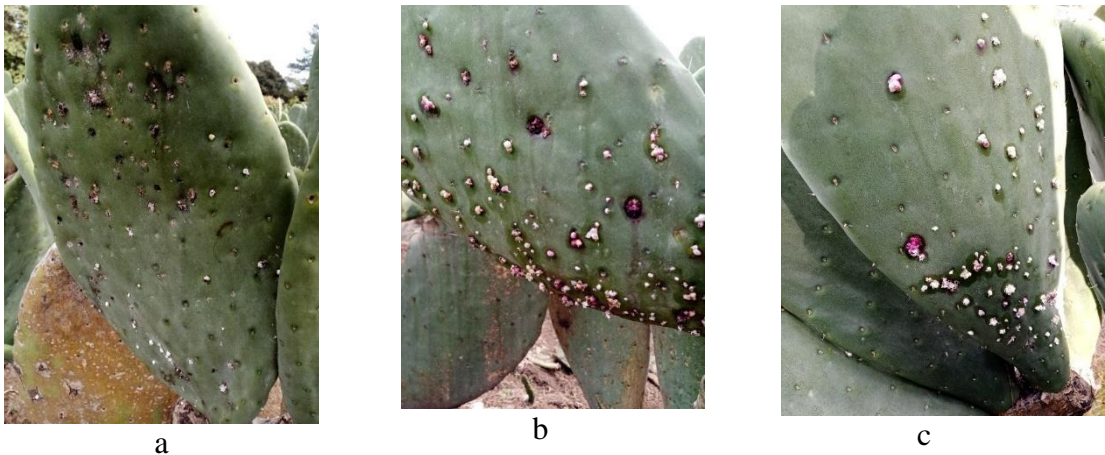


Figura 2. Efecto de los tratamientos de Break Thru[®] y Persil[®]. a). No. 14 (60 mL/100 L de agua de Break Thru[®]). b). No.15 (2.5 mL/L de agua de Break Thru[®]); c). No.16 (0.5 L de Persil[®]/ 100 L de agua), observa el ablandamiento y remoción de las capas de cera de las colonias de *Dactylopius opuntiae*.

En la cuarta evaluación el porcentaje de daño en el testigo absoluto alcanzó 67.90% se observó una disminución de 53.78% de daño en los tratamientos de insecticida + jabón biodegradable Persil[®], Break Thru[®] y Persil[®]. El testigo absoluto fue estadísticamente diferente a todos los tratamientos, el mejor tratamiento para la disminución del porcentaje de daño fue el No. 9 (100 mL/100 L agua de Applaud[®] 40 SC + 0.5 L de Persil[®]) con un porcentaje de daño de 6.20%, seguido del tratamiento No.3 (150 mL/100 L de agua de New Leverage[®] 0.85 OD + 0.5 L de Persil[®]) con un porcentaje de daño de 6.62%, todos los tratamientos con insecticidas, Break Thru[®] y Persil[®] fueron estadísticamente iguales en la cuarta evaluación (Cuadro 5, Figura 3).

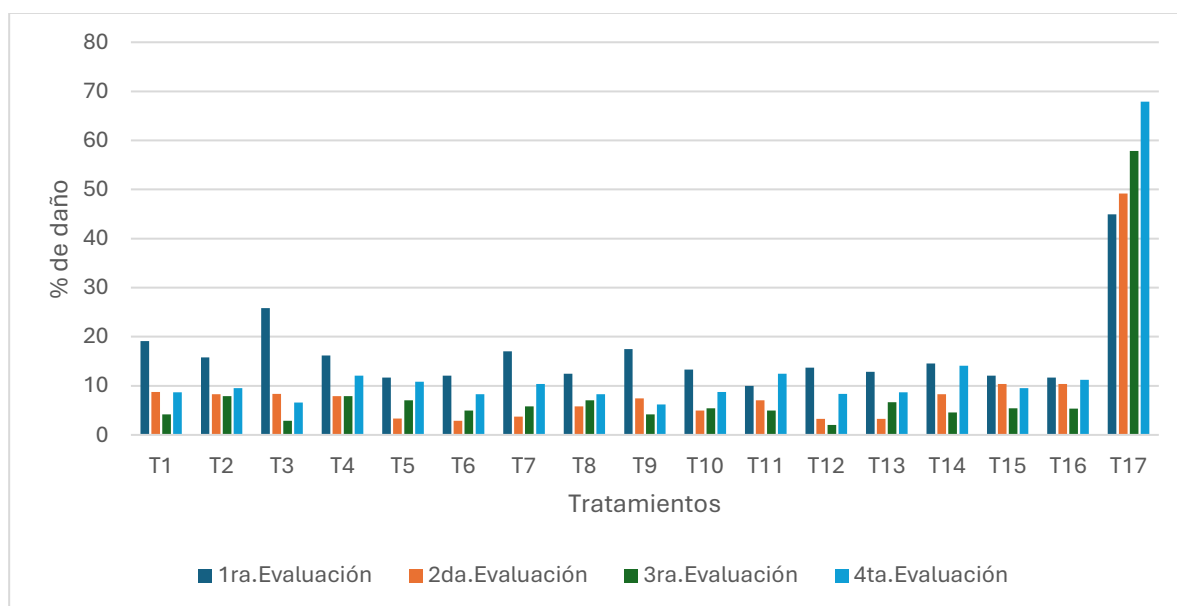


Figura 3. Comparación de medias por tratamiento del porcentaje de daño de cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae*) en el sitio 2 en Tlalnepantla, Morelos, 2022.

La efectividad biológica más elevada se observaron en la tercera evaluación, con eficacias de control superiores al 86%, en todos los tratamientos aplicados con insecticidas + jabón biodegradable Persil[®] (Figura 3), encontrándose estas eficacias biológicas dentro del rango definido en la Norma Oficial Mexicana NOM-032-SAG/FITO-2014, que para el caso de insecticidas deben ser mayores al 85%, estos resultados son también superiores a los observados por Palacios-Mendoza et al. (2004) que reportan al detergente de uso doméstico Roma[®] y otro clasificado como producto misceláneo Peak Plus[®] obtuvieron eficacias de control de *Dactylopius opuntiae* cercanos al 50% bajo condiciones de laboratorio.

Cabe mencionar que se realizaron cuatro evaluaciones, dos después de las dos aplicaciones de los tratamientos y dos posteriores a estas cada 7 días, con el fin de evaluar la residualidad de los tratamientos aplicados.

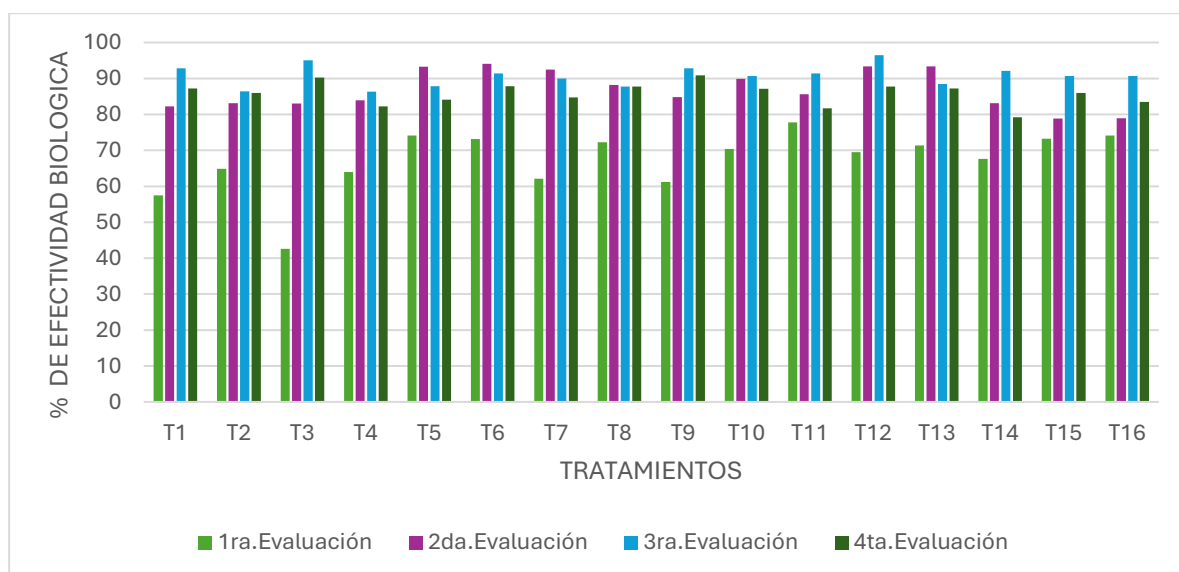


Figura 4.

Comparación de eficacias de los tratamiento de New Laverange[®] 085 OD + Persil[®] (T1, T2, T3), Velfidor[®] 350 SC + Persil[®] (T4, T5 y T6), Applaud[®] 40 SC + Persil[®] (T7, T8 y T9), Movento[®] 150 OD + Persil[®] (T10, T11 y T12), Sivanto Prime[®] 200 SL + Persil[®] (T13), Break Thru[®] (T14, T15), Persil[®] (T16) en el control de cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae*) en el sitio 2 en Tlalnepantla, Morelos, 2022.

Los tratamientos 14 (60 mL/100 L de agua de Break Thru[®]), tratamiento 15 (2.5 mL/L de agua de Break Thru[®]) y tratamiento 16 (0.5 mL/100 L de agua de Persil[®]) sin mezcla de insecticidas presentaron eficacias de control superiores al 67 % desde la primera evaluación (Figura 4), por lo que se pueden utilizar como un control alternativo no químico de cochinilla del nopal. Los resultados de eficacia de Break Thru[®] son coincidentes con los reportados por Rangel-Estrada et al., 2013 quien probó el efecto de 2.5 mL/L de agua de Break Thru[®] con eficacias del 72.5 %, similares a Suprathion[®] (1 L/ha) y Lorsban[®] 480 (1.5 L/ha) en el control de ninfas y adultos de cochinilla del nopal. Por otra parte, nuestros resultados comparten la característica de la utilización de jabones con la investigación desarrollada por López-Rodríguez et al. (2021) ya que evaluaron tratamiento a base de jabón Zote[®], a una concentración de 4 %, registrando eficiencias del 67.2 % de mortalidad, seguido por el detergente Axió Complete[®] con 54.4 % de efectividad, a la misma concentración; estos mismos tratamientos redujeron la población de *D. opuntiae* en 58 y 54.2 %, respectivamente, a los 6 DDA. Por lo que el utilizar jabones para el control de esta plaga los vuelve de fácil adquisición y de poco impacto al ambiente.

CONCLUSIÓN

El control de las poblaciones de cochinilla en nopal verdura se puede lograr con las aplicaciones de las dosis bajas de la mezcla de los insecticidas + detergente biodegradable Persil[®] (No.1. 75 mL/100 L de agua de New Leverage[®] 085 OD + 0.5 L de Persil[®]; No.4. 75 mL/100 L de agua de Velfidor[®] 350 SC + 0.5 L de Persil[®]; No.7. 50 mL/100 L de agua de Applaud[®] 40 SC + 0.5 L de Persil[®]; No. 10. 25 mL/100 L de agua de Movento[®] 150 OD + 0.5 L de Persil[®]) para el control de cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae*), con eficacias de control superiores al 86% respetando los intervalos de seguridad de los plaguicidas. Los tratamientos del coadyuvante organosiloxanos no inico Break Thru[®] y el detergente líquido biodegradable Persil[®] se pueden utilizar en poblaciones iniciales de *Dactylopius opuntiae* en nopal verdura con efectos de control prometedores, sin el impacto negativo de los insecticidas.

REFERENCIAS

- Abbott, W.S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.*: 18: 265-266. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- De Brito, C. H., E. B. Lopes, L. C. de Albuquerque and J. L. Batista (2008) Avaliação de produtos alternativos e pesticidas no controle da cochonilha-do-carmim. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 8:1-5.
- Gullan, P. J. and M. Kosztarab. (1997). Adaptations in scale insects. *Annual Review of Entomology* 42: 23-50.
- Hernández-Pérez, R., Bravo-Silva, G., Martínez-Martínez, J., Hernández, Á. G., & Pedraza, T. D. J. R. (2019). Evaluación de la efectividad biológica de bioinsecticida para el control de cochinilla silvestre (*Dactylopius opuntiae* Cockerell), en nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), en Totolapan, Morelos, México. *Revista Chilena de Entomología*, 45(1). https://www.insectachile.cl/rchen/pdfs/2019v45-1/Hern%C3%A1ndezP%C3%A9rez_et_al_2019.pdf
- López-Rodríguez, Patricia E., Aquino-Pérez, Gildardo, Morales-Flores, Francisco J., Mena-Covarrubias, Jaime, Rodríguez-Leyva, Esteban, & Méndez-Gallegos, Santiago de Jesús. (2021). Productos no convencionales como alternativa de control de *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Hemiptera: Dactylopiidae). *Revista fitotecnia mexicana*, 44(3), 417-424. Epub 31 de octubre de 2023. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.3.417>
- Mondragón, J. C., Espinosa H. E., Mora A. M. A. y González C. M. (2012). Propagación tecnificada del nopal tunero para reducir incidencia de enfermedades y multiplicar nuevas variedades. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Centro. Campo Experimental Bajío. Folleto Técnico No. 8. México. 36 p.
- Mora-Aguilera, G., P. Rivas-Valencia, C. Góngora-Cantú, A. Tovar-Soto, J. Cristóbal-Alejo, E. Loeza-kuk, S. Michereff, A. Marinelli & K. Osada-Velázquez. (2000). Sistemas Computarizados en la epidemiología: I. 2-LOG ver 1.0 y su aplicación en el diseño de escalas diagramáticos logarítmicas. Pp. 1-20. In: Memorias del XXIX Simposio Nacional de Parasitología Agrícola. Puerto Vallarta, México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-032-SAG/FITO-2014. Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su Dictamen Técnico. SAGARPA. En:

- https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/818544/Modificaci_n_NOM-032-FITO-1995_110815.pdf
- Palacios-Mendoza, C., Nieto-Hernández, R., Llanderal-Cázares, C., & González-Hernández, H. (2004). Efectividad biológica de productos biodegradables para el control de la cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Cockerell)(Homoptera: Dactylopiidae). *Acta zoológica mexicana*, 20(3), 99-106. <https://www.scielo.org.mx/pdf/azm/v20n3/v20n3a7.pdf>. versión On-line ISSN 2448-8445
- Ramírez-Bustos, I. I. (2018). Residuos y curvas de disipación de plaguicidas en nopal verdura [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.], en Morelos, México. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos. 80 p.
- Rangel-Estrada, S.E., Ramírez-Rojas, S., Osuna-Canizales, F.J. (2013). Manejo del picudo del nopal, cochinilla y mancha negra en Morelos. SAGARPA: INIFAP: Centro de Investigación Regional Pacífico Sur, Campo Experimental Zacatepec. Libro Técnico No.13. 40 p.
- Rodrigo, E., Catalá-Oltra M. y Granero M. (2010). Estudio comparativo de la morfología y biología de *Dactylopius coccus* Costa y *D. opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae), dos especies presentes en la comunidad Valenciana. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*. 36: 23-35.
- Romero, L., B. E., Flores, H. A., Santamaría, C.E., Salazar, T., J. C., Ramírez, D., M. y Pedroza, S., A. (2006). Identificación, biología y adaptación de la cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Homoptera: Dactylopiidae) a las condiciones de Bermejillo, Durango. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 5: 41-48.
- SIAP (2024). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Consultado el 20 de marzo del 2023. En: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Townsend, G.R. y Heuberger, J.V. (1943). Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. *Plant Disease Report*, 24: 340-343.
- Tulloch, A. P. (1970). The composition of beeswax and other waxes secreted by insects. *Lipids* 5: 247-258.
- Vanegas, R., J. M. (2009). Dinámica poblacional de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) y sus enemigos naturales en Tlalnepantla, Morelos. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 95 p.
- Vavrina, C. S., P. A. Stansly & T. X. Liu. (1995). Household detergent on tomato: phytotoxicity and toxicity to silverleaf whitefly. *Hort Science* 30: 1406-1409.

