

TRANSVERSALIDAD CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Volumen 9, Número 1 | enero-junio 2025

ISSN:2448-895X

Revista de la Academia Tamaulipeca de Investigación Científica y Tecnológica

35
Aniversario





Transversalidad Científica y Tecnológica
Volumen 9, Número 1
2025

CONSEJO EDITORIAL

Dr. Fabio Chalé Lara
Dr. Ricardo García Alamilla
Mtra. Carla Patricia Sandoval Galiana
Dr. Rogelio Ortega Izaguirre
Dr. Ulises Páramo García
Dr. Josué Francisco Pérez Sánchez

COORDINACIÓN EDITORIAL

Mtra. Carla Patricia Sandoval Galiana

DISEÑO EDITORIAL

Dr. Josué Francisco Pérez Sánchez

Transversalidad Científica y Tecnológica, año 9, No. 1, enero-junio 2025, es una publicación semestral editada por la Academia Tamaulipeca de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., Convento de Acolman #136 Fracc. Campanario Residencial Altamira, Tamaulipas, México, C.P. 89607, atictac.official@gmail.com. Editor Responsable: Dr. Josué Francisco Pérez Sánchez. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2024-072513322800-102, ISSN: 2448-895X, otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Número de certificado de Licitud de Título y Contenido: 17705. Imprenta: GROPE, Calle Río Álamo 2571, El Rosario, Guadalajara, Jalisco, C.P. 44890. Distribuidor: Academia Tamaulipeca de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

Los artículos publicados son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la opinión de la ATICTAC. El material publicado en esta revista puede reproducirse total o parcialmente siempre y cuando cuente con la autorización extendida por escrito de los autores de este y se mencione la fuente original.

PRÓLOGO

Esta revista es publicada por la Academia Tamaulipeca de
Investigación Científica y Tecnológica, A.C. (ATICTAC)



Academia Tamaulipeca de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

CONTENIDO

	Página
Características y expectativas de los profesionales de hoy en el sur de Tamaulipas	1
Implementación de una estrategia de eliminación de armónicos para un convertidor modular multinivel monofásico	13
Interfaz gráfica remota para el análisis de sistema solar fotovoltaico con IoT	23
Comparación de la degradabilidad de productos desechables biodegradables en condiciones de composta y vermicomposta	32

Características y expectativas de los profesionales de hoy en el sur de Tamaulipas

Maldonado Soto Otilia Georgina, Soto Hernández Ana María*, Camero Berrones Rosa Gabriela, Reyes Méndez Victoriano

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Juventino Rosas 114, Col. Los Mangos, Cd. Madero, Tamaulipas, C.P. 89440 México.

*Autor de correspondencia: ana.sh@cdmadero.tecnm.mx

RESUMEN

El mundo cambia continuamente, la sociedad y sus costumbres. A más de 20 años del inicio del siglo XXI, las empresas e instituciones educativas se cuestionan si están evolucionando juntos. La crisis del Covid-19 transformó perspectivas, prioridades y modelos en menos de cuatro años. Los últimos *baby boomer* en el mundo laboral comenzaron a jubilarse, la generación X tomó las riendas de las empresas, los *millennial* intentan dominar los mandos medios y la generación Z comienza a confrontarse con la generación X, como sus antecesores. Se presentan hallazgos de una investigación exploratoria, con enfoque cualitativo, realizada en páginas web especializadas y entrevistando a cinco personas responsables de contratar y evaluar personal profesional joven durante 2024. El objetivo es identificar cambios ocurridos en el sur de Tamaulipas sobre actitudes y desempeño de los profesionales jóvenes en el ambiente laboral. Entre los resultados sobresalen la preponderancia de la salud mental cuando se trata de elegir o quedarse en un trabajo. Para las empresas, proporcionar buen ambiente laboral y un salario emocional forma parte de la oferta a los nuevos profesionistas. Las instituciones educativas deben conocer las características de estas generaciones, para conformar un currículum que soporte a los estudiantes en su formación.

Palabras clave: **generación Z, millennials, profesionales, egresados, salud mental**

ABSTRACT

The world, society, and its customs are constantly changing. More than 20 years into the 21st century, businesses and educational institutions are questioning whether they are evolving together. The COVID-19 crisis transformed perspectives, priorities, and models in less than four years. As the last baby boomers in the workforce began to retire, Generation X took the reins of companies, millennials are trying to dominate middle management, and Generation Z is starting to confront the challenges faced by its predecessors, just like Generation X. The findings are presented from an exploratory, qualitative research study conducted on specialized websites and interviewing five individuals responsible for hiring and evaluating young professionals during 2024. The objective is to identify changes that have occurred in southern Tamaulipas regarding the attitudes and performance of young



professionals in the workplace. Among the results, the prevalence of mental health stands out when it comes to choosing or staying in a job. For companies, providing a good work environment and an emotional salary are part of the offer to new professionals. Educational institutions must understand the characteristics of these generations to create a curriculum that supports students in their education.

Key words: **Generation Z, millennials, professionals, undergraduates, mental health**

1. Introducción

El mundo cambia continuamente, y con ello, la sociedad y sus costumbres. A más de 20 años del inicio del siglo XXI surge la duda si las empresas, las instituciones educativas y los profesionistas jóvenes están preparados para evolucionar juntos. La última crisis, la del Covid-19, vino a transformar perspectivas, prioridades y modelos, todo en menos de cuatro años. Los últimos *baby boomer* en el mundo laboral comienzan a jubilarse, la generación X toma las riendas de las empresas, los *millennial* intentan dominar los mandos medios y la generación Z comienza a confrontar con la generación X como en su momento los *millennial* hicieron con los *baby boomer*.

La pandemia del Covid-19 en medio del auge tecnológico y su crecimiento exponencial, vino a detonar problemáticas inusitadas, tanto en el sector económico como en el sector educativo. Los modelos educativos en las instituciones de educación superior se quedaron atrás a una velocidad asombrosa. Hoy, apenas y se revisa la utilidad del ChatGPT cuando ya hay muchos más desarrollos de la inteligencia artificial generativa. Y así con los planes y programas de estudio, ya que el surgimiento de carreras novedosas como la ingeniería en semiconductores o ciberseguridad, tienen actualizaciones de

un año a otro principalmente por los avances tecnológicos.

La omnipresencia de los dispositivos y los sistemas tecnológicos en todos los aspectos de la vida tiene a todos alertas y extasiados, dispersos; de manera que la frecuencia en las necesidades de atención psicológica derivados de la salud mental ha vuelto necesaria la Norma NOM-035-STPS-2018 para cuidar a los trabajadores sobre los factores de riesgo psicosocial en el trabajo.

Por ello, se han estado actualizando en cada institución, en cada aula, en cada esfuerzo personal y colaborativo en los espacios de la enseñanza y el aprendizaje tanto los módulos de especialidad como los programas de estudio, de acuerdo con la vocación de la región, o la demanda que perciben en los consejos de vinculación. Los nuevos programas de ingeniería en las mismas circunstancias, hasta pareciera que se generan a destiempo como la ingeniería petrolera o la de semiconductores.

Con este trabajo se busca hacer conciencia sobre la preparación para el cambio generacional en el ámbito laboral, y para que las instituciones educativas mantengan una vinculación estrecha con el sector productivo, con la intención de

retroalimentarse continuamente, seguir vigentes y dar respuesta a las necesidades del entorno. Por su parte, las instituciones de educación superior deben conocer perfectamente las características de las generaciones prevalecientes, ya que, para atender las necesidades del siglo XXI, se deben desarrollar habilidades del siglo XXI.

2. Materiales y métodos

Este trabajo es producto de una investigación exploratoria, cualitativa y transversal [1] realizada durante el segundo semestre de 2024 y el primero de 2025. Se comenzó a partir de una revisión curricular de módulos de especialidad de las ingenierías que se imparten en el Tecnológico Nacional de México, campus Ciudad Madero, Tamaulipas.

Se establecieron lineamientos en cuanto al contenido de los programas de estudio y su pertinencia; sin embargo, también se recibieron peticiones de los empleadores sobre la necesidad de fortalecer las habilidades blandas de los egresados.

A partir de lo anterior, se investigaron las características de las generaciones que conviven en el sector productivo en 2024. Posteriormente, se realizó una investigación documental sobre el desempeño y la problemática que enfrentan las empresas con sus trabajadores. Se identificaron reportes de empresas internacionales que entrevistan a reclutadores de personal en el mundo, pero que incluyera América Latina y México. Así también, se identificaron publicaciones de analistas y especialistas

que han identificado conductas sistemáticas en diferentes medios laborales y que han visibilizado la situación de los profesionales jóvenes y su relación con las empresas.

Con ello, se elaboró una guía para una entrevista estructurada con cinco personas responsables de reclutar profesionales recién egresados, o que son enlaces de instituciones de educación superior con las empresas que contratan recién egresados. Así mismo, se investigó el perfil de egreso vigente de cinco diferentes programas de ingeniería en cinco instituciones públicas de México, a través de su portal web oficial.

Finalmente, con este trabajo se vierte la necesidad de identificar áreas de oportunidad urgentes en la formación de ingenieros, sobre todo en la dimensión actitudinal, que orienten la generación de una estrategia institucional para fortalecer el perfil del egresado.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización generacional

En 2024 se encontraban laborando en los diferentes sectores económicos personas de cuatro diferentes generaciones. De acuerdo con estudios de BBVA [2] y de Iberdrola [3], las características son: 1) los nacidos de 1946 a 1964 son llamados *baby boomers*, que vienen de una cultura del esfuerzo y el sacrificio, son fieles y se acostumbraron a trabajar muchos años en la misma empresa, pero que han debido adaptarse a las nuevas tecnologías, por lo cual también se les conoce como inmigrantes digitales; 2) la generación X, nacida de 1965 a 1980, es ambiciosa, por

lo cual son personas flexibles e independientes, pero se adaptaron con facilidad al internet y el desarrollo tecnológico, saben trabajar en equipo y fomentan relaciones laborales de confianza; 3) a los nacidos de 1981 a 1996 se les denomina *millennial* o generación Y, nacieron en una época analógica y migraron al mundo digital, por lo que se les exigió una mayor preparación en el uso de la tecnología, son emprendedores, tolerantes a la frustración y rápidamente adaptativos; 4) la generación Z, gen Z o *centennials*, es nacida de 1997 a 2010 y son los más jóvenes en el mercado laboral, son nativos digitales, viven inmersos en internet, tienen problemas de concentración, son autodidactas, consumidores exigentes, pero creativos, flexibles, multitarea, prefieren el trabajo a distancia, pero no son tan fáciles de fidelizar, son innovadores y pragmáticos, desean obtener todo de forma inmediata, su estilo de vida está regido por los llamados *influencers* y ocuparán los puestos de trabajo que no existían antes.