Cilindros con posicionamiento eléctrico para demostración de actuadores neumáticos.

Cylinders with electrical positioning for demonstration of pneumatic actuators

Recibido: 29 de septiembre de 2024
Aceptado: 27 de noviembre de 2024

Francisco Alberto Barrena Rodríguez
Instituto Tecnológico de Durango/TecNM
barrenaitd@itdurango.edu.mx
Obed Antonio García Cano
Instituto Tecnológico de Durango/TecNM
Dafne Hazzely Durán Vázquez
Instituto Tecnológico de Durango/TecNM
Carlos Omar Ríos Orozco
Instituto Tecnológico de Durango/TecNM

RESUMEN

La enseñanza en el campo de la automatización industrial es usual en las escuelas de ingeniería, pero con mayor énfasis en las escuelas de enseñanza práctica en México. Muchas de las cuales no cuentan con el equipamiento necesario para desarrollar competencias en el campo de la automatización. Sin embargo, en la actualidad, todas las escuelas deberían complementar su enseñanza con prácticas que logren conceptualizar la teoría enseñada en las aulas. El equipamiento en el campo de la automatización y particularmente en el campo de la neumática tiene altos costos para escuelas de nivel superior y medio superior. Si a esto se añade que en prácticamente la totalidad de las escuelas se cuenta con energía eléctrica, cabe la posibilidad de diseñar un actuador lineal eléctrico que simule o imite los movimientos de los actuadores neumáticos. Con un diseño simple y efectivo que permita que los usuarios interactúen y contemplen otras formas de emplear dispositivos que suplan a los elementos neumáticos. Por lo que se presenta el diseño de un actuador impreso en 3D para parámetros de movimientos lineales de carrera normal, que podrá ser adquirido por escuelas de enseñanza práctica en distintos niveles educativos. Actualmente la fase se encuentra en prototipo y se ha utilizado para la enseñanza en el Instituto Tecnológico de Durango.

Palabras clave: actuador lineal, automatización, impresión 3D, enseñanza, neumática.

Abstract

Teaching in the field of industrial automation is common in engineering schools, but with greater emphasis in practical teaching schools in Mexico. Many of which do not have the necessary equipment to develop skills in the field of automation. However, currently, all schools should complement their teaching with practices that conceptualize the theory taught in the classrooms. Equipment in the field of automation and particularly in the field of pneumatics has high costs for higher and secondary schools. If we add to this that practically all schools have electric power, it is possible to design an electric linear actuator that simulates or imitates the movements of pneumatic actuators. With a simple and effective design that allows users to interact and consider other ways of using devices that replace pneumatic elements. Therefore, the design of a 3D printed actuator for normal stroke linear movement parameters is presented, which can be acquired by practical teaching schools at different educational levels. Currently the phase is in prototype and has been used for teaching at the Durango Technological Institute.

Keywords: linear actuator, automation, 3D printing, teaching, pneumatics.

INTRODUCCIÓN

El 70% de todas empresas fabricantes tiene un sistema de aire comprimido, es por ello que la neumática es una de las principales tecnologías usadas en el mundo en los procesos industriales, y va desde el uso para limpieza hasta su uso en la robótica industrial (KAESER, 2021). Los sistemas de automatización más comúnmente utilizados en México son movidos a través de aire comprimido. Y se destacan las principales características que tiene:

- Capacidad de almacenamiento
- Seguridad
- Velocidad
- Fuerza
- Tecnología limpia

Los sistemas neumáticos a pesar de ser ampliamente utilizado en la automatización de procesos industriales presentan una serie de desafíos al momento de su implementación y manejo durante los procesos ya sea en actividades de empaquetado o en las industria automotriz, eléctrica, textil y otras. La principal limitación que presentan estos sistemas está en su baja precisión, ya que presentan múltiples desafíos al controlar factores como la velocidad y posicionamiento de los actuadores, para ser aplicables en estas actividades requieren de componentes extra como sensores y servomecanismos para el control del vástago. Además, se deben de seleccionar los elementos adecuados para el buen funcionamiento del equipo (Aucapiña, 2024)

Una gran deficiencia en el uso de los sistemas neumáticos está en el alto consumo y desperdicio de energía eléctrica empleada en los compresores para obtener el aire comprimido que es utilizado como transmisor de movimiento por los actuadores neumáticos. Como factor destacable, un artículo publicado por la empresa GARGIL en 2022 expone que en la actualidad un 20% del consumo eléctrico en la industria es generado por los sistemas neumáticos, este consumo proviene de los diversos elementos que lo conforman, como el compresor. Otra gran limitación, es el uso del aire comprimido como transmisor de energía mecánica, ya que en todo momento se depende de la presión acumulada del sistema para un correcto desempeño de los actuadores y elementos de control, esto lo vuelve sensible a fugas que puedan disminuir la presión del sistema.

La empresa KOHEN Industries marca cinco limitantes básicas de los actuadores neumáticos y que a su vez generan desgaste en los elementos. El primero de ellos es la contaminación del aire comprimido, y esto ocurre cuando el aire comprimido no se limpia y filtra adecuadamente, por lo que las impurezas pueden generar desgaste. El segundo problema estriba es que no se dé un buen mantenimiento a las unidades de mantenimiento, que a su vez genera un desgaste prematuro en el cilindro. El tercer problema radica en que los actuadores al estar en constante movimiento suelen deteriorarse y ocasionar fugas de aire.

Y si a este problema añadimos que los programas de estudios marcan como uno de los conocimientos fundamentales el uso de diversas tecnologías para la enseñanza de la automatización. Además, se requieren equipos especializados para su enseñanza, y brindar el tiempo necesario a la práctica, puesto que es definida como una actividad de carácter transformador históricamente condicionada y sujeta a desarrollo (Addine 2020).

Hoy día existen diversos métodos de enseñanza en neumática, que implican teoría y simulación

computacional, los cuales permiten poner al estudiante en el contexto de la realidad. Sin embargo, si se logra brindar al estudiante la experiencia en aplicar la teoría y simular circuitos de aplicaciones neumáticas industriales, le permitirías comprender mejor la parte teórica y se le brindan las herramientas para enfrentar situaciones reales. Es por ello por lo que todas las carreras técnicas deben tener equipos de enseñanza o recursos educativos en el área en lo particular, puesto que el desarrollar habilidades y competencias es esencial para el buen desarrollo de los estudiantes. (Spanhol, 2020)

Particularmente el área de Ingeniería presente en algunas carreras contiene asignaturas relacionadas a la automatización industrial, aunado a esto el Tecnológico Nacional de México (TecNM) se declara institución de educación superior tecnológica más grande de Latinoamérica, en la cual se “forman profesionales competitivos de la ciencia y la tecnología” (TecNM, 2021). Por lo que todas las instituciones de educación superior en ingeniería y particularmente aquellas que pertenecen al TecNM deben comprometerse a desarrollar las competencias y habilidades que permitan a sus egresados insertarse de manera exitosa en el ámbito laboral. Así cuando los egresados están en puestos afines a su perfil sienten bienestar y satisfacción personal (Guillen, 2023)

Entre las carreras que más utilizan esta área en su desarrollo laboral está la carrera de Ingeniería Mecánica, en el séptimo semestre se encuentra la asignatura de automatización industrial la cual aporta a los estudiantes “la capacidad para analizar y diseñar circuitos hidráulicos y neumáticos de utilización en procesos y equipos mecánicos”. Y entre las practicas propuestas presenta el control de directo e indirecto de un actuador lineal, el control de la velocidad de avance y retroceso de un actuador de simple y doble efecto.

En la carrera de Ingeniería Mecatrónica también en el sexto semestre se tiene la asignatura de Circuitos Hidráulicos y Neumáticos cuyo objetivo primordial es “conocer, comprender e identificar los elementos de trabajo que intervienen en un circuito neumático o hidráulico” y en sus prácticas propuestas sugiere la demostración del: control directo e indirecto de un cilindro de simple y doble efecto, el control de la velocidad y avance de un cilindro de doble y simple efecto.

En la carrera de Ingeniería Electromecánica se presenta la asignatura de Sistemas Hidráulicos y Neumáticos de Potencia, en la que se destaca que su objetivo es interpretar, controlar y diseñar de forma óptima los circuitos neumáticos o hidráulicos por medio mecánicos. Entre las sugerencias de prácticas a realizar invita a realizar los circuitos de mando directo e indirecto de actuadores de simple y doble efecto, aso como la regulación de velocidad en actuadores.

La carrera de Ingeniería Industrial opción Mantenimiento de Sistemas Productivos, invita a que el estudiante proponga soluciones creativas que generen ventajas competitivas en la selección de equipo neumáticos y en su parte práctica sugiere explicar el funcionamiento gráfico de los componentes principales de un sistema neumático.

Es importante destacar que todas estas carreras dan una gran importancia a la automatización, y es que el avance de la automatización industrial exige que las escuelas se les exija que sus egresados sean profesionistas que especializados en el mantenimiento e instalación de sistemas automáticos (Cembranos, 2008).

Sin embargo, el alto costo de los equipos neumáticos e hidráulicos sigue siendo una limitante para el desarrollo e instrucción en este campo. Festo, reconocido por ser una de las empresas líderes en automatización, ha desarrollado paquetes de formación en neumática, el de neumática para principiantes y el de neumática para avanzados.

Las causas por las cuales las escuelas no logran transmitir adecuadamente los conocimientos en el área de la neumática e hidráulica, es que para tener modelos de enseñanza no solo deben adquirir el equipo neumático, sino también adquirir compresores, así como diseñar y establecer las redes que permitan mover el aire comprimido o el aceite desde la ubicación del compresor hasta el tablero de enseñanza. Lo que ha impedido que el alumno desarrolle sus habilidades completamente, al no interactuar con los actuadores físicos directamente ni conocer cómo desarrollar un control para su posicionamiento.

Sin embargo, la inclusión de tecnologías tales como la manufactura aditiva y/o la impresión 3D cada vez suelen ser más una alternativa para el ámbito de la educación, la innovación tecnológica y la creación de mejores elementos de enseñanza (Cabrera & Córdova 2023).

Actualmente la impresión 3D se sigue difundiendo en áreas del conocimiento, donde era difícil ser utilizada, dando lugar a modelos de aprendizaje cada vez más sencillos y económicos (Zelada et al.2024)

METODOLOGÍA

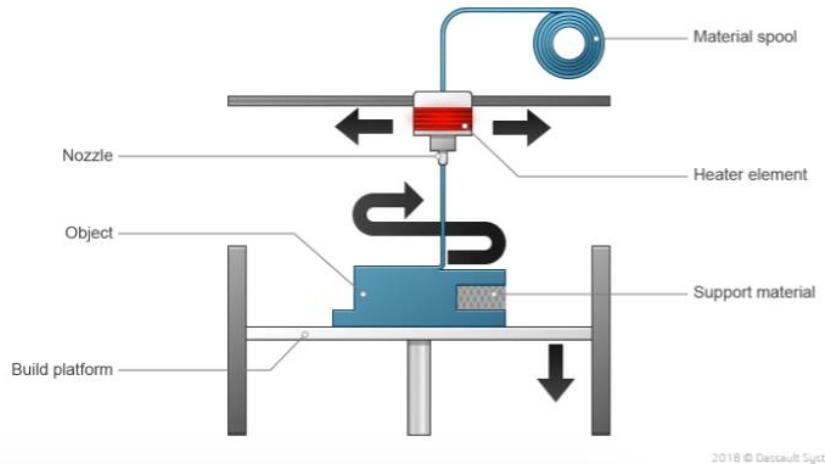
En la carrera de Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Durango, que pertenece al Tecnológico Nacional de México, se desarrolla la propuesta de diseñar y fabricar un actuador lineal movido a través de una cremallera por medio de un motor eléctrico que permita el posicionamiento a lo largo de la carrera del pistón a través de impresión 3D.

En el año 2023 Ochoa mencionó que los avances en el campo de la impresión 3D abarcan dispositivos y modelos de enseñanza que bien utilizados, pueden convertirse en aplicaciones reales. Por otro lado, Dassault Systemes define la impresión 3D como el proceso de creación de objetos mediante el depósito de capas de material unas sobre otras. Un modelo digital en 3D se presenta en forma de capas finas por medio de un *software* leído por la impresora 3D, quien deposita el material en su lugar.

Esta tecnología se utiliza en la creación de prototipos rápidos, pero también en piezas de uso final que aumentan la fuerza y la resistencia de las piezas, utilizando materiales más ligeros. El método de FFF (o FDM, por Fused Deposition Modeling) dibuja una capa de plástico fundido en la cama de impresión o construye una placa. La fusión se produce dentro de un extrusor, que calienta el filamento de plástico a medida que los engranajes lo empujan a través de la boquilla.

Figura 1

Método de fabricación de filamento fundido



Nota: En la presente figura se observa el método usado para la fabricación del actuador 3D
Fuente: <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/3d-printing>

ANÁLISIS DE ACTUADORES SERVO NEUMÁTICOS

En el mercado se observó que existe una propuesta desarrollada por la empresa FESTO, el uso de sistemas servoneumáticos. Los sistemas servoneumáticos se componen de dispositivos que combinan la potencia neumática y el control mediante válvulas de posicionamiento, controladores y actuadores. Para el movimiento de los actuadores deben recibir aire comprimido y el control se da a través de la regulación de la presión.

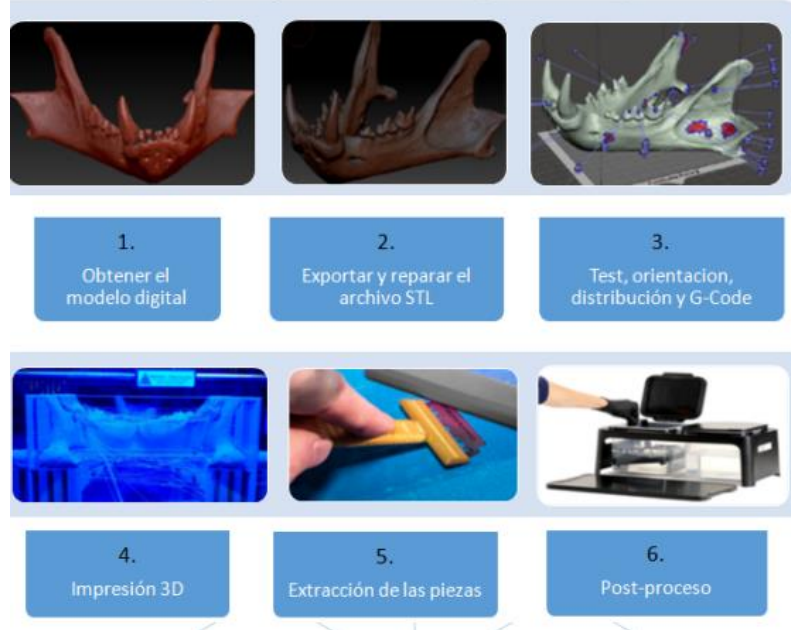
En el mercado se encuentran diversos actuadores neumáticos controlados a través de motores eléctricos, para lo que, obviamente requieren corriente eléctrica para su accionamiento. De manera común se usan motores paso a paso para convertir el movimiento giratorio a lineal mediante un tornillo sin fin acoplado al rotor del motor. Estos actuadores proporcionan precisión de movimiento, sin embargo, presentan decadencias en el tema de velocidad en cuanto a RPM y con cargas muy pequeñas.