Sin embargo, también se distinguen las dos últimas generaciones, Z y *millennial*, por su sensibilidad social y ambiental. De acuerdo con un estudio de *Bank of America* [4], los *millennial* representan la mitad de la fuerza laboral y la generación Z la tercera parte, por lo cual tienen el poder económico mayoritario. Son personas que se involucran más en organizaciones sin fines de lucro y mostraron su solidaridad económica durante la pandemia. Ambas generaciones juntas representan, por

ejemplo, más de la mitad de la población estadounidense.

En el aspecto del consumo, estas dos últimas generaciones tienden a elegir productos que preserven el medio ambiente. De acuerdo con un informe de Mercado Libre [5] para América Latina el consumo en línea de productos de este tipo creció en un 50% con respecto a los años 2021 y 2022 para la gen Z, y 40% para los *millennial*.

Sin embargo, las diferencias entre estas dos últimas generaciones, están relacionadas con el uso del internet y la salud mental. Las búsquedas de información en la red presentan una diferencia exponencial entre una generación y otra, como puede observarse en la Figura 1 del *Pew Research*, para el caso de búsquedas en Google en Estados Unidos en términos de porcentaje, durante 2018. A este año 2025, seguramente la diferencia entre ambas es mayor por el aumento de la población de la gen Z.

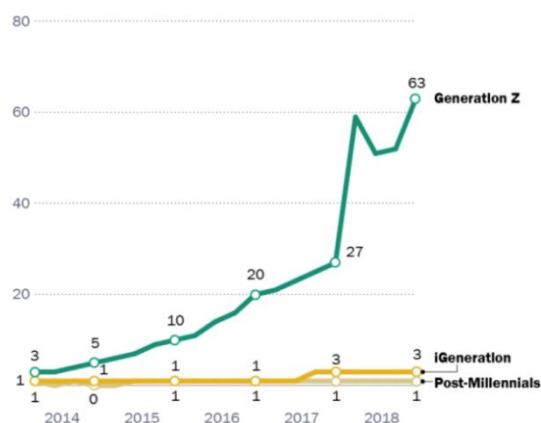


Figura 1. Búsquedas de información en línea por generación [6]

Es importante recalcar la importancia que la salud integral de los jóvenes tiene para ellos, entendiendo que se habla de salud física o nutricional, salud social, salud mental y salud espiritual, que implica tener un sentido en la vida o un propósito. De acuerdo con una investigación en 26 países del Instituto para la Salud de McKinsey, para la gen Z es más fácil hablar sobre su mala salud mental, pero también de la ansiedad que les causa sentirse desconectados de sus redes sociales. Sin embargo, aunque todas las generaciones utilizaron un tiempo similar para las redes sociales, los *millennial* son lo que más publican, aunque la gen Z siente que utilizarlas puede ayudar con las conexiones sociales y la autoexpresión [7].

Coe, Enomoto y Bennett [8] identificaron que la gen Z muestra más bajo nivel de salud espiritual con respecto a los *millennial*: 63% tiene un fuerte sentido en la vida contra 71%, 58% tiene un claro propósito en su trabajo contra 64%, y 57% de la gen Z tiene fuertes creencias personales que los fortalecen ante las dificultades contra 63% de los *millennial*. En este estudio se detectó también que la identificación de la salud espiritual está relacionada con otros aspectos de la salud y que, el conocimiento de todos los aspectos puede conducir a una mayor resiliencia en la gen Z. Aquellos que dijeron tener mala salud espiritual tenían hasta cuatro veces menos probabilidades de decir que tenían buena o muy buena salud mental, contra aquellos que declararon tener una salud espiritual neutra o buena.

También se encontró que la gen Z proviene de padres con más alto nivel educativo que sus predecesores [9]. En 2019, 44% de los jóvenes Z vivían con al menos uno de sus padres que habían obtenido mínimo una licenciatura, mientras que, en su momento, solo 33% de los *millennial* estaba en la misma condición. Algo similar se encontró con relación al trabajo mientras estudiaban, un porcentaje mayor de los *millennial* ya tenían un trabajo, comparado con aquellos de la gen Z.

Se encontró también que 70% de los miembros de la gen Z dicen que el gobierno debería resolver los problemas, mientras que 29% dice que el gobierno está haciendo demasiadas cosas y que sería mejor dejarlas en manos de empresas e individuos. Una proporción menor de los *millennial* -64%- dice que el gobierno debería hacer más para resolver los problemas, y esta opinión es aún menos frecuente entre las generaciones de más edad [9].

En ese mismo sentido, la psicóloga Mar [10] observó que un porcentaje de padres cada vez mayor se involucra en problemas que debe resolver el estudiante universitario por sí mismo. Menciona que algunos hallazgos indican que el 20% de la gen Z va con uno de sus padres a entrevistas de trabajo y responden preguntas por ellos. Se tienen también casos de padres de familia que intervienen en el trabajo de los jóvenes profesionales, ya sea solicitando trámites por ellos, realizando labores por ellos, reportando situaciones de los hijos ante los jefes [11] o descalificando el puesto

laboral y el ingreso económico al no ser suficiente, de acuerdo con el padre o madre de familia. En conclusión, los recién egresados son tratados como menores de edad o incapaces de tomar sus decisiones, y ellos lo permiten.

Se ha sugerido también que la creciente cantidad de tiempo que los jóvenes pasan en redes sociales con sus dispositivos móviles ha contribuido al crecimiento de la ansiedad y la depresión. Los jóvenes de la gen Z sostienen opiniones encontradas sobre si las redes sociales han tenido un efecto positivo o negativo en su generación. Alrededor de tres de cada diez dicen que el efecto en las personas de su edad ha sido positivo, una de cuatro dice que ha sido negativo y casi la mitad dice que ni lo uno ni lo otro [9].

3.2. Perspectiva laboral internacional

El sector económico y varias organizaciones supranacionales han invertido en grandes investigaciones sobre una buena cantidad de países para identificar las necesidades de la población joven que heredará la riqueza construida [4]. En este estudio se afirma que los empleados y ejecutivos *millennial* y aquellos de la gen Z necesitan fortalecer su perfil para mantener a las naciones. Por ello, se han delineado una serie de cualidades y habilidades como la resiliencia, el pensamiento crítico y la empatía que deben desarrollar los estudiantes de esta reciente generación de profesionales.

En relación con lo anterior, es interesante retomar la relación de 10 habilidades para la vida que extrajo un estudio del Banco

Interamericano de Desarrollo (BID) [12] para ser analizadas, pues son medibles, posibles e importantes: 1) atención plena; 2) empatía y compasión; 3) autodeterminación y autoeficacia; 4) resolución de problemas cognitivos, de trabajo en equipo e interpersonales; 5) pensamiento crítico; 6) perseverancia y persistencia, con orientación al cumplimiento de metas; 7) resiliencia y resistencia al estrés; 8) autoconciencia; 9) propósito; 10) gestión de las emociones o autorregulación.

Por otro lado, Mercer Marsh [13] aplicaron una encuesta con 2,283 profesionales de recursos humanos y pidieron evaluar el impacto y la probabilidad de que ocurrieran 25 riesgos en su negocio en los próximos uno o dos años. La puntuación de calificación de riesgo proporciona la probabilidad de que el riesgo afecte a la organización y la gravedad de su impacto. En la Figura 2 se aprecian los resultados para América Latina. En primer lugar, se encuentran el deterioro de la salud mental y el aumento en los costos de salud.

A partir de las características de las generaciones de profesionales y de sus expectativas y preferencias en el escenario actual, Vilanova [14] dice que se trata de reconocer la circunstancia en la que se vive y los sujetos con los que se trabaja, aprovechar las oportunidades, potencializar las habilidades, empoderar actitudes y utilizarlas para que las herramientas tecnológicas, en conjunto con la creatividad para resolver problemas, brinde más oportunidades a los egresados, e impulse su crecimiento personal y profesional.

	Gravedad	Probabilidad	Puntuación de Clasificación de Riesgo
1	Deterioro de la salud mental	Aumento de los costos de salud y beneficios.	Aumento de los costos de salud y beneficios
2	Liderazgo ineficaz	Cambio de legislación y control	Deterioro de la salud mental
3	Pandemias	Falta de conocimientos en ciberseguridad	Pandemias
4	Mal manejo de datos/IP	Disparidades en las recompensas entre ejecutivos y trabajadores	Falta de conocimientos en ciberseguridad
5	Fuerza laboral desconectada	Tecnología de RRHH poco óptima	Cambio de legislación y control

Figura 2. Principales riesgos de las personas en las organizaciones [13].

Lo anterior incluye la necesidad de mantenerlos con cierto nivel de estrés que sea beneficioso para su formación, como dice Haidt [15], ya que mucho estrés, agudo o crónico, también es perjudicial.