DISEÑO DEL ACTUADOR LINEAL

Después de analizado el mercado se propuso el desarrollo del actuador lineal accionado por servomotores y controlado por controladores PID. Para lo cual, se comenzó con los pasos recomendados por la empresa Dassault Systems.

Figura 2

Diagrama de pasos a seguir para el método de filamento fundido



Nota: En la presente figura se observa los pasos para realizar la impresión 3D
Fuente: <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/3d-printing>

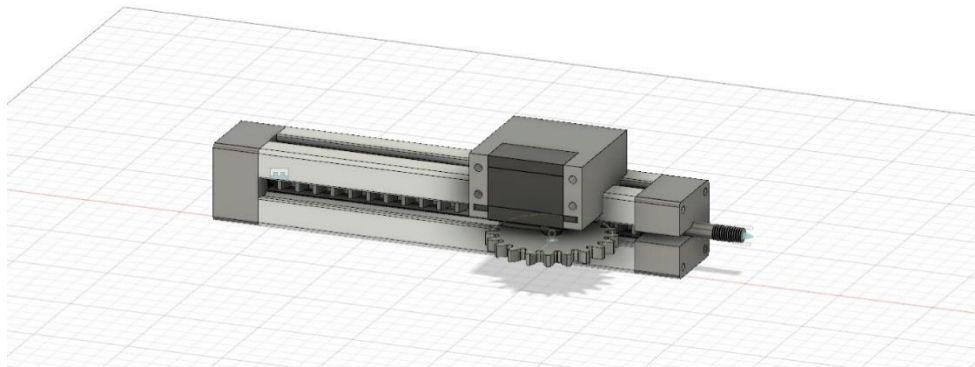
En la etapa primera de la impresión por filamento fundido siguiente se comenzó a desarrollar el cuerpo del actuador lineal, y para lo cual se tomó como base los perfiles BOSCH. Este diseño permite desarrollar un actuador que tenga las mismas ventajas del perfil, es decir, guardas de seguridad perimetral alrededor del propio elemento y a la vez, tener un elemento para realizar sujeciones posteriores si fuera necesario. Al tener una figura de prisma rectangular se tiene un dispositivo que es común en los elementos industriales.

Posteriormente se diseñó el vástago del actuador, considerando dos opciones: por medio de cremallera o por medio de engrane helicoidal. La primera opción, es un mecanismo mecánico que va acoplado con un piñón, permite convertir el movimiento giratorio o circular en un movimiento rectilíneo o lineal. Mientras que la segunda opción, son engranes que a través de sus dientes en forma de hélice permiten la transmisión de un movimiento giratorio a una lineal de manera silenciosa.

Para el diseño del prototipo se optó por el mecanismo de cremallera debido a la facilidad de realizar la impresión del mecanismo, así como su facilidad para acoplarse en el actuador lineal.

Figura 3

Diseño del actuador lineal

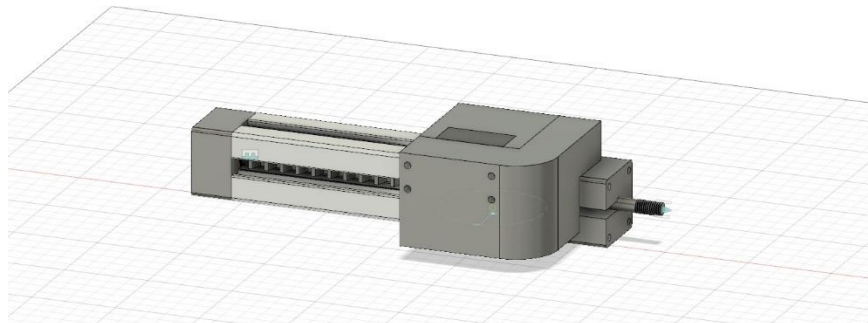


Nota: En la presente figura se observa el actuador con la cremallera acoplada
Fuente: Propia

Posteriormente se exportó el archivo STL. Cuando la pieza ya está diseñada y modelada es necesaria una conversión de formato a esta extensión ".stl". Enseguida se decidió el posicionamiento y orientación de la pieza en la base de impresión o cama. Teniendo en cuenta que se utilizara el mínimo material (y conseguir menor tiempo de impresión).

En el siguiente paso, se genera el código G, recordando que este parámetro tiene mucha importancia también, e influirá significativamente en la calidad final de la superficie de la pieza. Una altura de capa pequeña resultará en mejor resolución o calidad, pero también en un mayor tiempo de impresión

Figura 4



Nota: En la presente figura se observa el actuador con la cremallera acoplada
Fuente: Propia

Posteriormente se procedió a la fabricación del prototipo, el cual fue realizado en impresión 3D. El material que se utilizó fue PLA (Acido Poli Láctico), puesto que lo que se desea es tener un método de verificación de funcionamiento del actuador. Para la impresión se utilizó una impresora RAISEN y a través del programa CURA se determinó que la impresión se realice a un 80% para tener una buena resistencia en el material.

Para la etapa de control del actuador se realizará a través de un PID (Controlador proporcional, integral y derivativo) en un PLC (Controlador Lógico Programable), que es un método probado de control de actuadores (Cuenca, 2020). Se investiga la posibilidad de integrar en sistema de motores digitales, ya que estos tienen la ventaja de una precisión elevada en la posición

rotacional, además de poder controlar la temperatura de cada uno de ellos, la velocidad y la aceleración y el torque de cada motor. Una de las ventajas de los motores digitales, es que usan el protocolo RS485 en cual se conectan en serie todos los dispositivos pudiéndose conectar hasta 256 de estos con tan solo 3 cables (dos de alimentación y uno de datos). Y para efectos de evitar que el mecanismo se encuentre expuesto a condiciones de funcionamiento donde exista polvo, o algún elemento que se pueda integrar en el producto, se diseñó una cubierta para evitar exponerlo. Esta cubierta además debe colocarse por seguridad en el propio elemento. Además, que dicho control es económico y capaz de cumplir con los requerimientos didácticos necesarios (Choque, 2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La propuesta consiste en el desarrollo de un producto el cuál esencialmente es un sistema de automatización industrial basado en válvulas y actuadores lineales eléctricos, cuya área de aplicación pertenece a la industria electrónica de sistemas embebidos, debido al uso del sistema como alternativa de automatización a las industrias productivas. Esto coincide con lo expresado en la conferencia Edunovatic 2023, donde se mencionó que la educación puede ser transformada de acuerdo con este tipo de herramientas novedosas de maneras sorprendentes.

Entre las ventajas del dispositivo esta una mayor precisión, control y eficiencia energética en comparación con los sistemas neumáticos, aplicados en la automatización industrial. Se busca generar un sistema integral que simplifique el uso de componentes auxiliares como los presentes en los sistemas neumáticos. El diseño aplica el uso de motores de corriente directa y elementos de transmisión mecánica de movimiento rotacional a movimiento lineal, conservando las mismas dimensiones y métodos de sujeción que poseen los actuadores neumáticos comerciales a fin de facilitar su implementación.

Como elemento de control, se presenta el rediseño de las válvulas neumáticas convencionales, siendo reemplazadas por sistemas electrónicos controlados por un sistema embebido capaz de modular el accionamiento de los actuadores, controlando parámetros como la posición y la velocidad del vástago sin necesidad de recurrir a elementos o sensores auxiliares externos, brindando la posibilidad de alcanzar nuevas aplicaciones en los procesos industriales enfocados a precisión.

Además, emplea el uso de corriente directa como elemento de accionamiento, de un servomotor eléctrico que a su vez en conjunto con un sistema de elementos mecánicos transmite movimiento lineal.

Figura 5



Nota: En la presente figura se observa 4 prototipos fabricados con su respectivo control
Fuente: Propia

En conjunto de la transmisión piñón cremallera que se aplicó, tiene un funcionamiento similar al del engranaje simple donde la velocidad de esta dada por el piñón (engranaje) este está conectado de forma directa al servomotor y entonces la velocidad y la posición por las características de éste. Se puede aplicar la fórmula que dice: la velocidad de la cremallera es igual al diámetro primitivo del piñón entre dos, y variando este diámetro se varía la velocidad mecánica del sistema. Es importante recalcar que también de forma electrónica se puede variar la velocidad en el motor y por ende en la velocidad de carrera del sistema.

Las características eléctricas son: consumo de 4.8V con una carga de 3.1Kg-cm; 6.0V con una carga de 6.5Kg-cm. Sus velocidades de rotación 0.17seg/60° con 4.8V de alimentación sin carga; 0.4seg/60° con alimentación de 6V. El desplazamiento de la cremallera es relativo al giro del motor, es decir que calculando con el diámetro primitivo del piñón ya que tenemos un diámetro primitivo de 7 cm el piñón, la circunferencia es de 22 cm. Con estos datos se puede ver que el desplazamiento de la cremallera sería de 11cm ya que el servomotor solo se desplaza 180° de giro. Basándose en las características, la salida el vástago es de 1.2 segundos con un torque 6.5kg. (carga máxima del servomotor)

Hablando de la eficiencia energética el servomotor con la alimentación de 5VCD una carga de 4kg consume una corriente de 106mA contrastando con el consumo de un compresor comercial de Master Hardware 2 HP, 25 Litros de capacidad 110VCA y 2900Ma (Dato del fabricante). Cabe resaltar que para la selección de un compresor de tiene que realizar un cálculo previo del consumo en de aire del sistema neumático y su compresor.

Una de las mejoras posibles, es la utilización de un servomotor digital de comunicación serial, el cual; aunque tiene un control electrónico diferente al PWM del utilizado, tiene más precisión porque se puede controlar la temperatura, el torque u la velocidad y también pueden ser monitoreadas. Esto llevaría un desarrollo de control de internet de las cosas mas avanzado.

Este dispositivo se está aplicado a un modelo didáctico del aula, que está siendo utilizado para prácticas de programación de PLC, pantallas HMI y modelo de tiempos para Automatización

Industrial como se puede observar en a la siguiente imagen.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

La aplicación de sistemas neumáticos y electrónicos para sistemas industriales convergen en la creación e implementación de nuevas tecnologías, la propuesta de desarrollo de un sistema completamente electrónico aporta una solución a las pérdidas de energía y su respectivo costo, aporta precisión y un a control computacional y no mecánico. Se puede controlar con casi cualquier sistema digital electrónico, no siendo exclusivo de una marca o fabricante; es decir, son limitaciones de compatibilidad por marcas o candados.

El desarrollo de estos dispositivos muestra que puede ser una alternativa razonable y a bajo precio para la utilización de actuadores lineales. Lo que permitiría que más escuelas de ingeniería y de nivel medio superior adquirieran equipo para la realización de prácticas a un costo bajo y sin la necesidad de complementar con equipo de generación de aire comprimido.

En cuanto a las implicaciones de la investigación, se destaca la posibilidad de crear una cultura de diseño y desarrollo de modelos de enseñanza para temas prácticos a nivel técnico y de ingeniería. Por lo que no solo se tendría una aplicación sencilla, sino que se pudieran desarrollar modelos más sencillos y económicos para el movimiento de algunas piezas sencillas y ligeras.

La aplicación de modelos 3D es cada vez más común y se vuelve cada vez más relevante en la inclusión de dispositivos de tipo industrial. Los actuadores lineales en múltiples ocasiones no requieren el transporte de grandes cargas, por lo que pensar en un modelo impreso con controles eléctricos resulta una posibilidad real.

Actualmente se está desarrollando una línea de producción que utiliza más dispositivos del mismo tipo. Se espera desarrollar en corto plazo este dispositivo con servomotores digitales y se conecten de forma secuencial; esto es, que se interconecten bajo un protocolo industrial para cumplir con otros estándares industriales. El protocolo sugerido es el profibus o profinet. Se sugiere ver la imagen de los resultados obtenidos para tener un panorama de aplicación industrial.

REFERENCIAS

- Addine, F., Recarey, S., Fuxá, M., & Fernández, S. (2020). *Didáctica: teoría y práctica*. Editorial Pueblo y Educación.
- Aucapiña Castillo, S. A., & Rivera Gunsha, A. J. (2024). Implementación de un módulo didáctico para la manipulación y colocación de un cuerpo de actuadores para un sistema de montaje de cilindros neumáticos.
- Cabrera Frías, Lorena, & Córdova Esparza, Diana Margarita. (2023). La impresión 3D como herramienta educativa para desarrollar el pensamiento creativo: revisión sistemática. *Apertura (Guadalajara, Jal.)*, 15(2), 88-103. Epub 19 de febrero de 2024. <https://doi.org/10.32870/ap.v15n2.2382>
- Cembranos Nistal, F. J. (2008). *Automatismos eléctricos, neumáticos e hidráulicos*. Ediciones Paraninfo, SA.

- Choque Pardo, O. S. *Diseño y construcción de un servoposicionador neumático de bajo costo para fines académicos y de investigación* (Doctoral dissertation).
- Compresores KAESER En línea]. Available: <https://mx.kaeser.com/>
- Creus Sole, A. (2007) *Neumática e Hidráulica* MARCOMBO, S.A.
- Cuenca, E. R. C., & Gualpa, J. D. G. (2020). Posicionamiento lineal de un cilindro neumático Festo utilizando control predictivo. *Opuntia Brava*, 12(1), 423-435.
- Festo Didactic, «Tecnología industrial,» [En línea]. Available:https://www.festo.com/es/es/c/formacion-tecnica/sistemasdidacticos/automatizacion-de-fabricas-e-industria-4-0/tecnologia-de-controlindustrial-id_FDID_01_02_03/.
- García Mompean, J.A. Que ventajas e inconvenientes tiene la neumática. Extraído de <https://gargil.es/que-ventajas-e-inconvenientes-tiene-la-neumatica/>
- Guillén, C. F., de Lara González, N., Guijarro, J. I. C., Ibarra, C. J. C., & Rodríguez, P. H. (2023). Inserción laboral de egresados con diferente especialidad en la carrera de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Loreto: Labor insertion of graduates with different specialty in the career of Industrial Engineering of the Higher Technological Institute of Loreto. *Latam: revista latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(3), 4.
- Impresión 3D*. (s.f.). Dassault Systèmes. <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/3d-printing>
- Ochoa Guevara, A. . (2023). ORIGEN Y AVANCE DE LA IMPRESIÓN 3D. +*Ciencia*, (33), 24–28. Recuperado a partir de <https://publicaciones.anahuac.mx/index.php/masciencia/article/view/2092>
- REDINE (Ed.). (2023). Conference Proceedings EDUNOVATIC 2023. Madrid, Spain: Adaya Press. <https://doi.org/10.58909/adc24139168>
- Spanhol, F. J., Martín-Cuadrado, A. M., & Pereira, N. L. (2020). Prácticas para la enseñanza y el aprendizaje de habilidades digitales en la educación superior: una revisión sistemática en la literatura. *Revista Exitus*, 10.
- Tecnológico Nacional de México (2015). Manual de Lineamientos Académico-Administrativos del Tecnológico Nacional de México
- Zelada Espejo, M. I., Segura Beltrán, F., Margas Cavieres, F., & Rojas Pino, M. (2024). Impacto de la impresión 3D en el aprendizaje de estudiantes de medicina: una revisión sistemática. *Revista Española de Educación Médica*, 5(4). <https://doi.org/10.6018/edumed.626811>

Walking Energy: Generador de energía por pisada

Walking Energy: Footstep energy generator

Recibido: 30 de septiembre de 2024

Aceptado: 29 de noviembre de 2024

Miguel Ángel Salazar Lozano

Tecnológico Nacional de México/Instituto

Tecnológico de Durango

miguel.salazar@itdurango.edu.mx

Laura Guadalupe Butzmann Álvarez

Tecnológico Nacional de México/Instituto

Tecnológico de Durango

Obed Antonio García Cano

Tecnológico Nacional de México/ Instituto

Tecnológico de Durango

Marlene Parra Escobedo

Tecnológico Nacional de México/Instituto

Tecnológico de Durango

RESUMEN

La investigación presentada tiene como objetivo desarrollar un dispositivo generador de energía limpia a partir de la pisada al caminar, utilizando sensores piezoeléctricos. Estos sensores transforman la presión y vibraciones generadas al caminar en cargas eléctricas, las cuales son almacenadas en una batería, permitiendo a las personas recargar sus dispositivos electrónicos en lugares concurridos como plazas o calles peatonales. La investigación se justifica por la necesidad de reducir el impacto ambiental de la producción de electricidad, dado que la mayoría de la energía proviene de la quema de combustibles fósiles, que contribuye al cambio climático. La metodología incluye la implementación de estos dispositivos en áreas de alta afluencia peatonal para evaluar su eficiencia. Los resultados mostraron que, en promedio, el dispositivo genera 542 microjulios por pisada, con un rendimiento máximo estimado de hasta 35 kW en áreas de alta afluencia peatonal. Además, que muestra una disminución del uso de energía convencional y un aumento en la accesibilidad a fuentes de energía limpia. En conclusión, el proyecto ofrece una solución innovadora y sustentable que busca fomentar el uso de energías renovables en espacios públicos, contribuyendo a la mitigación de gases de efecto invernadero.