En otro aspecto de la visión de los empleadores, la encuesta anual sobre la escasez de talento mundial realizada en 2024, Manpower [16] reportó que el promedio global es 74%, siendo Alemania el más alto con 86% y Puerto Rico el más bajo con 53%. México (70%) se encuentra por debajo del promedio global. Los sectores con mayor déficit son salud y ciencias de la vida, 77%, energía y servicios públicos y tecnologías de la información, 76%, transporte, logística y automotriz, 74%, bienes y servicios de consumo, industriales y materiales, 73%, finanzas y bienes raíces, 72% y los servicios de comunicación, 71%. Por tamaño de empresa, todas reportan una escasez de talento mayor a 70%. Por ello, el 74% de los más de 40,000 empleadores entrevistados en 42 países, dicen que

tienen dificultades para encontrar el talento que necesitan.

En cuanto a la función de los ejecutivos, Foroohar [17] dice que las empresas tienen una desconexión global/local entre el ejecutivo y sus clientes y trabajadores promedio, porque no comparten el mismo propósito. Menciona que los grandes empresarios reconocen que aquellos países que evitan los declives económicos son lo que logran empatar los propósitos de los ciudadanos con las élites. En Estados Unidos y muchos otros países, la definición de bien público todavía no es común. Dicen que sería bueno para *Wall Street* que las compañías se vuelvan más sustentables y sensibles, además de productivas y eficientes.

3.3. Perspectiva en el sector laboral local.

En esta etapa, se realizó una entrevista semiestructurada a cinco personas del sur de Tamaulipas: tres mujeres y dos hombres; dos *baby boomer*, un gen X y dos *millennial*. Se trata de dos reclutadores, dos enlaces institución-

empresa y un mando medio. Se aplicó una guía cuyo objetivo central era plasmar las experiencias de contratación con profesionales recién egresados (gen Z).

Las respuestas de los entrevistados implican que los mandos medios del sector productivo están reportando una serie de características en los recién egresados que ameritan un foco de atención, porque no se trata de una situación marginal, por el contrario, se presenta en la mayoría de los casos.

No se trata tampoco de recién egresados de una ingeniería, se trata de ingenieros químicos que no están muy dispuestos a cubrir turnos en las supervisiones de los procesos, de ingenieros eléctricos que no pueden trabajar bajo presión, de ingenieros industriales que no pueden quedarse después de la hora de salida para concluir con una tarea pendiente, de ingenieros en geociencias que no quieren ir a los campamentos designados para los grupos de trabajo en exploraciones, de ingenieros en gestión empresarial que son muy capaces técnicamente e incapaces para atender una entrevista de trabajo, de licenciados que buscan un ambiente laboral que se viva en las redes sociales, aunque nada tenga que ver con sus estudios.

Algunos casos reales surgidos de las entrevistas:

1) Un maestro de ingeniería eléctrica, *baby boomer*, decía: “hace 10 años le enviaba a la Comisión Federal de Electricidad 10 residentes y al menos ocho se quedaban a trabajar. Este

semestre les envié 10 y solamente se quedaron dos. Me preguntan ¿qué pasa ahora con estos egresados?”. No tiene respuestas.

2) Un egresado *millennial*, responsable de supervisar el trabajo de los residentes en el área de ingeniería electrónica y sistemas computacionales, dice: “estos ingenieros ahora no se comprometen, son irresponsables, de última hora dejan el trabajo y, cuando hay que salir de la ciudad para mantenimiento a los equipos, tienen excusas, no quieren manejar, son muy miedosos. No sabemos cómo van a responder”.

3) Otro caso de un enlace *baby boomer*: un egresado de ingeniería industrial, gen Z, muy capaz, pero con un trabajo administrativo de bajo nivel, estaba emocionado porque había aplicado para trabajar en una empresa a otra ciudad e iba a presentar los exámenes. Al regresar, desapareció por al menos 10 días porque estaba muy deprimido. No había obtenido el puesto y la causa no era técnica, sino que en sus pruebas psicométricas no había *salido bien*. No podía tolerar el fracaso.

4) Una *millennial*, consultora de reclutamiento de una empresa de servicios, manifiesta que la retención del personal joven, gen Z, es un problema, existe una rotación muy alta y requieren un diagnóstico para diseñar e implementar una estrategia que permita disminuirla. La empresa no tiene idea qué hacer con estas personas.

5) Otra reclutadora de personal para una empresa de servicios, gen X, comenta: “las etapas de identificación de las capacidades técnicas para el trabajo son hasta cierto punto fáciles, el problema se presenta en la entrevista y en el examen psicométrico. Los aspirantes tienen ciertas inseguridades de las razones por las cuales desean el puesto, sus planes a futuro, su proyección profesional. Pero el mayor obstáculo para obtener el puesto es el perfil que delinean los psicólogos. Alguien que tiene trastorno de ansiedad no es recomendable para tomar un puesto que eventualmente puede presentar situaciones de crisis y, por tanto, ameritar una toma de decisiones conscientes y firmes. Eso no es fácil de superar y si de entrada lo presenta, es mejor no contratar al alguien que en cualquier momento va a poner en riesgo los procesos delicados que estarán en sus manos”.

Finalmente, cabe aquí mencionar el caso reciente del médico residente que falleció por suicidio [18]. Sin minimizar la situación de los entornos laborales con riesgos psicosociales fuertes, también sale a relucir la fragilidad de la salud mental de estos profesionales jóvenes pertenecientes a la gen Z.

Si es delicado tener a cargo de un proceso estratégico a una persona fragil mentalmente, porque no sabe trabajar bajo presión cuando surge un problema crítico en la industria petroquímica o el sector de la construcción o ciencias de la tierra, o cuando tiene a su cargo menores de edad. Es esencial la fortaleza y capacidad de decisión que debe tener un médico cuyo objetivo es la preservación

de la vida de seres humanos en el mayor estado de vulnerabilidad física. Sufrir depresión y estar bajo tratamiento psiquiátrico sería una señal de que el profesional no tiene condiciones para ejercer determinados trabajos. Y aquí las preguntas que surgen como caso extremo: ¿podría visualizarse si algún joven no cubre ese perfil desde que va a ingresar? ¿Será posible que, aunque no se vea muy sólida su salud mental, eventualmente se fortalezca durante su trayectoria formativa? Esas son preguntas que ahora surgen en relación con este caso tan expuesto mediáticamente y tan afín a la temática de este trabajo.

3.4. Actitudes en el perfil de egreso de ingeniería en México.

Se consideraron dos institutos formadores de ingenieros y tres universidades públicas (dos federales y una estatal). Se tomaron en cuenta que los programas de ingeniería fueran también parte de la oferta educativa del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero. Aunque no se identificaran como actitudes en el perfil de egreso publicado, aquí se reconocen como tales aquellas tendencias en el comportamiento y voluntad o disposición emocional y conductual que los ingenieros requieren para desenvolverse en un medio laboral. Las actitudes son lo que permite a una persona utilizar sus conocimientos y habilidades [19].

La Tabla 1 muestra los hallazgos en esos cinco programas de ingeniería. El perfil de egreso se queda principalmente en las aptitudes y habilidades. Solo aparecen: la conciencia social, asociada con la empatía, la identificación con el otro; la

resiliencia que implica la adaptación al entorno, la flexibilidad; y el trabajo en equipo, donde prevalece la disposición para integrarse con otras personas, escuchar sus motivos y definir una ruta armónica para alcanzar los objetivos.

Tabla 1. Actitudes en el perfil de egreso de ingenierías [20-24].

Institución/Programa	Actitudes
Universidad Nacional Autónoma de México Ing. Ambiental	Conciencia social y sustentable
Instituto Politécnico Nacional Ing. Mecánica	Responsabilidad Solidaridad Empatía Trabajo en equipo
Universidad Autónoma Metropolitana Ing. Industrial	Resiliencia Trabajo en equipo Compromiso social y sustentable
Universidad Autónoma de Nuevo León Ing. Química	Respeto e inclusión Conciencia social y sustentable Resiliencia
Instituto Tecnológico de Ciudad Madero Ing. Eléctrica	Desarrollo personal Trabajo en equipo Comunicación Conciencia social

En ese sentido, la salud mental y su fortalecimiento no aparecen en primer plano. Quizá, lo que se denomina el currículum oculto de un programa de ingeniería, tenga establecidas estrategias institucionales para que sus estudiantes sean conscientes de su salud integral y la gestión de su salud mental y espiritual, pero no está declarado explícitamente.

3.5. Áreas de oportunidad para el perfil de egreso de ingeniería.

El trabajo futuro de este análisis aspira al delineamiento de un perfil actitudinal de egreso para un programa de ingeniería. De acuerdo con los hallazgos de este

trabajo, hoy, más que nunca, los servicios de atención psicológica de la institución deben ser más robustos para que, desde la entrada de un estudiante se aplique un seguimiento puntual a su salud mental. Parece relevante una serie de programas en la estrategia institucional como el manejo del estrés, gestión emocional, optimismo, autoestima, metacognición, gestión de conflictos, integración en equipos y comunicación. Sin embargo, lo anterior también debiera ir a la par con una alimentación saludable, que permita un equilibrio mente cuerpo, pero también sobre la gestión del tiempo.

Parece delinearse la necesidad del cuidado de la salud integral de la persona, también desde la visión institucional. Un ingeniero no solamente requiere conocimientos, destrezas, competencias, y valores, amerita una preparación física, mental y espiritual que le permita afrontar las demandas en el campo laboral. Requiere que su cuerpo y su mente cuenten con lo necesario para tomar decisiones, para enfrentar situaciones de riesgos, para proteger a las personas que dependen de él. Requiere condiciones personales que le permitan crecer, lo cual, generalmente, no se realiza en un entorno teórico, sin problemas que resolver.

Conclusiones

Los diferentes cuestionamientos sobre las condiciones de los recién egresados de ingeniería ameritan una revisión inmediata para diseñar estrategias institucionales en lo que corresponda. Lo que se tiene claro es que, no se trata solamente de actualizar competencias profesionales, se trata de que la etapa

formativa incluya el fortalecimiento de la persona en su salud integral.

Durante su periodo universitario, se tienen de cuatro a cinco años para fortalecer y preparar a los jóvenes para el mundo al que se enfrentarán. Diseñar una estrategia integral y sistemática que parta de un diagnóstico preciso es esencial. Debe darse importancia a la salud integral de los estudiantes, ya que podrían tener problemas por falta de conocimientos, pero también por no aprobar exámenes psicométricos o por no ser capaces de manejar la ansiedad que conlleva cumplir plazos y metas.

Para las empresas, proporcionar un salario y prestaciones competitivas ya no es suficiente, un buen ambiente laboral y el salario emocional también forman parte de la expectativa de los nuevos profesionistas. Y las instituciones de educación superior deben fungir de puente entre los jóvenes adultos y las empresas en las que laborarán o se fundarán en algunos años.

Esa etapa de preparación para realizar entrevistas de trabajo, para analizar ofertas y tomar decisiones, para valorar desde la imagen personal hasta la comunicación verbal y no verbal, o la escrita, son habilidades indispensables para su estabilidad profesional futura. Pero también su fortaleza física y mental, sus cualidades para tolerar el fracaso, gestionar sus emociones y el tiempo, sus actitudes hacia el trabajo en equipo, son indispensables para la vida. Incluirlas en el currículum oculto es prioritario. La urgencia de hacerlo es lo que se pretende mostrar con esta investigación.

Referencias

1. R. Hernández Sampieri y C. P. Mendoza Torres, Metodología de la investigación, Segunda ed., México: McGraw Hill, 2023.
2. BBVA, «Boomers, generación X, generación Z, millennials y centennials: el talento en cuatro generaciones,» 6 enero 2025. Disponible en: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/baby-boomers-generacion-x-millennials-y-centennials-el-talento-en-cuatro-generaciones/>
3. Iberdrola, «Características de la generación X, Y y Z,» 13 julio 2017. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/talento/generacion-x-y-z>
4. Merrill, «Millennial motivation: a closer look,» 2023. Disponible en: <https://www.ml.com/articles/millennial-motivation.html>
5. Mercado Libre, «Tendencias de consumo on line con impacto positivo en América Latina,» 2023. Disponible en: https://cdn.sustentabilidadmercadolibre.com/Tendencias_Impacto_Positivo_LATAM_es_2023_4c596e7394.pdf
6. M. Dimock, «Defining generations: Where Millennials end and Generation Z begins,» 17 enero 2019. Disponible en: <https://www.pewresearch.org/fact-tank/2019/01/17/where-millennials-end-and-generation-z-begins/>
7. E. Coe, A. E. K. Doy y C. Healy, «Gen Z mental health: The impact of tech and social media,» 28 abril 2023. Disponible en: <https://www.mckinsey.com/mhi/our-insights/gen-z-mental-health-the-impact-of-tech-and-social-media#/>
8. E. Coe, K. B. J. Enomoto y V. Bennett, «In search of self and something bigger: A spiritual health exploration,» 13 mayo 2024. Disponible en:

- <https://www.mckinsey.com/mhi/our-insights/in-search-of-self-and-something-bigger-a-spiritual-health-exploration?cid=sig-eml-nsi-mst-mck-ext---sig--&hlkid=aca274cdb3e446438e2773cf944819a6&hctky=13802398&hdpid=29f3a197-74b0-475b-9f73-0aa738f249b>
9. K. Parker y R. Igielnick, «On the Cusp of Adulthood and Facing an Uncertain Future: What We Know About Gen Z So Far,» 14 mayo 2020. Disponible en: <https://www.pewresearch.org/social-trends/2020/05/14/on-the-cusp-of-adulthood-and-facing-an-uncertain-future-what-we-know-about-gen-z-so-far-2/>
10. S. Mar, «La generación Z y la salud mental,» *Salud total*, p. 8, 1 julio 2024.
11. J. Narváez, «Abraham Reyes: esta fue la última publicación del médico residente que se quitó la vida por presunto acoso laboral en IMSS NL,» *Reporte Índigo*, 5 junio 2025.
12. R. E. McGrath y A. Adler, «Skills for Life. A Review of Life Skills and their Measurability, Malleability and Meaningfulness,» 2022. Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Skills-for-life-A-review-of-life-skills-and-their-measurability-malleability-and-meaningfulness.pdf>
13. Mercer Marsh, «People Risk 2024 América Latina,» 2024. Disponible en: <https://www.marsh.com/es/risks/people-risk/insights/the-five-pillars-of-people-risk.html>
14. N. Vilanova, «Generación Z: los jóvenes que han dejado viejos a los millennials,» *Economistas*, nº 161, pp. 43-52, 2019.
15. J. Haidt, *The anxious generation: how the great rewiring of childhood is causing an epidemic of mental illness*, New York: Penguin Press, 2024.
16. ManpowerGroup, «Global Talent Shortage 2025,» 2025. Disponible en: <https://go.manpowergroup.com/talent-shortage>
17. R. Foroohar, «Cómo los CEO se han adaptado a la era de la ansiedad,» *Milenio*, p. 24, 1 julio 2024.
18. M. Perales, «IMSS investiga muerte de médico residente en Nuevo León; amigos denuncian que sufría acoso laboral,» *El Universal*, 5 junio 2025.
19. R. Ramírez, «Actitud vs aptitud, cuando el mercado laboral prioriza la buena disposición sobre las competencias,» *El Economista*, 30 septiembre 2024.
20. UNAM, «Ingeniería Ambiental,» Disponible en: <https://oferta.unam.mx/ingenieria-ambiental.html#accordion1>
21. IPN, «Programa Académico/Ing. Mecánica,» Disponible en: <https://www.ipn.mx/oferta-educativa/educaci%C3%B3n-superior/ver-carrera.html?lg=es&id=16&nombre=Ingenier%C3%ADa-Mec%C3%A1nica#:~:text=Perfil%20de%20Egreso&text=Dise%C3%B1ar%20mantener%20y%20construir%20dispositivos,construir%20nuevas%20tecnolog%C3%ADas%20>
22. UAM, «Perfil de Ingreso-Egreso de Ing. Industrial,» Disponible en: https://cbi.azc.uam.mx/?page_id=2750
23. UANL, «Ingeniería Química,» Disponible en: <https://www.uanl.mx/oferta/ingeniero-quimico/>
24. ITCM, «Ingeniería Eléctrica,» Disponible en: <https://www.cdmadero.tecnm.mx/index.php/oferta-educativa/licenciaturas/ingenieria-electrica>

Implementación de una estrategia de eliminación de armónicos para un convertidor modular multinivel monofásico

Castillo Del Angel Jesús Alberto, Manríquez Ramírez José Francisco, Castillo Gutiérrez Rafael, García Vite Pedro Martín*

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Juventino Rosas 114, Col. Los Mangos, Cd. Madero, Tamaulipas, C.P. 89440 México.

*Autor de correspondencia: pedro.gv@cdmadero.tecnm.mx

RESUMEN

Esta investigación se centra en resolver el problema del alto contenido de distorsión armónica (THD) presente en los convertidores tradicionales de dos niveles, los cuales generan pérdidas significativas por conmutación y una baja calidad en la señal de salida. Como alternativa, se plantea el uso de un convertidor modular multinivel (MMC) monofásico junto con una estrategia de eliminación selectiva de armónicos (SHE), que permite mejorar el desempeño del sistema sin necesidad de utilizar filtros externos. La metodología empleada consistió en calcular los ángulos óptimos de conmutación mediante una formulación basada en la serie de Fourier, enfocada en suprimir armónicos de orden bajo. Para resolver el sistema no lineal de ecuaciones resultante, se utilizó el método de Newton-Raphson implementado en el software Mathematica. Posteriormente, los ángulos obtenidos se aplicaron en un modelo simulado en MATLAB/Simulink, permitiendo verificar su efectividad. Los resultados demostraron que, al diseñar un patrón de onda con simetría de cuarto de ciclo y una secuencia precisa de transiciones, se logró una reducción significativa de armónicos no deseados, específicamente entre el tercer y el undécimo orden. El análisis espectral confirmó que la estrategia aplicada mejora notablemente la forma de onda del convertidor. En conclusión, la implementación de SHE en un MMC representa una solución efectiva y práctica para optimizar la calidad de la señal, reducir pérdidas por conmutación y simplificar el diseño del sistema.

Palabras clave: **distorsión armónica, convertidor modular multinivel, eliminación selectiva de armónicos, armónicos, sistema no lineal de ecuaciones**

ABSTRACT

This research focuses on addressing the issue of high total harmonic distortion (THD) found in traditional two-level converters, which results in significant switching losses and poor output signal quality. As an alternative, the use of a single-phase Modular Multilevel Converter (MMC) is proposed, combined with a Selective Harmonic Elimination (SHE) strategy to enhance system performance without relying on external filters. The methodology involved calculating optimal switching angles through a formulation based on



the Fourier series, which aimed to eliminate low-order harmonics. To solve the resulting nonlinear system of equations, the Newton-Raphson method was employed using Mathematica software. The computed switching angles were then applied to a simulated model in MATLAB/Simulink to validate their effectiveness. Simulation results showed that designing a waveform pattern with quarter-cycle symmetry and a precise sequence of transitions significantly reduced undesired harmonics, specifically from the 3rd to the 11th order. Spectral analysis confirmed that the applied strategy notably improved the converter's output waveform. In conclusion, implementing SHE in an MMC provides an effective and practical solution to enhance signal quality, minimize switching losses, and simplify system design, particularly in applications where the use of filters is impractical.

Keywords: harmonic distortion, modular multilevel converter, selective harmonic elimination, harmonics, nonlinear equation system

1. Introducción

En las últimas décadas, los convertidores de potencia han sido fundamentales para aplicaciones que van desde la integración de energías renovables hasta la transmisión flexible de energía eléctrica. Tradicionalmente, los convertidores de dos niveles han sido ampliamente utilizados debido a su simplicidad y bajo costo. Sin embargo, presentan limitaciones importantes relacionadas con la calidad de la señal de salida, eficiencia energética y restricciones operativas ante tensiones elevadas, particularmente en sistemas como HVDC (High Voltage Direct Current) y FACTS (Flexible AC Transmission Systems).