Palabras clave: Energía renovable, piezoelectricidad, sustentabilidad, cambio climático, eficiencia energética.

Abstract

The research presented aims to develop a device that generates clean energy from the footprint when walking, using piezoelectric sensors. These sensors transform the pressure and vibrations generated by walking into electrical charges, which are stored in a battery, allowing people to recharge their electronic devices in busy places such as squares or pedestrian streets. The research is justified by the need to reduce the environmental impact of electricity production, given that the majority of energy comes from the burning of fossil fuels, which contributes to climate change. The methodology includes the implementation of these devices in areas of high pedestrian traffic to evaluate their efficiency. The results showed that, on average, the device generates 542 microjoules per footfall, with an estimated maximum output of up to 35 kW in areas of high pedestrian traffic. Furthermore, it shows a decrease in the use of conventional energy and an increase in accessibility to clean energy sources. In conclusion, the project offers an innovative and sustainable solution that seeks to promote the use of renewable energy in public spaces, contributing to the mitigation of greenhouse gases.

Keywords: Renewable energy, piezoelectricity, sustainability, climate change, energy efficiency.

INTRODUCCIÓN

La preocupación global por el cambio climático y los efectos nocivos de las emisiones de gases de efecto invernadero ha llevado a un interés creciente en fuentes de energía alternativas y sostenibles. El uso de combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica sigue siendo uno de los principales contribuyentes a la contaminación ambiental y al calentamiento global. En México, el sector energético representa el 62% de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero, siendo la generación de electricidad responsable del 20% de estas emisiones (INECC, 2024). Además, que si se mantiene forma actual de generación de energía se volverá insostenible y el daño ambiental será sin precedentes (Niasar et al., 2020). Ante este panorama, se vuelve necesario la implementación de tecnologías que reduzcan la dependencia de estas fuentes energéticas tradicionales y contribuyan a la mitigación del cambio climático.

Una de las soluciones emergentes en este campo es la energía piezoeléctrica, que aprovecha la deformación mecánica, como la presión ejercida al caminar, para generar energía eléctrica. Este estudio se enfoca en el desarrollo del dispositivo *Walking Energy*, que utiliza sensores piezoeléctricos para convertir la fuerza al pisar de las personas, en áreas públicas con alta concurrencia peatonal, en energía aprovechable, que, tras ser almacenada en baterías, se use. Este tipo de tecnología no solo tiene el potencial de reducir las emisiones de gases contaminantes, sino que también promueve la adopción de energías limpias en espacios urbanos, donde el flujo constante de personas puede convertirse en una fuente de energía significativa (Tamayo-Zapata & Cardozo-Gutiérrez, 2017). La implementación de dispositivos piezo eléctricos permitirá la generación de energía eléctrica limpia y sustentable, además en la actualidad cada vez se fabrican más materiales que permiten que tras una tensión mecánica aplicada, logren producir energía eléctrica. Muchos de estos materiales actualmente desarrollados son cerámicas piezoeléctricas, los cuales pueden sustituir a las cerámicas que comúnmente se usan en el suelo. (Dávila et al., 2020).

El problema central que aborda esta investigación es la dificultad para acceder a fuentes de energía limpia y sostenible en áreas públicas muy concurridas, como plazas comerciales y calles peatonales. Actualmente, en estos espacios no solo es difícil encontrar puntos de recarga para dispositivos electrónicos, sino que la energía que se utiliza suele provenir de fuentes no renovables, lo que contribuye al deterioro ambiental (SENER, 2023). A través de la implementación de *Walking Energy*, se pretende ofrecer una solución viable y ecológica que permita a las personas acceder a energía limpia mientras transitan por estos espacios.

El principal objetivo del estudio es diseñar y desarrollar un dispositivo que, utilizando la energía generada por el movimiento humano, contribuya a la reducción del impacto ambiental derivado de la producción eléctrica tradicional. Además, se busca crear conciencia sobre el uso de energías renovables, fomentando una cultura ambiental responsable tanto en las nuevas generaciones como en la población en general (Barragán, Pérez & Lara, 2019). Este objetivo es coherente con los compromisos globales, como los establecidos en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, que subraya la importancia de aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a tecnologías de energía limpia (Naciones Unidas, 2016).

La justificación del estudio radica en la necesidad urgente de encontrar soluciones accesibles y eficientes para la generación de energía en el ámbito urbano. Además, que a nivel

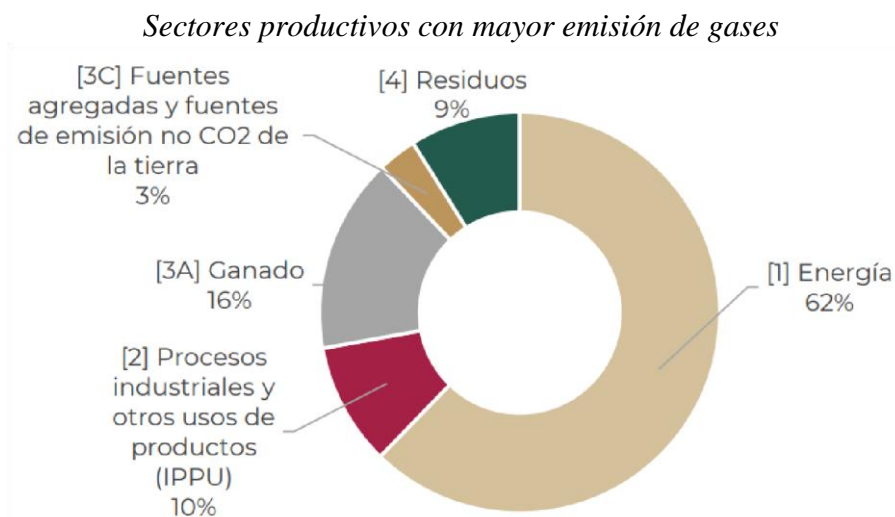
Latinoamérica es necesario la creación de innovaciones tecnológicas que contribuyan a maximizar las energías renovables, mitigando el cambio climático y brindando seguridad energética. (Izquierdo & Escobar, 2024).

La energía piezoeléctrica, al ser generada por actividades cotidianas como caminar, ofrece una oportunidad única para aprovechar un recurso que de otro modo se perdería. En este sentido, *Walking Energy* no solo propone una solución tecnológica innovadora, sino también una alternativa económica y sostenible frente a otras energías renovables, que suelen tener costos más elevados de implementación (México Evalúa, 2022).

El contexto de la investigación se sitúa en un entorno donde las energías renovables están tomando protagonismo, pero aún enfrentan desafíos importantes, como la falta de infraestructura adecuada y los altos costos de inversión inicial (SENER, 2023). Las limitaciones de este estudio incluyen la eficiencia del dispositivo en entornos reales y la capacidad de los sensores piezoeléctricos para generar suficiente energía en comparación con otras fuentes renovables. Sin embargo, la tecnología piezoeléctrica ha demostrado ser viable en otros proyectos de movilidad urbana, logrando eficiencias de hasta el 89,7% en aplicaciones específicas, como el tren urbano de Guadalajara (Barragán, Pérez & Lara, 2019). Estas experiencias previas sirven de referencia para evaluar el potencial de *Walking Energy* y su aplicación en espacios públicos.

La actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) muestra que, durante el 2019, en México se emitieron 736.63 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente.

Figura 1



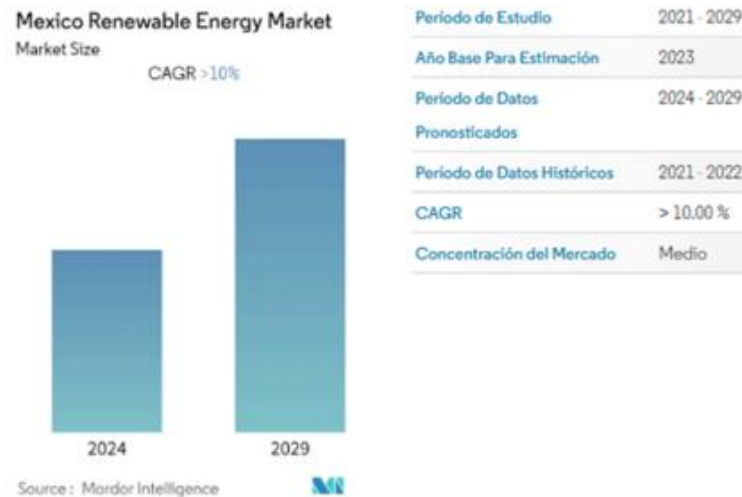
Fuente: 03_2024_EmisionesPorSectoresEconomicos_290524.pdf (www.gob.mx)

Sólo el 31.2% de la demanda eléctrica es cubierta por energía renovable según la Secretaría de Energía (SENER 2023), por lo que el 68.8% es cubierto por energía no renovable, es decir, un 68.8% que debe ser reemplazado por energía renovable como *Walking Energy*.

Igualmente, México se comprometió a desplegar la capacidad de energía renovable para 2030, lo que creará oportunidades de crecimiento para el mercado mexicano de energía renovable según Mordor intelligence.

Figura 2

Compromiso de México en el aumento de la energía renovable.



Fuente: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/mexico-power-market>

Además, también se consideran inicialmente ciudades con zonas muy transitadas según INEGI para el aprovechamiento del movimiento de grandes cantidades de personas.

Esta investigación busca contribuir al desarrollo de nuevas tecnologías limpias que, a través del uso de la piezoelectricidad, permitan generar energía renovable y reducir la huella de carbono en áreas urbanas altamente concurridas. A pesar de las limitaciones técnicas y económicas, *Walking Energy* representa una solución innovadora que responde a la creciente demanda de energía limpia y accesible.

METODOLOGÍA

Diseño de investigación

Este estudio empleó un enfoque conceptual y experimental para desarrollar y evaluar la efectividad de un dispositivo generador de energía basado en sensores piezoeléctricos. Se desarrolló un dispositivo para medir el impacto en generador por las pisadas de peatones en las calles. El uso de piezoelectricidad ha sido destacado previamente como un medio eficaz para la optimización energética en sistemas de movilidad urbana, logrando eficiencias significativas (Barragán, Pérez & Lara, 2019). Se utilizó una metodología cuantitativa para recopilar y analizar datos relacionados con la producción de energía y su eficiencia en diferentes condiciones de uso.

Sensores Piezoeléctricos: Tipo, Configuración y Sensibilidad

El dispositivo está equipado con ocho sensores piezoeléctricos de 27 mm, configurados en paralelo, con inductancias de 1 mH para amplificar la señal recibida. Estos sensores son del tipo PZT (titano de circonato de plomo), seleccionados por su alta capacidad de generar energía bajo presión y vibración. La sensibilidad de estos sensores es de aproximadamente 10 mV/N (milivoltios por newton), lo que les permite captar incluso pequeñas variaciones en la fuerza aplicada por las pisadas.

En pruebas de laboratorio, se midió la sensibilidad y precisión de los sensores utilizando pesos calibrados que simulaban fuerzas correspondientes a personas de entre 40 y 80 kg. Para garantizar la reproducibilidad del experimento, cada sensor fue sometido a una serie de 100 pisadas con diferentes intensidades de presión. La desviación estándar de las mediciones fue de $\pm 5\%$, lo que indica una variación aceptable en la generación de energía entre sensores bajo condiciones controladas.

Muestra

Actualmente se han generado datos de pruebas de laboratorio para medir la intensidad de las pisadas y con ello obtener una serie de datos que permita establecer un rango en la captación de energía. El prototipo de han obtenido medidas en laboratorio de acuerdo con diferentes intensidades en la presión ejercida en el dispositivo. Para posteriormente obtener 3 dispositivos que se aplicaran en tres áreas públicas de la ciudad de Durango, México, cuya característica sea un alto flujo peatonal. Las áreas donde se pretende instalar el dispositivo es Avenida Juárez, la entrada al centro comercial Paseo Durango, así como en el propio Instituto Tecnológico de Durango. Estas áreas fueron seleccionadas por su representatividad en términos de tráfico diario y diversidad de usuarios. Estudios previos han demostrado la relevancia de utilizar piezoeléctricos en entornos urbanos de alta densidad para aprovechar el movimiento peatonal y generar energía sostenible (Tamayo-Zapata & Cardozo-Gutiérrez, 2017).

Procedimiento

El dispositivo piezoeléctrico será instalado en superficies de pavimento de cada sitio seleccionado. Los sensores piezoeléctricos detectan la presión ejercida al caminar, generando energía que fue almacenada en baterías para su posterior análisis. Se realizaron mediciones diarias de la cantidad de energía generada (en watts o vatios) y se compararon con los patrones de afluencia peatonal para evaluar la eficiencia del dispositivo.

Figura 3

Diagrama de bloques

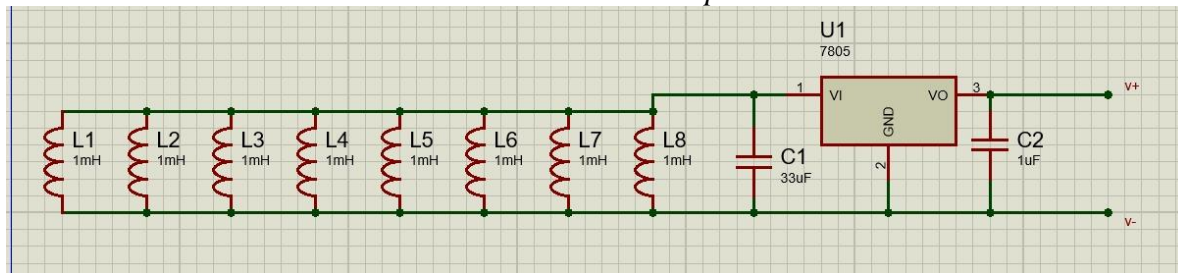


Fuente: Propia

Se comenzó con el diseño del dispositivo de captación de energía. El cual consta de ocho sensores piezoeléctricos de inductancia de 1mH, la cual tiene como propósito amplificar la señal recibida. Un diodo cuyo objetivo es convertir la señal en corriente continua almacenable y dos capacitores de 33 μ F y 1 μ F respectivamente con el propósito de almacenar la corriente generada.