En [1] propusieron una topología de convertidor modular multinivel (MMC) adecuada para una amplia gama de potencias, destacando su escalabilidad y operación eficiente en altos voltajes. Posteriormente, en [2] realizaron un análisis de las distintas topologías multinivel, resaltando sus beneficios en cuanto a la reducción del contenido

armónico y mejoras en la calidad de la onda de salida. De igual forma, en [3] analizaron el comportamiento de convertidores multinivel operando bajo condiciones de red desbalanceada, subrayando su robustez y capacidad de control.

Una característica clave en los MMC es la capacidad de reducir la distorsión armónica total (THD) sin depender de filtros externos, lo cual se logra mediante técnicas avanzadas de modulación. En este contexto, la estrategia de eliminación selectiva de armónicos (SHE) ha cobrado relevancia. Esta técnica fue introducida originalmente por [4], quien demostró cómo ciertos armónicos pueden suprimirse seleccionando ángulos específicos de conmutación. Más recientemente, [5] desarrollaron un modelo matemático para SHE aplicado a convertidores multinivel, demostrando la efectividad del enfoque para eliminar armónicos específicos.

Estos avances han contribuido significativamente al desarrollo del estado del arte en modulación de convertidores multinivel. No obstante, persisten desafíos relacionados con la optimización de los ángulos de conmutación y la implementación práctica de estas estrategias en simulaciones realistas. En este trabajo se retoma la estrategia SHE aplicada a un convertidor MMC monofásico, buscando demostrar su eficacia mediante simulación en MATLAB/Simulink y validación espectral a través de técnicas de análisis armónico.

2. Materiales y métodos

En este trabajo, se propone la topología modular multinivel (MMC) debido a las ventajas sobre el convertidor convencional que incluyen un menor contenido armónico con relación al convencional [6]. Uno de los desafíos importantes en el convertidor es implementar técnicas de modulación de baja frecuencia, con el fin de mantener bajas las pérdidas por conmutación. Por lo tanto, se propone un algoritmo modificado de modulación de eliminación selectiva tecnologías de comunicación de armónicos (SHE). Con este tipo de estrategia se podrá encontrar los ángulos óptimos de conmutación y tener un mejor control (señales de disparo).

Considerando que los MMCs se pueden modular la frecuencia de línea, 60 Hz. Los

voltajes de los capacitores de los SMs que constituyen el convertidor se pueden ver desbalanceados, lo cual provoca una desestabilización del convertidor. Para hacer un análisis más enfocado en la estrategia SHE, se sustituyeron los capacitores de cada SM por fuentes de voltaje constantes como se muestra en la Fig. 2, y así evitar el problema de desbalance del voltaje en los capacitores.

2.1. Topología MMC.

El MMC genera una forma de onda de voltaje escalonada multinivel en su lado de CA controlando el número de SMs insertados en el brazo. En la Fig. 1 se visualiza la distribución de estos en la fase-pierna. Los SMs están organizados en brazos superiores e inferiores que, siendo controlados de manera adecuada, permiten generar un voltaje de salida en una suma escalonada de las tensiones de cada SM.

En la Fig. 1 se muestra el circuito de un convertidor multinivel monofásico tipo medio puente (HB) monofásico, se dividen en 2 partes; un brazo superior y un brazo inferior, cada uno forma una pierna o fase, en cada SM hay una configuración HB (del inglés, half bridge), el convertidor tiene un inductor conectado en serie con los SMs para reducir las corrientes circulantes y por último tiene una carga RL.

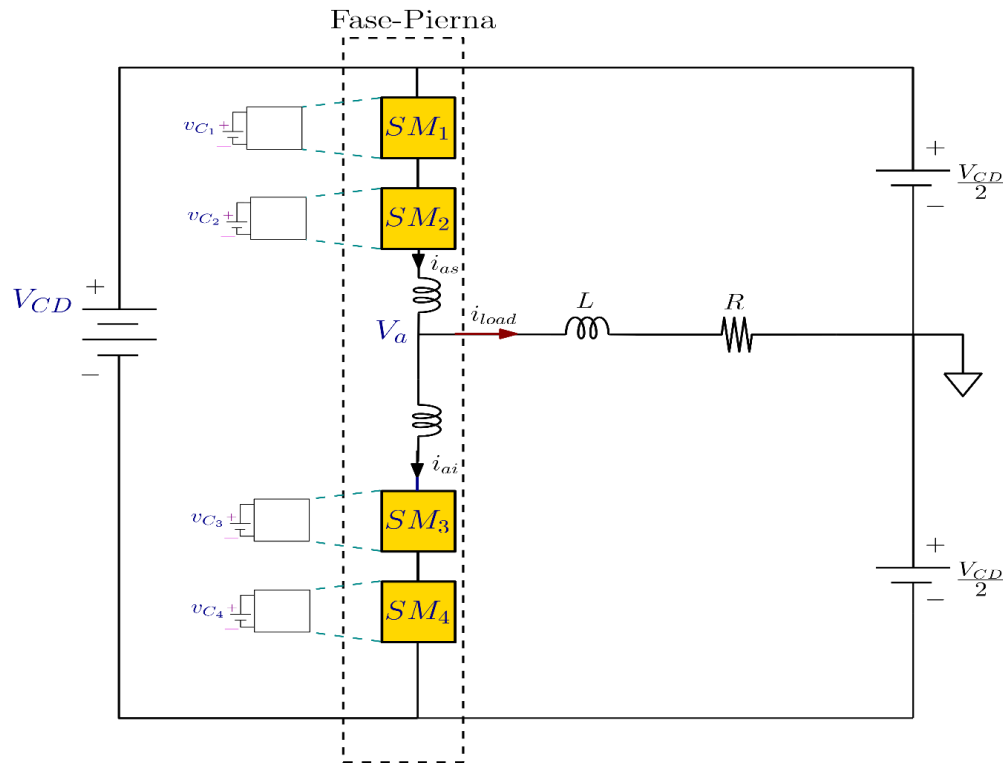


Figura 1. Convertidor modular multinivel.

2.2. Análisis de SMs con topología HB (Medio puente).

Para el análisis de los SMs de cada brazo son idénticos y están conectados en serie. Cada SM de un MMC contiene una fuente de CD constante y un par de interruptores semiconductores que permiten conmutar el HB [7], la configuración de medio puente se muestra en la Figura 2.

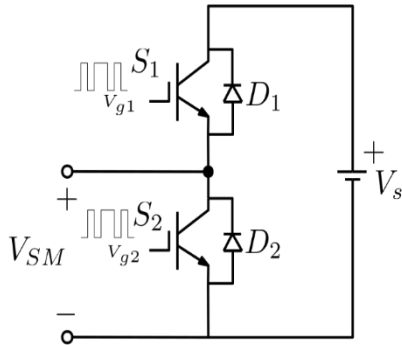


Figura 2. submódulos con topología HB (medio puente)

La operación del submódulo de HB tiene cuatro modos de operación, los cuales son determinados mediante la dirección de la corriente del brazo, descritos detalladamente en la Figura 3:

- Modo 1 (Fig. 3a): Cuando $SM=ON$ e $i_{arm}>0$, el interruptor S_1 está encendido, S_2 está apagado, el SM se inserta en el circuito del brazo, el estado del SM está encendido y el voltaje de salida del SM V_{SM} es igual al voltaje de la fuente constante del SM V_s .
- Modo 2 (Fig. 3b): Cuando $SM=ON$ e $i_{arm}<0$, el interruptor S_1 está encendido, S_2 está apagado, el SM se inserta en el circuito del brazo, el estado del SM está encendido y el voltaje de salida del SM V_{SM} es igual

al voltaje de la fuente constante del SM V_s .

- Modo 3 (Fig. 3c): Cuando $SM=OFF$ e $i_{arm}>0$, el interruptor S_1 está apagado, S_2 está encendido, el SM se omite del circuito del brazo, el estado del SM está apagado y el voltaje de salida del SM V_{SM} es igual a 0.

- Modo 4 (Fig. 3d): Cuando $SM=OFF$ e $i_{arm}<0$, el interruptor S_1 está apagado, S_2 está encendido, el SM se omite del circuito del brazo, el estado del SM está apagado y el voltaje de salida del SM V_{SM} es igual a 0.

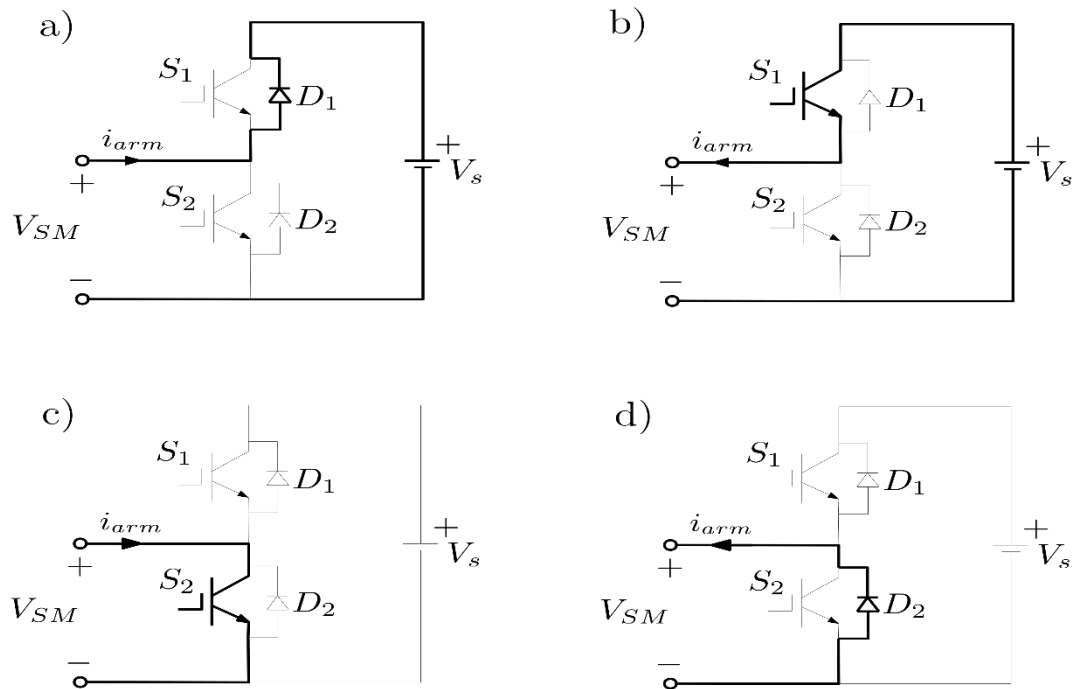


Figura 3. Cuatro modos de operación del submódulo HB: a) Modo 1, b) Modo 2, c) Modo 3 y d) Modo 4.

2.3. Eliminación selectiva de armónicos (SHE)

La eliminación selectiva de armónicos permite eliminar armónicos específicos de la onda de salida, seleccionando ángulos de conmutación específicos para los interruptores del convertidor. Estos ángulos se calculan a partir de ecuaciones trascendentales que son formuladas con el objetivo de cancelar ciertos armónicos, dejando solo la frecuencia fundamental deseada y

armónicos de órdenes superiores, que suelen ser menos problemáticos.

La estrategia de SHE fue inicialmente introducido en [8] y, desde entonces, ha sido ampliamente estudiado en convertidores multinivel. En [9], se desarrolló un modelo matemático multinivel para SHE, cuyos resultados se emplean en este trabajo por simplicidad. Dado que la onda de salida presenta simetrías de media y un cuarto de ciclo

[10], la serie de Fourier del voltaje de salida se describe en (1).

$$V_{out} = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega t) \quad (1)$$

donde:

$$b_n = \begin{cases} 0, & n=\text{armónico par} \\ \frac{4V_s}{n\pi} \sum_{k=1}^N p_k \cos(n\alpha_k), & n=\text{armónico impar} \end{cases} \quad (2)$$

Considerando que:

- p_k será +1 si la transición es ascendente en el patrón de onda de la Fig.4.
- p_k será -1 si la transición es descendente en el patrón de onda de la Fig.4.

Las simulaciones se han llevado a cabo en un MMC monofásico con 4 SM $N=4$ por brazo. En esta propuesta se aplica el método de síntesis de niveles $N+1$, la forma de onda de salida adopta 5 niveles. Para lograr la eliminación de los armónicos no deseados y el control de la amplitud del componente fundamental, se establecen seis transiciones dentro de cada cuarto de período de la señal senoidal, lo que permite suprimir las armónicas desde el 3a hasta el 11a.

Existen dos aspectos fundamentales a considerar en este enfoque. Primero, es necesario determinar la distribución de las transiciones dentro de un cuarto de ciclo. La única restricción para cumplir es que la forma de onda multinivel debe incrementar o disminuir un solo nivel en cada transición [11]. Con seis transiciones disponibles, se pueden configurar tres distribuciones posibles: D(1,5), D(3,3) y

D(5,1), donde la notación indica cuántas transiciones ocurren en cada nivel. En el caso de la configuración D(3,3), cada nivel de voltaje es generado a través de tres transiciones.

Entre estas opciones, la distribución D(3,3) permite un mayor número de soluciones factibles para las ecuaciones SHE, por lo que ha sido adoptada en este estudio. La Fig. 4 muestra la forma de onda resultante con esta distribución de transiciones. El segundo aspecto clave es la ubicación precisa de las transiciones o ángulos de conmutación dentro de cada cuarto de período. Tradicionalmente, estos ángulos se calculan siguiendo una determinada formulación.

$$0 \leq \alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \alpha_3 \leq \alpha_4 \leq \alpha_5 \leq \alpha_6 \leq \frac{\pi}{2} \quad (3)$$

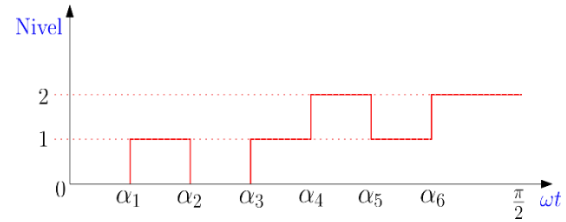


Figura 4. Patrón de onda de un cuarto de ciclo.

Una vez establecida la serie de Fourier para la señal de salida y definido un patrón específico para un cuarto de onda se procede a aplicar las restricciones pertinentes indicadas en (3). A partir de estas condiciones, se obtiene un sistema de ecuaciones que corresponde a la formulación SHE del convertidor, cuyo propósito es determinar los ángulos de conmutación óptimos para la eliminación selectiva de armónicos y el control del armónico fundamental (Ecuación 4).

$$\begin{cases} \cos(\alpha_1) - \cos(\alpha_2) + \cos(\alpha_3) + \cos(\alpha_4) - \cos(\alpha_5) + \cos(\alpha_6) = m \cdot \frac{\pi}{2} \\ \cos(3 \cdot \alpha_1) - \cos(3 \cdot \alpha_2) + \cos(3 \cdot \alpha_3) + \cos(3 \cdot \alpha_4) - \cos(3 \cdot \alpha_5) + \cos(3 \cdot \alpha_6) = 0 \\ \cos(5 \cdot \alpha_1) - \cos(5 \cdot \alpha_2) + \cos(5 \cdot \alpha_3) + \cos(5 \cdot \alpha_4) - \cos(5 \cdot \alpha_5) + \cos(5 \cdot \alpha_6) = 0 \\ \cos(7 \cdot \alpha_1) - \cos(7 \cdot \alpha_2) + \cos(7 \cdot \alpha_3) + \cos(7 \cdot \alpha_4) - \cos(7 \cdot \alpha_5) + \cos(7 \cdot \alpha_6) = 0 \\ \cos(9 \cdot \alpha_1) - \cos(9 \cdot \alpha_2) + \cos(9 \cdot \alpha_3) + \cos(9 \cdot \alpha_4) - \cos(9 \cdot \alpha_5) + \cos(9 \cdot \alpha_6) = 0 \\ \cos(11 \cdot \alpha_1) - \cos(11 \cdot \alpha_2) + \cos(11 \cdot \alpha_3) + \cos(11 \cdot \alpha_4) - \cos(11 \cdot \alpha_5) + \cos(11 \cdot \alpha_6) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Dado que el sistema de ecuaciones resultante es altamente no lineal y trascendental, su resolución requiere el uso de métodos numéricos avanzados, como el método de Newton-Raphson [12] [13]. Estos enfoques permiten encontrar soluciones factibles dentro del rango admisible de ángulos de conmutación, asegurando que la forma de onda sintetizada cumpla con los requerimientos

de calidad en términos de contenido armónico. Además, debido a la simetría de la onda de salida y la restricción de que solo pueden ocurrir transiciones ascendentes o descendentes de un solo nivel en cada cambio de estado, el conjunto de ecuaciones SHE puede reducirse significativamente, facilitando su solución computacional (Figura 5).

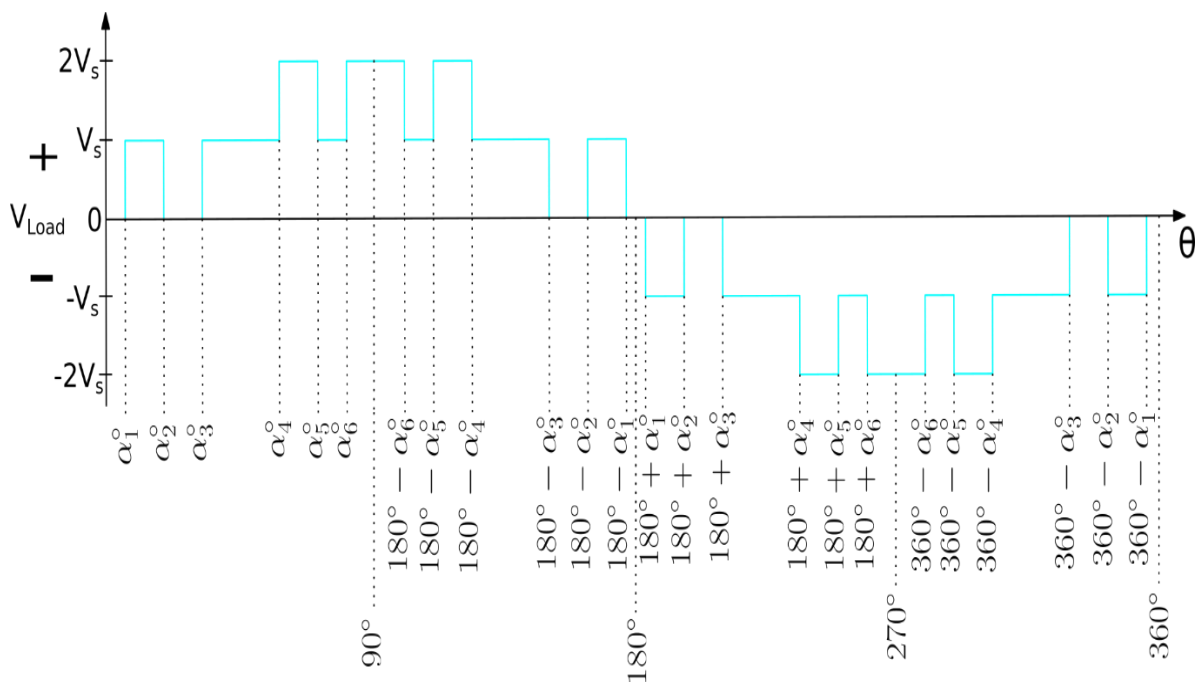


Figura 5. Patrón de onda en un ciclo completo.