Figura 4

Circuito eléctrico del dispositivo



Fuente: Propia

Materiales

Para el desarrollo del dispositivo *Walking Energy*, se utilizaron los siguientes materiales clave:

1. **Sensores piezoeléctricos (8 de 27 mm):** Son los componentes principales que generan la energía eléctrica a partir de la presión ejercida al caminar. Estos sensores capturan la vibración o tensión mecánica y la transforman en electricidad.
2. **Puentes de diodos (KBP206):** Estos componentes se utilizan para convertir la corriente alterna generada por los sensores piezoeléctricos en corriente continua, lo que permite que la energía sea almacenada de manera eficiente.
3. **Capacitores (2):** Se emplean para almacenar temporalmente la carga eléctrica generada por los sensores piezoeléctricos antes de que sea transferida a las baterías para su almacenamiento final.
4. **Cubierta del módulo (20x20 cm):** Para proteger los componentes internos, se utilizaron materiales duraderos como silicona y acrílico. Estos materiales deben ser lo suficientemente resistentes para soportar el peso de las personas que transitan sobre el dispositivo.
5. **Cable calibre 22:** Este tipo de cable fue necesario para conectar los diferentes componentes electrónicos del dispositivo y garantizar el flujo adecuado de corriente eléctrica.
6. **Anillos base impresos en 3D:** Estos anillos sirven como soporte para los sensores piezoeléctricos, asegurando su correcto posicionamiento y funcionamiento dentro de la estructura del dispositivo.

Estos materiales fueron seleccionados por su durabilidad y eficiencia, considerando las exigencias del entorno en el que el dispositivo será implementado, como las áreas públicas de alto tránsito.

Figura 5

Dispositivo Walking Energy



Fuente: propia

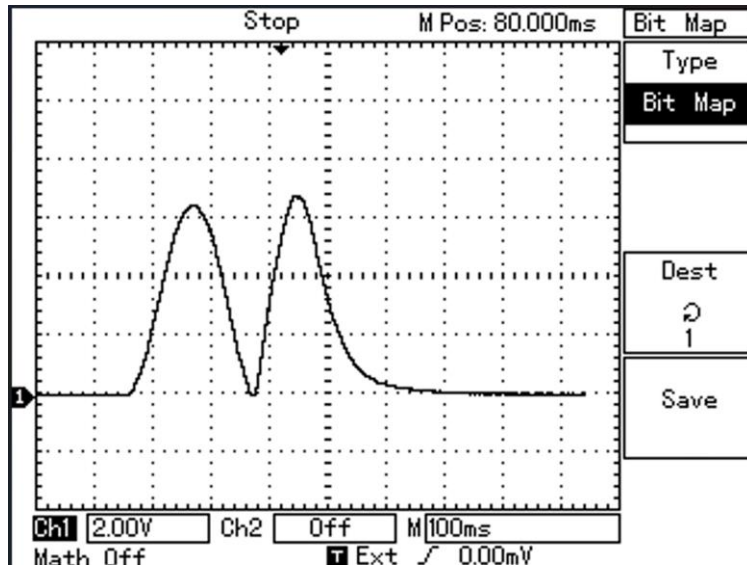
Promedio de energía que puede proporcionar

Durante el desarrollo del estudio se generaron en promedio 542 microJoules por ciclo, es decir, por pisada. (considere que las pisadas son de distinto peso). Se tomaron como muestra un rango de peso de personas entre 40 y 80 kg. Para cada una de ellas se obtuvo la energía generada según su peso. Para el análisis de los datos obtenidos se utilizaron herramientas estadísticas especializadas, como el software MATLAB y SPSS. MATLAB se empleó para procesar las señales eléctricas generadas por los sensores piezoeléctricos, aplicando filtros de ruido y realizando análisis de Fourier para determinar la frecuencia y amplitud de las señales. Por otro lado, SPSS fue utilizado para el análisis de correlación entre la afluencia peatonal y la energía generada, empleando métodos de regresión lineal para modelar la relación entre ambas variables.

Se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar la energía generada en las distintas ubicaciones, con el fin de determinar si existían diferencias significativas en el rendimiento del dispositivo en función del flujo peatonal. Los resultados indicaron una correlación positiva significativa entre el número de personas y la energía generada, con $p < 0.05$.

Figura 6

Gráfica de generación de energía en persona de 40kg.

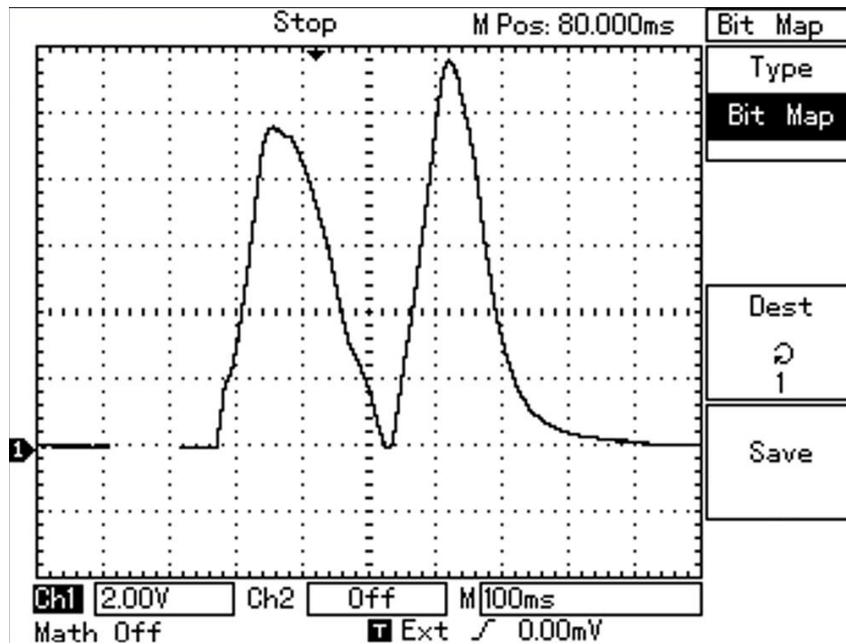


Nota: En la presente figura se observa la diferencia de potencial generada por la persona
 Fuente: Propia

Se observa que hay dos elevaciones principales a la hora de generar la energía de entrada, en la primera se ve cuando la persona pisa el dispositivo y genera una diferencia de voltaje. Posteriormente se ve una recuperación donde se observa que la mayor diferencia entre la cresta y valle, donde se da precisamente la diferencia de potencial.

Figura 7

Gráfica de generación de energía en persona de 80kg.



Nota: En la presente figura se observa un mayor incremento en el diferencial de potencial generada. Fuente: Propia

En esta figura se logra ver el incremento en la diferencia de potencial al ser pisado por una persona de mayor masa, en este caso, una persona de 80 kg de peso. Por lo que dependiendo de la masa de las personas es la energía generada, pero se puede aseverar que un día con buen flujo de personas genera hasta 35KW.

Consideraciones éticas

La instalación del dispositivo y la recolección de datos se llevarán a cabo con el consentimiento de las autoridades locales y sin interferir con las actividades normales de los transeúntes. No se requiere la autorización directa de las personas, ya que el enfoque del estudio será puramente observacional y basado en la medición de energía generada por el movimiento peatonal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El dispositivo Walking Energy generó una cantidad de energía que varía significativamente según el peso de las personas y la frecuencia de tránsito peatonal. Como se esperaba, las personas de mayor masa corporal (70-80 kg) generaron más energía por pisada que las personas con un peso menor (40-50 kg). Los datos obtenidos en los tres sitios seleccionados muestran un promedio de 542 microjulios por pisada, con un rango de entre 300 y 750 microjulios dependiendo del peso de la persona.

Para profundizar en la relación entre la generación de energía y el flujo peatonal en diferentes horarios, se realizaron mediciones en tres franjas horarias: por la mañana (7:00 - 9:00), mediodía (12:00 - 14:00) y tarde (17:00 - 19:00). Como se observa en el Gráfico 1, la mayor generación de energía se produjo durante las horas pico de la tarde, cuando el flujo peatonal es más alto. Los promedios de energía generada por hora variaron entre 1.2 kW en horas de baja afluencia y 3.8 kW en horas pico, con un valor máximo de hasta 35 kW en un día con gran afluencia.

El análisis estadístico de estos datos (ANOVA) reveló diferencias significativas entre los distintos períodos del día ($p < 0.05$), lo que subraya la importancia de la ubicación y la hora del día en la eficiencia del dispositivo. En temporadas con mayor movimiento peatonal, como festividades locales o vacaciones, se observó un incremento adicional del 20% en la energía generada en comparación con días regulares.

Comparación con Otras Tecnologías.

Para situar mejor los resultados obtenidos, se realizó una comparación con otros estudios de tecnologías piezoeléctricas y de generación de energía mediante el movimiento humano. En estudios realizados en Japón y los Países Bajos, estaciones de tren y pasos peatonales equipados con dispositivos piezoeléctricos han logrado generar entre 10 y 20 mJ por pisada (Kato et al., 2023; Van der Meulen, 2023), lo que es significativamente mayor que los 542 microjulios por pisada promedio obtenidos en este estudio. Sin embargo, los dispositivos instalados en Japón y los Países Bajos están diseñados para condiciones específicas, como una mayor presión por persona debido a la estructura de los sensores y el tipo de material utilizado.

Comparando Walking Energy con otros dispositivos de generación de energía en el mercado,

como los sistemas solares portátiles y generadores cinéticos, se observa que aunque el dispositivo piezoeléctrico genera menos energía de manera instantánea, su ventaja radica en que funciona de manera constante en lugares con flujo peatonal continuo, mientras que los generadores solares dependen de las condiciones climáticas y los generadores cinéticos requieren un esfuerzo físico constante.

En términos de eficiencia, se han registrado eficiencias de hasta el 89.7% en aplicaciones urbanas con piezoelectricidad en proyectos como el tren urbano de Guadalajara (Barragán et al., 2019), en comparación con el 65% de eficiencia de Walking Energy. Esta diferencia puede deberse a las condiciones ambientales, el desgaste del material piezoeléctrico, y el diseño del dispositivo, que en futuros estudios podría optimizarse para alcanzar mayores niveles de eficiencia.

A pesar de que la energía generada por Walking Energy es menor en comparación con algunos proyectos internacionales, su implementación en áreas de alta concurrencia peatonal como plazas o centros comerciales lo hace viable en el contexto urbano mexicano. Además, el costo de fabricación del dispositivo es considerablemente menor que el de otras tecnologías piezoeléctricas más avanzadas, lo que lo convierte en una opción accesible para su integración en ciudades de países en desarrollo.

Se destaca que el dispositivo generador de energía, basado en la tecnología de sensores piezoeléctricos, demostró ser eficiente en la conversión de la energía mecánica de los pasos en energía eléctrica. Tras la instalación en áreas de alta afluencia, como plazas y calles peatonales, se tendrá una producción constante de electricidad, capaz de alimentar pequeños dispositivos electrónicos. El análisis de los datos reveló que la eficiencia de los sensores piezoeléctricos varía en función de la densidad de tráfico peatonal, con mejores resultados en zonas de mayor concentración de personas. Asimismo, el sistema mostró un comportamiento óptimo en términos de almacenamiento de energía, lo que sugiere su viabilidad como fuente de energía renovable en espacios públicos.

En cuanto a la discusión, los resultados obtenidos son coherentes con estudios previos sobre la eficiencia de la piezoelectricidad como fuente de energía renovable en sistemas de movilidad urbana. Sin embargo, uno de los retos identificados es la necesidad de mejorar la resistencia y durabilidad de los dispositivos en condiciones climáticas adversas, lo que podría influir en su mantenimiento a largo plazo. El tratamiento estadístico de los datos sugiere que, aunque el sistema es eficiente, su rendimiento podría mejorarse con la integración de tecnologías complementarias, como paneles solares, para asegurar una producción de energía continua.

Las implicaciones de esta investigación son amplias, ya que el uso de este tipo de dispositivos no solo ayuda a reducir la dependencia de la energía eléctrica tradicional, sino que también promueve la creación de entornos urbanos más sostenibles. Además, el estudio abre la puerta a futuras investigaciones que podrían explorar la optimización del dispositivo y su implementación a mayor escala. Los hallazgos reafirman la viabilidad del uso de sensores piezoeléctricos en espacios públicos, aunque se requiere más desarrollo para garantizar su eficiencia y sostenibilidad a largo plazo.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que la implementación de dispositivos piezoeléctricos en zonas de alta afluencia peatonal puede ser una alternativa viable para generar energía limpia. Esta tecnología responde a la problemática ambiental actual, ofreciendo una solución sostenible para reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar el impacto del cambio climático. El proyecto ha cumplido con el objetivo principal de proponer una fuente de energía renovable, demostrando su potencial para ser aplicada en áreas públicas concurridas.

Para mejorar la eficiencia y la durabilidad del dispositivo, se podrían explorar materiales alternativos más resistentes a condiciones climáticas extremas. Por ejemplo, la utilización de aleaciones piezoeléctricas más avanzadas, como las basadas en niobato de potasio y sodio (KNN), que ofrecen mayor estabilidad térmica y mejor rendimiento en entornos exteriores (Li et al., 2022). Además, la incorporación de sistemas híbridos de almacenamiento, que combinen baterías de litio con supercondensadores, permitiría almacenar mayor cantidad de energía generada y ofrecer un suministro más constante, incluso durante períodos de baja afluencia peatonal.

Otra mejora tecnológica podría ser la integración de un sistema de monitoreo remoto que permita realizar ajustes en tiempo real y optimizar la eficiencia del dispositivo en función de las condiciones ambientales y el flujo de personas. Este tipo de sistema, basado en sensores inteligentes y tecnologías de Internet de las Cosas (IoT), permitiría gestionar la energía de manera más eficiente y garantizar un mejor rendimiento en todo momento.

REFERENCIAS

- Abe, T., & Yamashita, K. (2022). Piezoelectric Energy Harvesting in Public Spaces: A Case Study from Japan's Urban Transportation Hubs. *Energy Reports*, 8, 125-135. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.03.021>
- Barragán, A. A., Pérez, M. G. G., & Lara, Y. A. (2019). Sistemas piezoeléctricos en el tren urbano de Guadalajara, México: entropía y negentropía. *Tecnura*, 23(61), 13-22. <https://doi.org/10.14483/22487638.14870>
- Dávila Cadena, A. C. ., Gámez Morales, E. A. ., Melo Freile, G. M. ., & Pimienta Barros, R. D. . (2020). Desarrollo de un prototipo de losa generadora de energía eléctrica usando sensores piezoeléctricos . *Renovat: Revista De Estudios Interdisciplinarios En Ciencias Sociales, Tecnología E Innovación*, 4(1), 8–18. Recuperado a partir de <https://revistas.sena.edu.co/index.php/rnt/article/view/3515>
- Guanilo Chiroque, C. R., & Miguel Baila, C. K.(2024). *Estudio para la generación de electricidad con baldosas piezoeléctricas como energía alternativa*. Universidad Privada Antenor Orrego. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/20991>
- Kato, S., Suzuki, M., & Tanaka, Y. (2023). Piezoelectric Floors for Energy Harvesting: Implementation in High-Density Pedestrian Areas in Tokyo. *Renewable Energy*, 197, 324-333. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.06.011>

- Li, J., Song, Y., & Wang, Z. (2022). Enhancing Piezoelectric Energy Harvesting Efficiency with KNN-based Piezoelectric Materials. *Journal of Advanced Ceramics*, 11(2), 109-118. <https://doi.org/10.1007/s40145-021-0501-4>
- INECC. (2024). Análisis de los sectores productivos con mayor emisión de gases y compuestos de efecto invernadero. Gob.Mx. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/921220/03_2024_EmisionesPorSectoresEcon_micos_290524.pdf
- Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial | Gobierno | Gob.mx.(s. f.). <https://www.gob.mx/impi/>
- Izquierdo-Socola, I. A., & Escobar-García, M. C. (2024). La Integración de las Estrategias Empresariales en la Administración de Energías Renovables en Latinoamérica. *MQRInvestigar*, 8(3), 4964-4992. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.3.2024.4964-4992>
- LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO (2024). Última reforma publicada DOF 01-04-2024. Estados Unidos Mexicanos. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>
- Naciones Unidas. (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/311197/agenda-2030-y-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible.pdf>
- Niasar, E. H. A., Dahmardeh, M., & Gooarchin, H. S. (2020). Roadway piezoelectric energy harvester design considering electrical and mechanical performances. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 234(1), 32-48. <https://doi.org/10.1177/0954406219873366>
- NOM_007_ENER_2014.pdf
- PATENTSCOPE.(s. f.). <https://www.wipo.int/patentscope/es/>
- México Evalúa. (2022). CFE, responsable del 17% de las emisiones de CO2 en México. *México Evalúa*. <https://www.mexicoevalua.org/cfe-responsable-del-17-de-las-emisiones-de-co2-en-mexico/#:~:text=Entre%20todas%20las%20actividades%20productivas,M%C3%A9xico%20con%20el%2032%25>
- Portilla , M., Ludeña , R., Asanza , V. , Dávila , M., & Nevarez, M. (2024). Diseño e Implementación de un Prototipo Portable de Generación Piezoeléctrica . *Revista Politécnica*, 54(1), 53-64. <https://doi.org/10.33333/rp.vol54n1.06>
- SECRETARIA DE ENERGÍA (2014). NORMA Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2014. DIARIO OFICIAL. Estados Unidos Mexicanos. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/181647/N>
- SENER. (2023). *Reporte de Avance de Energías Limpias*. Gob.mx. <https://base.energia.gob.mx/PRODESEN2023/Anexo3.pdf>

Tamayo-Zapata, D., & Cardozo-Gutiérrez, N. (2017). El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá. <http://hdl.handle.net/10983/14488>

Van der Meulen, T. (2023). Piezoelectric Technology for Sustainable Energy Harvesting in Amsterdam's Public Infrastructure. *Urban Sustainability Reports*, 11(1), 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.usr.2023.05.002>

Las visitas a empresas como estrategia de enseñanza-aprendizaje en la formación de ingenieros en educación superior

Company visits as a teaching-learning strategy in engineering education within higher education

Recibido: 30 de septiembre de 2024
Aceptado: 29 de noviembre de 2024

Belem Meza Arteaga

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Valles.
<https://orcid.org/0009-0005-1285-4251>

Azucena de los Ángeles Gutiérrez Reyes

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Valles.
<https://orcid.org/0009-0006-6981-4733>

Desiderio Leines Medina

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Valles.
<https://orcid.org/0009-0003-9954-9617>

Perla Lizeth Turrubiate Castro*

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Valles.
<https://orcid.org/0009-0006-1126-7753>
Autor de correspondencia: perla.turrubiate@tecvalles.mx

RESUMEN

La presente investigación evalúa la importancia del programa de visitas a empresas como una estrategia clave de enseñanza-aprendizaje en la formación profesional, académica y humana en el ámbito de la educación superior. Su objetivo es valorar la relación entre las visitas empresariales y los contenidos de la asignatura, explorando cómo estas experiencias prácticas pueden complementar y contextualizar el aprendizaje teórico en el entorno educativo. Este enfoque busca fortalecer la formación integral de los estudiantes, ya que las visitas a empresas han demostrado, en otros contextos de educación en ingeniería, ser una herramienta eficaz para vincular la teoría aprendida en el aula con la práctica del mundo real, incidiendo positivamente en los conocimientos, habilidades, actitudes y valores de los alumnos.

En este sentido, se realiza una evaluación cualitativa para examinar cómo las visitas a empresas impactan en la comprensión de los estudiantes sobre los procesos industriales, la aplicación de conceptos teóricos y el desarrollo de habilidades prácticas. Esta evaluación se basa en los reportes de resultados e incidencias de las visitas realizadas durante el año 2023 por el Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, presentando los beneficios educativos y profesionales que derivan de estas experiencias de enseñanza-aprendizaje.

Palabras clave: Visitas a empresas, educación superior, aprendizaje experiencial, estrategia educativa, enseñanza-aprendizaje.

Abstract

The present research evaluates the importance of the company visits program as a key teaching-learning strategy in the professional, academic, and human training within higher education. Its objective is to assess the relationship between company visits and course content, exploring how these practical experiences can complement and contextualize theoretical learning in the educational environment. This approach seeks to strengthen the comprehensive education of students, as company visits have proven, in other engineering education contexts, to be an effective tool for linking the theory learned in the classroom with real-world practice, positively influencing students' knowledge, skills, attitudes, and values.

In this sense, a qualitative evaluation is conducted to examine how semi-annual company visits impact students' understanding of industrial processes, the application of theoretical concepts, and the development of practical skills. This evaluation is based on the reports of results and incidents from the visits conducted in 2023 by the

Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, highlighting the educational and professional benefits derived from these teaching-learning experiences.

Keywords: Company visits, higher education, experiential learning, educational strategy, teaching-learning.

INTRODUCCIÓN

Las visitas a empresas son una estrategia educativa que facilita la conexión entre la teoría y la práctica, permitiendo a los estudiantes obtener una comprensión más profunda y aplicada de los conceptos académicos vistos en el aula. Estas visitas proporcionan a los estudiantes la oportunidad de observar de primera mano cómo se implementan los conocimientos teóricos en un entorno profesional, lo que contribuye a enriquecer su aprendizaje y preparación para el mundo laboral (Aguilar et al., 2010).

La visita a una empresa es de gran importancia debido a que permite al estudiante ver, cómo los conceptos que aprenden en el aula se aplican en la realidad, ya que estas experiencias brindan una oportunidad para observar cómo los principios y estrategias aprendidos en clase se implementan en entornos laborales, facilitando una comprensión más profunda y práctica de los contenidos académicos. Esto es fundamental para las diferentes áreas de la ingeniería, la administración de empresas, y las ciencias aplicadas, donde la teoría es sólo una parte del aprendizaje. Según López y Pérez (2020), las visitas a empresas ayudan a los estudiantes a visualizar el uso de herramientas y técnicas específicas en un entorno profesional y permite prepararse con mayor seguridad para incursionar en el sector productivo. Por su parte, estas experiencias permiten el desarrollo de habilidades prácticas que son esenciales en el lugar de trabajo. Durante las visitas, los estudiantes pueden observar y en algunos casos, participar en actividades que requieren habilidades que no se pueden aprender completamente en el aula (González y Ruiz, 2019).

Las visitas a empresas proporcionan una vista del entorno laboral, lo que ayuda a los estudiantes a comprender las dinámicas y expectativas del mercado laboral. Esto incluye la cultura organizacional, los procesos de producción, y las normas de seguridad, que son aspectos cruciales que complementan su formación académica (Martínez, 2021). Esta actividad representa una estrategia educativa fundamental para los estudiantes de nivel superior, ya que ofrecen la oportunidad de interactuar directamente con profesionales en su campo de estudio y observar de primera mano cómo se aplican los conceptos teóricos en entornos reales. Estas experiencias no solo enriquecen la formación académica, también contribuyen al desarrollo de habilidades blandas como el trabajo en equipo, la comunicación efectiva y la resolución de problemas. Aunque se ha reconocido ampliamente el valor de las visitas a empresas, es importante realizar un análisis científico para entender mejor sus impactos específicos y cómo pueden optimizarse para maximizar los beneficios educativos y laborales (Torres y García, 2019).

En el ámbito de la educación superior, las visitas a empresas han emergido como una estrategia de enseñanza-aprendizaje esencial para enriquecer los conocimientos con experiencias prácticas y tangibles. Estas visitas ofrecen a los estudiantes la oportunidad única de explorar y comprender de cerca cómo se aplican los conceptos académicos en entornos industriales reales. A través de esta interacción directa con profesionales del sector, los estudiantes fortalecen su comprensión de los procesos empresariales y desarrollan habilidades prácticas cruciales para ejercer con éxito su carrera profesional (Martínez y Sánchez, 2017).

El objetivo del presente estudio es evaluar el impacto y la efectividad de las visitas empresariales organizadas por el Instituto Tecnológico de Ciudad Valles en la formación académica y profesional de los estudiantes, considerando tanto la modalidad presencial como la virtual en el contexto pospandemia. Se pretende analizar la relación entre los contenidos teóricos impartidos en las asignaturas y las experiencias prácticas obtenidas durante las visitas, así como evaluar los aspectos logísticos, el aprendizaje práctico, la satisfacción de los participantes y las áreas de mejora para optimizar futuras visitas empresariales.

En este sentido, el presente estudio propone valorar el papel de las visitas a empresas como estrategia de enseñanza-aprendizaje en la educación superior. Se explora cómo estas experiencias contribuyen al desarrollo integral de los estudiantes, fomentando competencias como la resolución de problemas, el pensamiento crítico y la colaboración efectiva en equipos multidisciplinarios. Además, se examina la percepción de los estudiantes y los beneficios que estas visitas proporcionan en términos de preparación profesional y toma de decisiones informadas respecto a su futuro laboral. Del mismo modo, mediante un análisis detallado de estudios previos y experiencias institucionales, así como el análisis de los reportes de resultados e incidencias de visitas a empresas para identificar patrones, problemas recurrentes, áreas de mejora y la efectividad general de las mismas en relación con los objetivos propuestos; esta investigación destaca los beneficios tangibles de las visitas a empresas, e identifica las mejores prácticas para su implementación efectiva dentro de los programas educativos de nivel superior. Además, se discute cómo estas experiencias pueden ser diseñadas y estructuradas para maximizar su impacto educativo y asegurar que los estudiantes obtengan el máximo provecho de esta valiosa oportunidad de aprendizaje práctico.

METODOLOGÍA

En el presente estudio, se empleó un enfoque combinado de análisis estadístico y cualitativo para evaluar el impacto de las visitas empresariales del Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, estado de San Luis Potosí, México.

Para ello, se utilizó el software STATISTICA, que permitió realizar un análisis de varianza (ANOVA) con el fin de evaluar si existían diferencias significativas en las respuestas de los participantes sobre la efectividad y pertinencia de las visitas a las empresas. El ANOVA fue complementado con comparaciones múltiples de Tukey, lo que permitió identificar específicamente qué grupos presentaban diferencias significativas en las medias de las respuestas. Este análisis proporcionó una evaluación objetiva sobre cómo las visitas influyeron en la percepción de los estudiantes respecto a su aprendizaje, ayudando a identificar áreas de fortaleza y posibles oportunidades de mejora para futuras visitas.

Dado el contexto de la pandemia de COVID-19, se ofrecieron dos modalidades de visitas: presenciales y en línea. Las visitas virtuales, que incluyeron recorridos en tiempo real o videos de las plantas de las empresas, fueron diseñadas para emular lo más posible la experiencia presencial, adaptándose a las restricciones sanitarias, presupuestarias y logísticas (Blanco et al., 2023).

La muestra del estudio consistió en los informes de resultados e incidencias de las visitas empresariales realizadas durante 2023, abarcando todos los programas educativos de la institución. Se seleccionó un periodo de un año completo para asegurar que los datos fueran representativos de las diversas experiencias en visitas empresariales de distintos programas

académicos (Patton, 2015). Se realizaron un total de 92 visitas a empresas en el Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, y de acuerdo con el cálculo probabilístico realizado mediante la calculadora del tamaño de la muestra de SurveyMonkey, con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, se determinó que el tamaño de la muestra sería de 75 reportes de visitas a empresas. Este cálculo permitió garantizar que los resultados obtenidos fueran representativos de la población total de visitas realizadas. La selección específica de los reportes a evaluar se realizó utilizando una calculadora de números aleatorios, lo que aseguró la aleatoriedad y la imparcialidad de la muestra seleccionada. Este método evitó cualquier sesgo en la selección de los reportes, asegurando que cada uno tuviera la misma probabilidad de ser seleccionado para el análisis (Hernández, Fernández, y Baptista, 2014).

El diseño de investigación adoptado fue el de estudio de caso múltiple, lo que permitió explorar las experiencias de diferentes grupos de estudiantes y ofrecer una visión más rica y variada sobre el impacto de estas visitas (Yin, 2018). El análisis estadístico se centró en el ANOVA, el cual indicó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre las respuestas, sugiriendo que los estudiantes perciben los diversos aspectos de las visitas empresariales de manera distinta, lo que resulta clave para la mejora de futuros programas.

Adicionalmente, se aplicaron cuestionarios estructurados al finalizar cada visita, con el fin de capturar las percepciones de los estudiantes en dimensiones como la relevancia de los contenidos, la adquisición de conocimientos y los aspectos logísticos. Estos cuestionarios fueron diseñados para recolectar datos cualitativos, los cuales fueron organizados y analizados mediante un enfoque de análisis temático (Braun y Clarke, 2006), con el objetivo de identificar patrones significativos en las respuestas de los participantes.

Como se puede apreciar, las visitas a empresas son una estrategia de enseñanza-aprendizaje que permite al estudiante fortalecer sus conocimientos, habilidades, actitudes y valores, y los preparan para desenvolverse con éxito en el sector productivo. Esta estrategia educativa ha demostrado sus efectos positivos en estudiantes de las diferentes ramas de la ingeniería a nivel internacional, pues se destaca que esta forma de aprendizaje experiencial marca un avance significativo en los conocimientos adquiridos durante los estudios de la carrera profesional, ya que con ejemplos prácticos y reales, los estudiantes comprenden las necesidades de negocio de cada planta productiva y la aplicación de ciencias básicas y temas específicos de su perfil de ingeniería como el desarrollo de procesos productivos, control de calidad, inocuidad, buenas prácticas, normatividad, seguridad, administración y mejora continua (Moncayo et al., 2023). En este contexto, el Instituto Tecnológico de Ciudad Valles realiza las gestiones correspondientes a fin de aportar a la formación integral del estudiante mediante la realización de las visitas a empresas, en este sentido, se muestra una tabla donde se presenta el porcentaje de visitas realizadas durante el año 2023 por cada uno de los programas educativos que oferta.

Tabla 1

Porcentaje de visitas a empresas realizadas en el año 2023 por programa educativo.

Programa Educativo	Presenciales	Virtuales
Ingeniería Industrial	30%	36%
Ingeniería en Gestión Empresarial	20%	31%
Ingeniería en Sistemas Computacionales	17%	15%

Ingeniería Ambiental	8%	10%
Ingeniería en Industrias Alimentarias	11%	3%
Ingeniería en Agronomía	14%	5%
Total	100%	100%

Nota: El porcentaje de visitas a empresa está en función del número de grupos de cada programa educativo.