Para obtener las soluciones del sistema de ecuaciones para cada ángulo α con un índice de modulación de $m=0.76$, se

empleó el software Wolfram Mathematical [14]. La resolución del sistema se llevó a cabo formulando las ecuaciones no

lineales correspondientes y utilizando la función FindRoot, la cual implementa métodos de Newton, para calcular aproximaciones numéricas de las raíces. iterativo hacia una solución que cumpla con las restricciones del sistema y se encuentre dentro del rango válido de operación del convertidor. Para la simulación de la señal de voltaje de salida del convertidor, se empleó el software MATLAB/Simulink [15].

Se utiliza un bloque Repeat Sequence para definir el patrón de la forma de onda, estableciendo transiciones en ángulos específicos convertidos en tiempo para los cambios ascendentes y descendentes. Para el análisis espectral de los armónicos presentes en la señal, se incorporó el bloque Powergui, dentro del cual se empleó la aplicación FFT Analyzer.

Esta aplicación permitió obtener la Transformada Rápida de Fourier (FFT) de la señal, proporcionando información sobre la distribución de los armónicos en el dominio de la frecuencia, lo que facilita la evaluación del contenido espectral.

3. Resultados

Los resultados de la simulación en MATLAB/Simulink muestran de manera clara cómo se llevó a cabo un diseño muy cuidadoso, basándonos en la simetría de un cuarto de ciclo. Esta simetría permitió distribuir de forma estratégica las transiciones de la onda, lo que nos ayudó

a construir la forma de onda con la precisión deseada. Con un periodo T_s .

$$T_s = \frac{1}{60Hz} \quad (5)$$

En un primer paso, se utiliza software para obtener aproximaciones numéricas de los ángulos de conmutación, asegurándonos de que estos valores reflejan el comportamiento esperado del sistema.

Una vez que se obtuvieron los valores de los ángulos en radianes, se convierten a grados para facilitar su interpretación y aplicación práctica. Obteniendo los siguientes valores (Figura 6):

- α_1 : 1.8206°
- α_2 : 9.9551°
- α_3 : 23.3685°
- α_4 : 60.5542°

Posteriormente, mediante (6), se transforman estos valores en grados a instantes de tiempo, lo que permiten asignar a cada transición su correspondiente punto en la escala temporal. Este procedimiento fue crucial para confirmar que los valores aumentaban de manera ordenada y continua, cumpliendo con el patrón de onda establecido inicialmente.

$$X_t = \frac{T_s}{360} \cdot \alpha_{1-6} \quad (6)$$

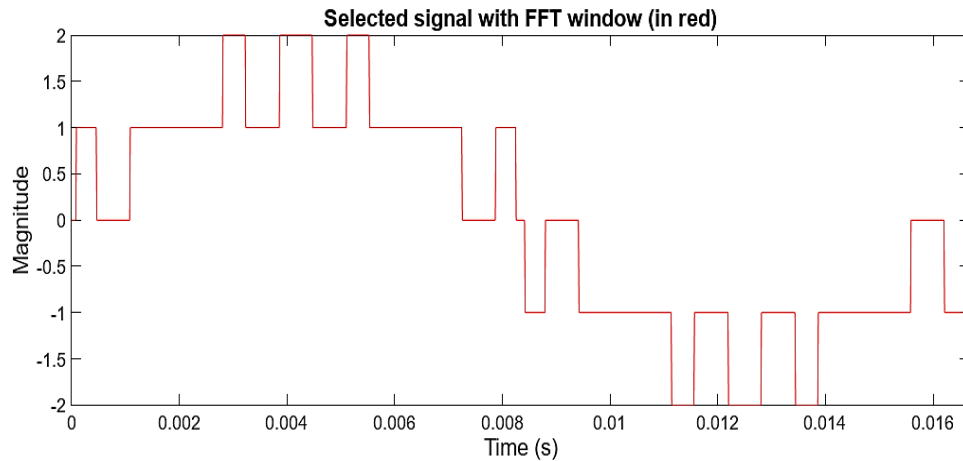


Figura 6. Patrón de onda con los ángulos obtenidos.

Además, al analizar la señal con la herramienta FFT Analyzer del bloque Powergui en la Figura 7, se puede ver cómo se distribuían los armónicos en el espectro. En esta misma Figura se observa que las armónicas de orden bajo, desde la 3ª hasta la 11ª, son efectivamente suprimidas. Sin embargo, la 13ª armónica sigue presente, ya que no fue posible eliminarla debido a las limitaciones en la expansión del sistema de ecuaciones SHE.

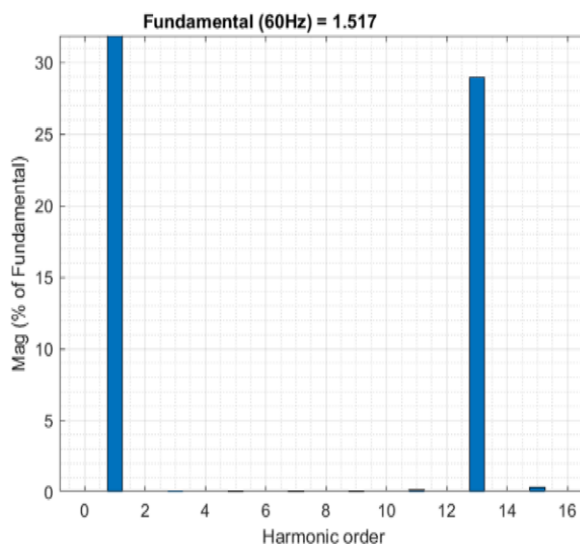


Figura 7. Análisis espectral de armónicos.

Conclusiones

En este trabajo se demostró que la estrategia de SHE es una solución eficaz para mejorar la calidad de la señal en un MMC. Al optimizar los ángulos de conmutación, se logró reducir significativamente los armónicos no deseados sin necesidad de filtros externos, lo que simplifica el diseño y mejora la eficiencia del sistema. El uso de la simetría de un cuarto de ciclo permitió distribuir estratégicamente las transiciones de la onda, asegurando una progresión ordenada y cumpliendo con el patrón deseado. Mediante MATLAB/Simulink, se verifica la validez del método.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo en el marco del proyecto: Implementación de convertidores de DC-DC para el control eficiente del sistema de propulsión en vehículos eléctricos compactos.

Referencias

1. Lesnicar, A., & Marquardt, R. *An innovative modular multilevel converter topology suitable for a wide power range*. IEEE, 3, 6. (2003).
2. Hafez, A.A., Mahmoud, A.A. & Yousef, A.M. Robust and Intelligent Control for Single-stage Grid-Connected Modular Multilevel Converter in PV Applications. J. Electr. Eng. Technol. 16, 917–931 (2021).
3. Raj, T. & Mulla, M. & Patil, Chandrashekhar & Chougule, Gundhar. (2019). A New Method of Selective Harmonic Elimination PWM for H-Bridge Cascaded Multilevel Inverter. Vol. 9. (2019). 6168-6175.
4. Mohammad Ali, Fahad Saleh Al-Ismael, Muhammad Majid Gulzar, Muhammad Khalid, A review on harmonic elimination and mitigation techniques in power converter based systems, Electric Power Systems Research, Volume 234, 2024
5. Xu, L., & Wang, L. Multilevel Converter–Based VSC Transmission Operating Under Unbalanced Network Conditions. IEEE Transactions on Power Delivery, 27(1), 201-208. (2011).
6. Rodríguez, J., Lai, J. S., & Peng, F. Z. Multilevel inverters: a survey of topologies, controls, and applications. IEEE. 49(4), (2002). 724-738.
7. Alfredo Y. Alejandro-López, Pedro M. García Vite, María del Rosario Rivera Espinosa, Rafael Castillo Gutiérrez, Rubén Salas-Cabrera, Jess E. Pedraza Barrón. *Esquema de Regulación de Voltaje en los Submódulos de un Inversor Modular Multinivel*. XIV Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico, 2. (2020).
8. F. G. Turnbull, "Selected harmonic reduction in static dc-ac inverters," *IEEE Trans. Commun. Electron.* vol. 83, July pp. 374-378, 1964.
9. Harchegani, A. K., & Iman-Eini, H. (2015, February). *Selective harmonic elimination pulse width modulation in single-phase modular multilevel converter*. IEEE. In The 6th Power Electronics, (pp. 346-351). (2015).
10. W. Fei, X. Ruan, and B. Wu, "A generalized formulation of quarterwave symmetry SHE-PWM problems for multilevel inverters," in IEEE Trans. on Power Electron. Vol. 24, No. 7, pp. 1758-1766, 2009.
11. G. Konstantinou, "Harmonic Elimination Pulse Width Modulation of Modular and Hybrid Multilevel Converter Topologies," Ph.D thesis, The University of New South Wales, Australia, 2012.
12. Manai, L., Armi, F. & Besbes, M. Optimization-based selective harmonic elimination for capacitor voltages balancing in multilevel inverters considering load power factor. Electric Eng 102, 1493–1511 (2020)
13. Sheikh, M. R. I., Abu-Rub, H., Al-Haddad, K., & Adam, G. (2020). *Harmonic elimination in modular multilevel converters using the Newton-Raphson method*. IEEE Transactions on Industrial Electronics. (2020).
14. Wolfram Research Inc, *Mathematica 14.0*, 2024, <http://www.wolfram.com>
15. MathWorks, *MATLAB 2024a*, <https://la.mathworks.com>

Interfaz gráfica remota para el análisis de sistema solar fotovoltaico con IoT

Del Angel Arredondo Juan Manuel¹, Hernández Ángel Francisca², Reyes García Brenda Lizeth¹, Martínez Salazar Ana Lidia¹, García Vite Pedro Martín^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Juventino Rosas 114, Col. Los Mangos, Cd. Madero, Tamaulipas, C.P. 89440 México.

²Universidad Politécnica de Altamira, Nuevo Libramiento Altamira km 3, Lib. Nte. de Altamira, Santa Amalia, Tamaulipas C.P. 89602 México.