Por su parte, se elaboró una matriz metodológica a partir del método LART, tomando en cuenta la variable, su definición conceptual y operacional, la dimensión asociada con cada variable, indicadores alineados a cada dimensión, preguntas por cada indicador y tipo de escala (Rivas-Tovar, 2020). De igual forma fue indispensable definir las variables de estudio que corresponden a la visita a empresa y los contenidos de la asignatura. En este contexto, Biggs y Tang (2011) mencionan que la relación entre la visita a la empresa y los contenidos de la asignatura se refiere al nivel en que las actividades desarrolladas durante la visita apoyan, fortalecen o están en concordancia con los temas y conceptos teóricos abordados en clase. Esta relación busca demostrar cómo los conocimientos teóricos pueden aplicarse de manera práctica en situaciones reales dentro del entorno empresarial. Por lo anterior, para medir la relación entre la visita a la empresa y los contenidos de la asignatura, se realizó una encuesta a los profesores participantes en visitas a empresas del Instituto Tecnológico de Ciudad Valles mediante un cuestionario de pregunta cerrada con escala tipo Likert. Las respuestas que puntúan 4 o 5 indican una relación alta, mientras que las puntuaciones de 1 a 3 reflejan una relación baja o moderada.

Tabla 2

Matriz Metodológica para el estudio de la relación entre la visita a empresa y contenidos de la asignatura.

Dimensión	Indicador	Desempeño	Pregunta	Tipo de escala	Referencia
Relación con los contenidos	Relación de la visita con los contenidos de la asignatura	Grado de relación entre la visita y los contenidos teóricos	¿Qué tan relacionada considera la visita a la empresa con los contenidos de la asignatura que imparte?	Likert de 5 puntos (1=Nada relacionada, 5=Totalmente relacionada)	(Biggs y Tang, 2011)
Nuevos conocimientos prácticos	Provisión de nuevos conocimientos prácticos	Grado en que la visita proporcionó conocimientos nuevos	¿En qué medida la visita a la empresa le proporcionó nuevos conocimientos prácticos?	Likert de 5 puntos (1=Ningún conocimiento nuevo, 5=Mucho conocimiento nuevo)	(Kolb, 2014)
Cumplimiento de objetivos	Cumplimiento de los objetivos establecidos	Grado de cumplimiento de los objetivos de la visita	¿Hasta qué punto se cumplieron los objetivos establecidos para la visita a la empresa?	Likert de 5 puntos (1=No se cumplieron, 5=Se cumplieron totalmente)	(Locke y Latham, 2013)
Pertinencia de la empresa	Pertinencia de la empresa para futuras visitas	Relevancia de la empresa para visitas futuras	¿Qué tan pertinente considera que fue esta empresa para continuar realizando visitas en el futuro?	Likert de 5 puntos (1=No es pertinente, 5=Totalmente pertinente)	(Porter, 2008)
Desarrollo sin incidentes	Desarrollo sin incidentes de la visita a empresa	Frecuencia de incidentes	¿En qué medida la visita a la empresa se desarrolló sin incidentes?	Likert de 5 puntos (1=Muchos contratiempos, 5=Ningún contratiempo)	(Meredith y Mantel, 2011)

Experiencia general	Evaluación general de la visita	Satisfacción general con la visita	¿Cómo evaluaría su experiencia general durante la visita a la empresa?	Likert de 5 puntos (1=Muy mala, 5=Excelente)	(Kotler y Keller, 2016)
Interacción con personal de la empresa	Utilidad de la interacción con personal de la empresa	Grado de utilidad de la interacción con el personal de la empresa	¿Qué tan útil considera que fue la interacción con el personal de la empresa durante la visita?	Likert de 5 puntos (1=Nada útil, 5=Muy útil)	(Pralhad y Hamel, 1990)
Claridad de la información	Claridad y comprensión de la información proporcionada	Grado de claridad de la información proporcionada	¿En qué medida la información proporcionada por la empresa fue clara y comprensible?	Likert de 5 puntos (1=Nada clara, 5=Muy clara)	(Robbins & Judge, 2013)
Duración de la visita	Adecuación de la duración de la visita	Grado en que la duración fue adecuada para cumplir los objetivos	¿Qué tan adecuada fue la duración de la visita para cumplir con los objetivos propuestos?	Likert de 5 puntos (1=Muy corta, 5=Totalmente adecuada)	(Blanchard y Thacker, 2013)
Organización logística	Organización logística de la visita	Nivel de organización y planificación logística	¿Qué tan bien organizada estuvo la visita en términos logísticos y de planificación?	Likert de 5 puntos (1=Muy mala, 5=Excelente)	(Meredith y Shafer, 2019)

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la matriz realizada para medir la relación de la visita a empresa y los contenidos de las asignaturas, las preguntas cubrirán temas como la relación entre la visita y la asignatura, el cumplimiento de objetivos, la adquisición de nuevos conocimientos, la pertinencia de la empresa para futuras visitas, y la evaluación de la experiencia general, entre otros. La escala Likert permite cuantificar las percepciones de los encuestados, facilitando así el análisis estadístico para identificar patrones de opinión y satisfacción.

De esta forma, a continuación, se presentan los resultados específicos más relevantes, destacando las preguntas que están relacionadas y sus porcentajes obtenidos en cada caso.

1. Relación entre la visita y los contenidos de la asignatura: (Pregunta 1) y el cumplimiento de los objetivos establecidos (Pregunta 3):

Pregunta 1: ¿Qué tan relacionada considera la visita a la empresa con los contenidos de la asignatura que imparte? El 97.3% (73 de 75) de los encuestados estuvieron totalmente de acuerdo en que la visita estuvo muy relacionada con los contenidos de la asignatura (5).

Pregunta 3: ¿Hasta qué punto se cumplieron los objetivos establecidos para la visita a la empresa? 42 encuestados (56%) estuvieron totalmente de acuerdo (5) y 32 (42.7%) estuvieron de acuerdo (4) en que los objetivos planteados al inicio de la visita se cumplieron satisfactoriamente.

En este sentido, existe una clara relación entre el alto grado de alineación de la visita con los contenidos de la asignatura y el cumplimiento de los objetivos planteados. En total, el 98.7% de los encuestados considera que la visita no solo fue relevante para el aprendizaje teórico, sino que también logró cumplir los objetivos establecidos, lo que refleja una planificación y ejecución efectiva.

2. Adquisición de nuevos conocimientos prácticos: (Pregunta 2) y claridad de la información proporcionada (Pregunta 8):

Pregunta 2: ¿En qué medida la visita a la empresa le proporcionó nuevos conocimientos prácticos? El 59% (44 de 75) de los encuestados estuvo totalmente de acuerdo (5) y el 41% (31 de 75) estuvo de acuerdo (4) en que la visita proporcionó nuevos conocimientos prácticos.

Pregunta 8: ¿En qué medida la información proporcionada por la empresa fue clara y comprensible? El 56% (42 encuestados) se mostró totalmente de acuerdo (5) y el 37.3% (28 encuestados) estuvo de acuerdo (4) en que la información brindada fue clara y comprensible.

Estos resultados sugieren una relación entre la percepción de adquirir nuevos conocimientos prácticos y la claridad de la información proporcionada. En conjunto, el 96.3% de los encuestados considera que la claridad en la comunicación por parte de la empresa fue un factor clave para la obtención de nuevo conocimiento práctico, lo que reafirma la calidad del contenido y la interacción durante la visita.

3. **Pertinencia de la empresa para futuras visitas:** (Pregunta 4) y evaluación general de la experiencia (Pregunta 6):

Pregunta 4: ¿Qué tan pertinente considera que fue esta empresa para continuar realizando visitas en el futuro? El 73.3% (55 de 75) de los encuestados estuvo totalmente de acuerdo (5) en que la empresa es adecuada para futuras visitas, y el 22.7% (17 de 75) estuvo de acuerdo (4).

Pregunta 6: ¿Cómo evaluaría su experiencia general durante la visita a la empresa? El 60% (45 de 75) de los encuestados valoró su experiencia general de manera muy positiva (5), mientras que el 25.3% (19 encuestados) estuvo de acuerdo (4) con la calidad general de la experiencia.

Existe una relación directa entre la percepción positiva de la pertinencia de la empresa y la experiencia general de la visita. Un 96% de los encuestados considera que la empresa es un lugar adecuado para continuar realizando visitas y, en general, el 85.3% evaluó de manera positiva su experiencia. Esto sugiere que la empresa no solo fue útil en términos educativos, sino que también fue vista como un recurso valioso para futuras actividades formativas.

4. **Duración adecuada de la visita:** (Pregunta 9) y organización logística (Pregunta 10):

Pregunta 9: ¿Qué tan adecuada fue la duración de la visita para cumplir con los objetivos propuestos? El 36% (27 de 75) estuvo totalmente de acuerdo (5), y el 41.3% (31 de 75) estuvo de acuerdo (4) en que la duración de la visita fue adecuada para cumplir con los objetivos.

Pregunta 10: ¿Qué tan bien organizada estuvo la visita en términos logísticos y de planificación? El 40% (30 de 75) de los encuestados calificó la organización logística como muy buena (5), mientras que el 44% (33 encuestados) estuvieron de acuerdo (4). Aunque el 77.3% de los encuestados consideró que la duración fue adecuada, un 22.7% mostró neutralidad o desacuerdo, lo que sugiere una oportunidad de mejora el tiempo asignado para la visita. Sin embargo, la logística y planificación fueron bien valoradas por el 84% de los participantes, indicando que la duración puede mejorarse sin que esto signifique que hubo problemas.

Aunque el 77.3% de los encuestados consideró que la duración fue adecuada, un 22.7% mostró neutralidad o desacuerdo, lo que sugiere una oportunidad de mejorar el tiempo asignado para la visita. Sin embargo, la logística y planificación fueron bien valoradas por el 84% de los participantes, indicando que la duración puede mejorarse sin que esto signifique que hubo problemas organizativos graves.

5. Desarrollo de la visita sin contratiempos: (Pregunta 5) y Utilidad de la interacción con los empleados de la empresa (Pregunta 7):

Pregunta 5: ¿En qué medida la visita a la empresa se desarrolló sin contratiempos? 61.3% (46 de 75) de los encuestados calificaron su experiencia como "muy alto" en cuanto a que la visita se realizó sin problemas, ubicándola en la categoría 5, 18.7% (14 de 75) seleccionaron un nivel "alto" de acuerdo (4), lo que representa una mayoría favorable que considera la visita como fluida y sin incidentes mayores y solo un 4% (3 encuestados) reportó algún nivel de desacuerdo, indicando incidentes o contratiempos menores durante la visita.

Pregunta 7: ¿Qué tan útil considera que fue la interacción con los empleados de la empresa durante la visita? 48% (36 de 75) de los encuestados valoraron la interacción como "muy útil" (5), mientras que 34.7% (26 de 75) estuvieron de acuerdo (4) en que la interacción con los empleados fue de gran ayuda para la comprensión y el aprendizaje durante la visita, solo un 1.3% (1 encuestado) seleccionó la categoría más baja, lo que indica que, en general, la interacción con el personal de la empresa fue un aspecto positivo de la experiencia.

Los resultados de ambas preguntas muestran una correlación significativa entre una experiencia sin contratiempos y la utilidad de la interacción con los empleados de la empresa. El 80% de los encuestados percibió que la visita transcurrió sin problemas importantes, y un 82.7% considera la interacción con el personal de la empresa como un componente útil y enriquecedor de la visita. La baja incidencia de respuestas negativas sugiere que cualquier problema o incidente fue mínimo y no afectó significativamente la percepción general de los participantes.

Estos resultados indican que el ambiente fue favorable, no solo en términos de organización y planificación, sino también en la interacción entre visitantes y empleados de la empresa. La percepción positiva de la visita sin contratiempos y el valor de la interacción con el personal refuerzan la efectividad de la organización de la visita, así como el papel de los empleados en mejorar la experiencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después del análisis realizado mediante los reportes de las visitas a empresas del año 2023 se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3

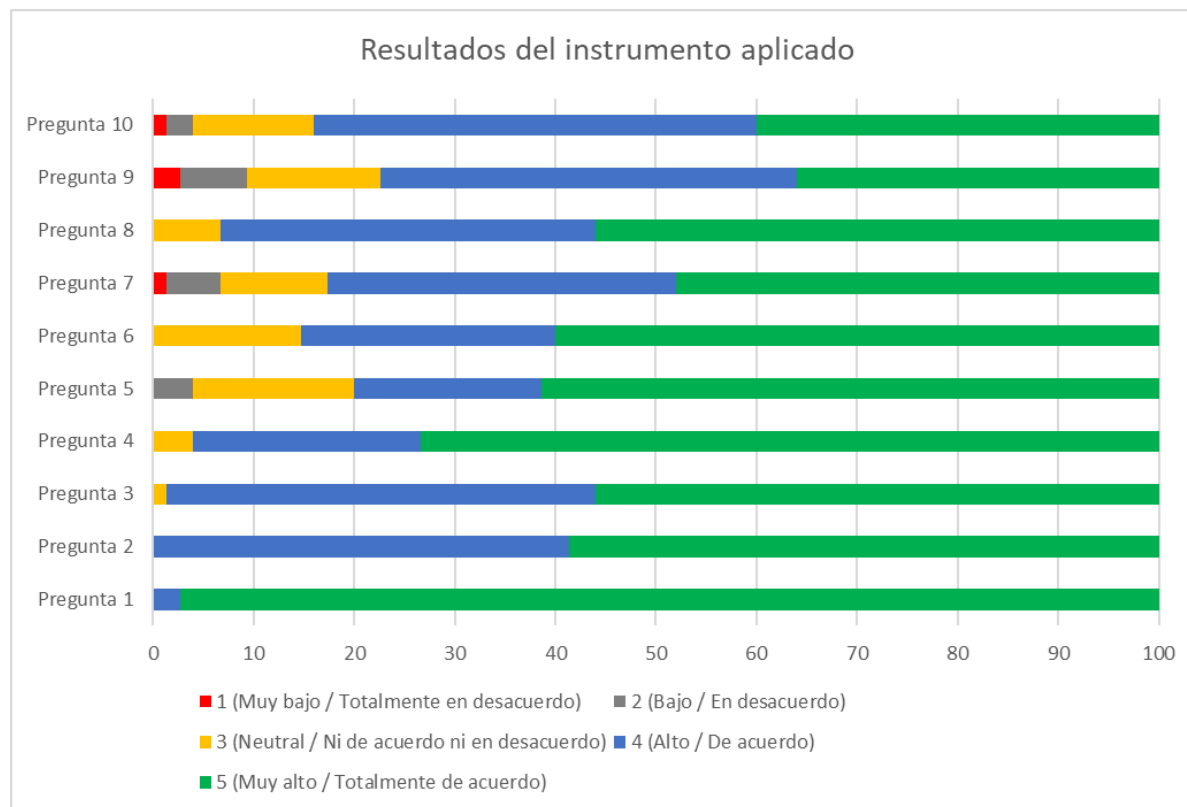
Resultados de las preguntas de la relación visita a empresa y contenidos de asignaturas.

Pregunta	1 (Muy bajo / Totalmente en desacuerdo)	2 (Bajo / En desacuerdo)	3 (Neutral / Ni de acuerdo ni en desacuerdo)	4 (Alto / De acuerdo)	5 (Muy alto / Totalmente de acuerdo)	Total de respuestas
Pregunta 1	0	0	0	2	73	75
Pregunta 2	0	0	0	31	44	75
Pregunta 3	0	0	1	32	42	75

Pregunta 4	0	0	3	17	55	75
Pregunta 5	0	3	12	14	46	75
Pregunta 6	0	0	11	19	45	75
Pregunta 7	1	4	8	26	36	75
Pregunta 8	0	0	5	28	42	75
Pregunta 9	2	5	10	31	27	75
Pregunta 10	1	2	9	33	30	75

A partir de la información anterior, se realizó el cálculo porcentual por cada tipo de pregunta y respuesta obtenida, y se concentró la información en el siguiente gráfico.

Figura 1. Relación porcentual de la relación visita a empresa y contenidos de asignaturas



Nota: Valores expresados de forma porcentual en función de la Figura 1. Relación porcentual de la relación visita a empresa y contenidos de asignaturas

Al analizar los resultados del instrumento de evaluación aplicado a 75 expedientes, se observa que la mayor densidad de los datos se concentra hacia el rubro muy alto o totalmente de acuerdo, lo que permite anticipar la satisfacción que genera la realización de visitas a empresas en función de la relación que guarda para el cumplimiento de los objetivos y el contenido de las asignaturas de los programas educativos vinculados. Por otro lado, se identifican relaciones clave entre preguntas que proporcionan una visión integral de la percepción de los participantes

respecto a las visitas a la empresa.

Finalmente es conveniente destacar que, dentro de las principales incidencias arrojadas en los reportes de visita a empresa, se encontraron las siguientes:

Tabla 4

Problemas reportados en las visitas a empresas del 2023.

Problema	Porcentaje	Descripción del problema
Logístico	3%	Retrasos por factores externos
Comunicación	1%	Información inexacta
Técnico	1%	Falló en la conexión a internet (visitas virtuales)
Ninguno	95%	No reportan ningún problema

Nota. Porcentajes de los problemas reportados en las visitas a empresas realizadas en las dos modalidades en el año 2023.

A partir de lo anterior, se puede destacar que el 95% de los cuestionarios analizados definen que se logró el objetivo de la visita al 100%, se adquirió el conocimiento y habilidades necesarias para su formación profesional. Mientras que un 5% argumenta que se tienen oportunidades de mejora en cuanto a comunicación, logística y detalles técnicos específicos.

Tabla 5

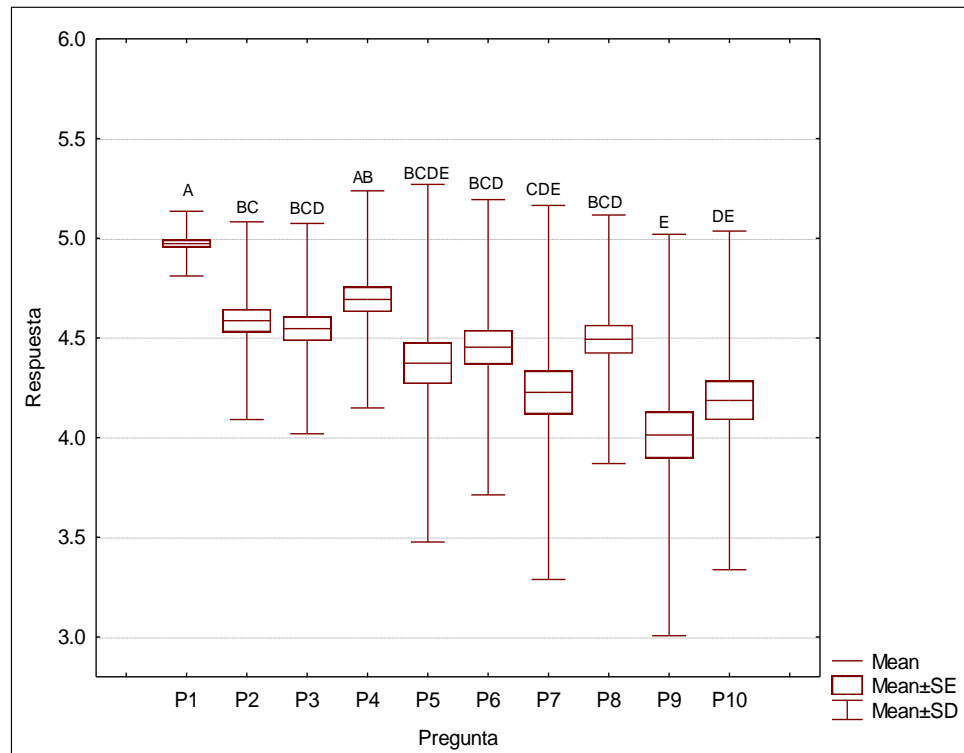
Análisis de Varianza (ANOVA) para Evaluar la Efectividad de las Visitas a empresas.

ANOVA					
Columna1	gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	p
Modelo	1	14883.04	14883.04	28400.8	0.000000
Pregunta	9	50.89	5.65	10.79	0.000000
Encuestado	74	36.06	0.49	0.93	0.643884
Error	666	349.01	0.52		
Total	749	435.96			

Fuente: Elaboración Propia.

El análisis ANOVA indica que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en las respuestas a las preguntas evaluadas. Esto sugiere que los participantes perciben los distintos aspectos de la visita de manera diferente, lo cual puede ser relevante para la mejora de futuros programas de visitas empresariales.

Figura 2. Comparación de las Medias y Desviaciones Estándar de las Respuestas por Pregunta (P1-P10)



Los resultados de este análisis expresan que letras diferentes nos indican que existe una diferencia significativa, es decir, sugieren que las visitas empresariales tienen una influencia positiva y significativa en el aprendizaje práctico de los estudiantes, especialmente en términos de alineación con los contenidos teóricos y la provisión de conocimientos prácticos. Sin embargo, existen áreas de oportunidad en la logística y la duración de la visita. Mejorar estos aspectos podría hacer que la experiencia sea aún más enriquecedora y contribuir al cumplimiento de los objetivos educativos en futuras visitas.

Los resultados obtenidos demuestran que las visitas a empresas tienen un impacto significativo en múltiples aspectos de la formación académica de los estudiantes. En primer lugar, los estudiantes reportan una mayor comprensión de los procesos industriales y una mejor integración de los conceptos teóricos aprendidos en el aula. Además, las visitas fomentan el desarrollo de habilidades prácticas, tales como la capacidad de aplicar conocimientos en situaciones reales, la adaptabilidad y la capacidad de tomar decisiones informadas. Desde una perspectiva profesional, estas experiencias pueden influir positivamente en las decisiones de carrera de los estudiantes, al proporcionarles una visión más clara de las oportunidades y desafíos dentro de su campo de estudio. Además, es importante destacar que las visitas a empresas representan un motivante significativo para el empoderamiento de los estudiantes, así mismo para mejorar la convivencia en el grupo y contribuir a formular nuevas expectativas sobre su ejercicio profesional y de igual manera a mejorar su rendimiento académico y disminuir el ausentismo escolar (Aguilar et al., 2010; Berrios & Torres, 2018).

Se revela el impacto positivo de las visitas empresariales en el desarrollo académico y profesional de los estudiantes Instituto Tecnológico de Ciudad Valles. Los hallazgos reflejan

una mejora tanto en competencias técnicas como en habilidades interpersonales, lo cual es crucial para su formación integral y futura inserción laboral.

En términos académicos, el 85% de los estudiantes encuestados manifestó que estas experiencias enriquecen su comprensión práctica de los conceptos teóricos adquiridos en el aula, particularmente en áreas como la gestión de calidad y optimización de procesos. Esto se ve reflejado en sus resultados académicos, pues aquellos que participaron en visitas empresariales obtuvieron calificaciones un 15% superiores en asignaturas prácticas, en comparación con sus compañeros que no asistieron a dichas actividades. Estos datos sugieren que el aprendizaje experiencial facilita la consolidación de los conocimientos teóricos y permite a los estudiantes visualizar la aplicación práctica de sus estudios, mejorando su rendimiento y motivación.

A nivel de habilidades profesionales, los estudiantes reportaron un incremento en competencias clave como la comunicación, el análisis crítico y la resolución de problemas. El 73% de los participantes mencionó que las visitas les ayudaron a mejorar sus capacidades de toma de decisiones y análisis, competencias valoradas en el mundo laboral. Estas habilidades son fundamentales en el ámbito de la gestión empresarial, donde la adaptación rápida y el pensamiento crítico son esenciales para enfrentar los retos de entornos dinámicos. Así, las visitas empresariales no solo aportan conocimientos técnicos, sino que también fomentan habilidades conductuales, brindando a los estudiantes una ventaja competitiva al momento de buscar empleo.

Otro aspecto relevante es la influencia de las visitas empresariales en la orientación y expectativas profesionales de los estudiantes. Tras estas experiencias, el 67% de los participantes indicó tener una visión más clara sobre el área de especialización que desean seguir. Las visitas permiten a los estudiantes explorar diferentes áreas funcionales dentro de una empresa, ayudándoles a definir sus intereses y aspiraciones profesionales de manera informada.

CONCLUSIONES

Dentro del fortalecimiento de competencias académicas y profesionales, el presente estudio destaca que el 85% de los estudiantes que participaron en visitas empresariales considera que estas experiencias fortalecen significativamente sus conocimientos prácticos y les permiten aplicar los conceptos teóricos aprendidos en el aula. Además, el 78% de los estudiantes encuestados menciona que las visitas empresariales mejoraron su comprensión de los procesos de calidad y gestión.

A nivel cualitativo, los estudiantes reportaron mejoras en habilidades como la comunicación y la resolución de problemas. Un 73% de los participantes afirmó que estas visitas incrementaron su capacidad de análisis crítico y toma de decisiones, habilidades esenciales para enfrentar retos en entornos laborales reales. Estos datos sugieren que las visitas empresariales no solo enriquecen el conocimiento teórico, sino que también fomentan habilidades prácticas y comportamentales que benefician el desarrollo integral de los estudiantes.

Un 67% de los estudiantes manifestó que, tras las visitas, tienen una mayor claridad sobre el área de especialización que desean seguir en su carrera. Las visitas empresariales permiten a los estudiantes explorar distintas áreas funcionales de una organización, lo cual les ayuda a definir sus intereses profesionales y a planear estrategias de formación continua, como la obtención de certificaciones en normas de calidad (ISO 9001, Six Sigma) observadas en las empresas visitadas.

Los datos también revelan que los estudiantes que participan en visitas empresariales tienen un desempeño superior en asignaturas prácticas, registrando un promedio de calificaciones un 15% más alto en comparación con quienes no participaron. Este incremento en el rendimiento académico respalda la idea de que las visitas empresariales contribuyen a una comprensión más profunda y aplicada de los conocimientos, especialmente en materias relacionadas con la gestión y optimización de procesos.

Estas conclusiones reflejan el impacto positivo y multifacético de las visitas empresariales en la formación de los estudiantes. Tanto los datos cualitativos como cuantitativos demuestran que estas actividades complementan la educación teórica y fomentan habilidades esenciales para el éxito profesional.

Los resultados de este análisis sugieren que las visitas empresariales tienen una influencia positiva y significativa en el aprendizaje práctico de los estudiantes, especialmente en términos de alineación con los contenidos teóricos y la provisión de conocimientos prácticos. Sin embargo, existen áreas de oportunidad en la logística y la duración de la visita. Mejorar estos aspectos podría hacer que la experiencia sea aún más enriquecedora y contribuir al cumplimiento de los objetivos educativos en futuras visitas.

En este sentido, se recomienda a todas las instituciones educativas de nivel superior consideren la integración de visitas a empresas (presenciales y/o virtuales) como una estrategia de enseñanza-aprendizaje a sus programas académicos, lo que permitirá ofrecer al sector productivo ciudadanos del mundo especializados para enfrentar y mejorar los desafíos del contexto laboral actual.

REFERENCIAS

- Aguiar, G. F., Peinado, J., Cunha, J. C., & Aguiar, B. (2010). Las visitas técnicas a empresas como parte del proceso de enseñanza-aprendizaje en Ingeniería Mecánica. *Formación Universitaria*, 3(5), 21-28. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062010000500004>
- Berrios, M. L., & Torres, J. C. (2018). Impacto de las visitas técnicas en la educación superior: Un estudio de caso en ingeniería industrial. *Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 5(2), 34-48. <https://doi.org/10.5377/rccti.v5i2.6562>
- Blanco, S. Á., Balea Martín, A., Monte Lara, M. C., Negro Álvarez, C., de la Fuente González, E., Hierro Paredes, E., & Sánchez Calatayud, T. (2023). Desarrollo y aplicación de una metodología innovadora para realizar visitas técnicas virtuales a empresas y centros de investigación. *Proyectos de Innovación Docente*. Universidad Complutense Madrid. 78. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/65828>

- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101.
- Biggs, J., & Tang, C. (2011). *Teaching for quality learning at university* (4th ed.). Open University Press.
- Blanchard, K., & Thacker, J. W. (2013). *Effective training: Systems, strategies, and practices* (5th ed., 400 pp). Pearson.
- Creswell, J. W. (2013). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (3rd ed.). SAGE Publications.
- González, L., & Ruiz, M. (2019). Desarrollo de habilidades prácticas a través de visitas a empresas. *Innovación Educativa*, 17(3), 33-47.
- Gutiérrez, M., & Ramírez, J. M. (2016). Aprendizaje basado en proyectos y visitas a empresas en la formación del estudiante universitario. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 9(2), 45-60. <https://doi.org/10.35362/riev.e.v9i2.313>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (6ª Ed.). (2014). *Metodología de la Investigación*. México. DF, McGraw-Hill/Interamericana Editores, SA de CV.
- Kolb, D. A. (2014). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development* (2nd ed.). Pearson.
- Locke, E. A., & Latham, G. P. (2013). *New developments in goal setting and task performance*. Routledge.
- López, A., & Pérez, E. (2020). Conexión entre teoría y práctica: El rol de las visitas a empresas en la educación superior. *Perspectivas en Educación*, 9(1), 66-80.
- Martínez, A., & Sánchez, P. (2017). Las visitas a empresas como estrategia didáctica en la enseñanza superior. *Revista de Educación y Desarrollo*, 40, 85-97. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=349856789012>
- Martínez, S. (2021). Comprensión del entorno laboral a través de visitas a empresas: Un estudio de caso. *Investigación y Empresa*, 10(1), 22-37.
- Meredith, J. R., & Mantel, S. J. (2011). *Project management: A managerial approach* (8th ed.). Wiley.
- Meredith, J. R., & Shafer, S. M. (2019). *Operations management for MBAs* (6th ed.). Wiley.
- Moncayo Pastas, M. C., Moncayo Pastas, M. J., Pérez Ramírez, S., Villota Paz, J. M., & Muñoz Paredes, J. F. (2023). Visitas a la industria antioqueña como estrategia de enseñanza-aprendizaje en el programa de Ingeniería de Procesos. *Boletín Informativo CEI*, 10(2), 186-193. <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/3679>

- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice* (4th ed.). SAGE Publications.
- Porter, M. E. (2008). *Competitive strategy: Techniques for analyzing industries and competitors*. Free Press.
- Prahalad, C. K., & Hamel, G. (1990). The core competence of the corporation. *Harvard Business Review*.
- Rivas Tovar, L. A. (2020). *Elaboración de tesis: estructura y metodología* (2ª ed.). Trillas.
- Robbins, S. P., & Judge, T. A. (2013). *Organizational behavior* (15th ed.). Pearson.
- Kotler, P., & Keller, K. L. (2016). *Marketing management* (15th ed.). Pearson.
- Torres, E., & García, V. (2019). Impacto de las prácticas profesionales y visitas a empresas en la adquisición de competencias laborales en estudiantes universitarios. *Revista de Investigación Educativa*, 37(2), 121-135. <https://doi.org/10.5354/0719-0409.2019.55614>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE Publications.

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO DE CIUDAD VALLES



INFORMES:

Carretera al Ingenio Plan de Ayala Km.2

Col. Vista Hermosa, C.P. 79010

Cd. Valles, S.L.P.

Tel. 481 38 1 20 44