*Autor de correspondencia: pedro.gv@cdmadero.tecnm.mx

RESUMEN

El 2025 marca un punto de inflexión en la adopción de energía solar residencial, impulsado por avances tecnológicos, costos accesibles y mayor conciencia ambiental. En México, su potencial es notable gracias a una irradiación solar promedio de 5.5 kWh/m²/día, aunque con variaciones regionales. Los paneles solares son clave para reducir el impacto ambiental, pero su eficiencia depende de un monitoreo constante, un reto en zonas con infraestructura limitada. Este proyecto desarrolló un prototipo para supervisar parámetros clave (voltaje, corriente, temperatura y radiación) mediante un sistema modular: adquisición de datos con Arduino, transmisión inalámbrica con XBee, y procesamiento en Raspberry Pi con visualización en pantalla Nextion. Se integró Firebase para almacenamiento en la nube y acceso remoto. Los resultados preliminares indican que el prototipo logra mediciones precisas y comunicación estable, aunque se encuentra en fase de evaluación para validar su desempeño en condiciones operativas reales.

Palabras clave: **energía solar, monitoreo remoto, paneles fotovoltaicos, transmisión inalámbrica, Firebase**

ABSTRACT

2025 marks a turning point in residential solar adoption, driven by technological advancements, affordable costs, and growing environmental awareness. In Mexico, its potential is significant due to an average solar irradiance of 5.5 kWh/m²/day, though with regional variations. Solar panels are crucial for reducing environmental impact, but their efficiency requires constant monitoring, a challenge in areas with limited infrastructure. This project developed a prototype to monitor key parameters (voltage, current, temperature, and radiation) through a modular system, comprising an Arduino-based data acquisition, XBee wireless transmission, and Raspberry Pi processing, with visualization on a Nextion display. The Firebase was integrated for cloud storage and remote access. Preliminary results indicate that the prototype achieves accurate measurements and stable communication,

although its performance remains under evaluation to validate its performance in real operating conditions.

Keywords: solar energy, remote monitoring, photovoltaic panels, wireless transmission, Firebase

1. Introducción

La electricidad es un motor fundamental del desarrollo económico: el consumo global crecerá un 2.5% anual hasta 2026, impulsado por la industrialización y electrificación del transporte [1], con países emergentes representando el 70% de este aumento [2]. No obstante, persiste la dependencia de combustibles fósiles (60% de la generación eléctrica mundial), lo que exige acelerar la transición hacia energías renovables.

La energía solar es clave en este proceso. Para 2030, se proyecta una capacidad instalada mundial de 3,500 GW [3], con inversiones que generan hasta 8 veces más empleos que los combustibles fósiles [3]. En México, el potencial solar técnico es de 5,000 GW, pero solo se aprovecha el 5%. Aun así, la energía solar distribuida ha crecido un 30% anual (2020-2024) gracias a la reducción de costos [4], y se espera que las renovables cubran el 35% de la generación eléctrica nacional para 2030 [5].

Estudios recientes han demostrado la viabilidad de sistemas de monitoreo fotovoltaico basados en IoT y tecnologías inalámbricas. Por ejemplo, Prasanna Rani et al. [6] implementaron un prototipo con ATmega328 y ThingSpeak para visualización remota, mientras que Khan et al. [7] validaron el uso de XBee y

sensores de bajo costo para caracterizar curvas I-V/P-V. Sin embargo, estas soluciones no integran almacenamiento en la nube con capacidades de análisis en tiempo real, una brecha abordada en nuestro trabajo mediante Firebase. Adicionalmente, Manzano et al. [8] destacan la importancia de arquitecturas escalables basadas en cloud computing, alineándose con nuestro diseño modular que combina Raspberry Pi, XBee y servicios SaaS.

Este proyecto propone un sistema integrado de hardware y software para monitorear variables críticas en paneles solares (voltaje, corriente, temperatura, irradiación), transmitir datos inalámbricamente mediante XBee y almacenarlos en la nube (Firebase), facilitando análisis y toma de decisiones en tiempo real. A diferencia de soluciones comerciales [9, 10], nuestro prototipo prioriza:

- Modularidad: Adquisición de datos (Arduino), transmisión (XBee), procesamiento (Raspberry Pi) y visualización (Nextion).
- Accesibilidad remota: Interfaz gráfica local y plataforma cloud.
- Bajo costo: Sensores calibrados y componentes de código abierto.

En la Figura 1 se muestra el diagrama de conexión del sistema propuesto.

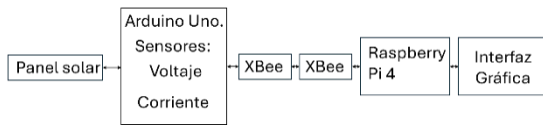


Figura 1. Diagrama de conexión.

En síntesis, la implementación de este sistema de monitoreo aborda eficientemente la variabilidad en la generación de energía fotovoltaica, proporcionando al mismo tiempo una plataforma adaptable para entornos con recursos limitados.

2. Metodología

Este proyecto se implementó mediante una metodología sistemática que facilitó la articulación entre componentes hardware y software, permitiendo el monitoreo a distancia de sistemas fotovoltaicos. La estrategia metodológica se organizó en etapas secuenciales, donde cada fase con sus metas particulares coadyuvó al logro de los objetivos globales del sistema. Para el diseño del sistema, se segmentó en 3 fases principales:

- Módulo de adquisición de datos.
- Módulo de transmisión inalámbrica.
- Módulo de procesamiento y visualización.
- Integración de Firebase.

2.1 Módulo de adquisición de datos

En la Figura 2 se muestra el módulo de adquisición de datos, el cual es el responsable de capturar las variables clave que afectan el rendimiento del panel solar.

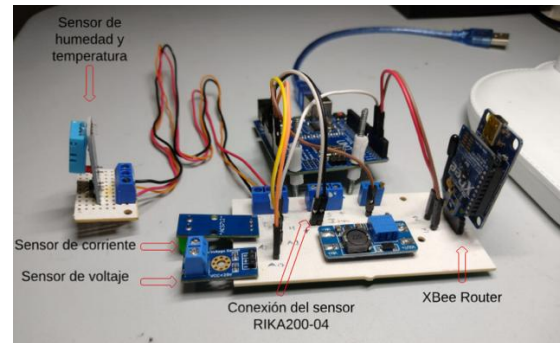


Figura 2. Sistema de adquisición de datos (SAD).

Este sistema de adquisición, implementado sobre una plataforma Arduino Uno, procesa en tiempo real las mediciones obtenidas de los sensores asociados. La Figura 3 detalla el diseño del módulo, cuya función principal es monitorear las variables operacionales que influyen directamente en el desempeño del panel solar.

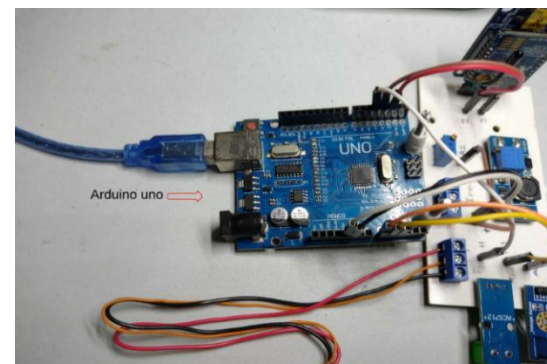


Figura 3. Módulo de adquisición de datos con Arduino UNO.

El sensor FZ0430 (Figura 4) registra el voltaje producido por el panel fotovoltaico. Esta unidad se interconecta con los puertos analógicos del Arduino, donde la señal eléctrica es transformada en datos digitales para su posterior procesamiento.



Figura 4. Sensor de voltaje FZ0430.

El módulo ACS712T 20A (Figura 5) monitorea el flujo de corriente generado por el sistema fotovoltaico. Este componente, al igual que el sensor de voltaje, se integra al sistema mediante los puertos analógicos del Arduino para su procesamiento digital.

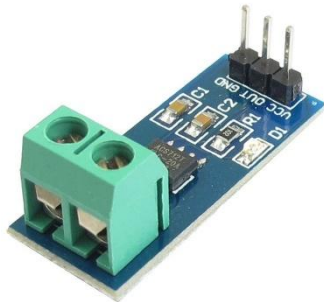


Figura 5. Sensor de corriente ACS712.

Como se observa en la Figura 6, el módulo DHT11 supervisa las condiciones climáticas locales (temperatura y humedad) que afectan al sistema fotovoltaico, generando lecturas en formato digital para su integración directa con el sistema de monitoreo.

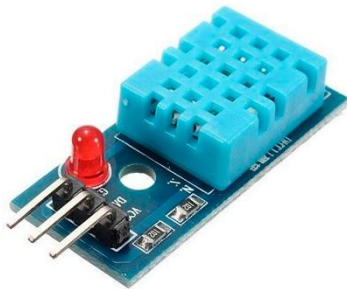


Figura 6. Sensor de temperatura y humedad DHT11.

El sensor RIKA 200-04, mostrado en la Figura 7, cuantifica la irradiancia solar recibida por el panel fotovoltaico. Para su integración con el Arduino, se implementa un convertidor de voltaje a corriente (4-20 mA) a un rango de voltaje compatible con las entradas analógicas del microcontrolador.



Figura 7. Sensor de irradiancia solar RIKA200-04.

Las mediciones de los sensores son analizadas por el Arduino usando rutinas algorítmicas específicas, permitiendo el cálculo de variables derivadas como la potencia generada. Estos resultados se guardan temporalmente en la memoria interna del microcontrolador para su posterior transmisión a la siguiente etapa del sistema.

Todo el sistema de adquisición de datos mostrado en la Figura 8 se encuentra alojado en un gabinete protector, diseñado para resguardar los componentes electrónicos de factores ambientales como polvo, humedad e interferencias electromagnéticas, garantizando así la integridad de las mediciones y la continuidad operativa del sistema.

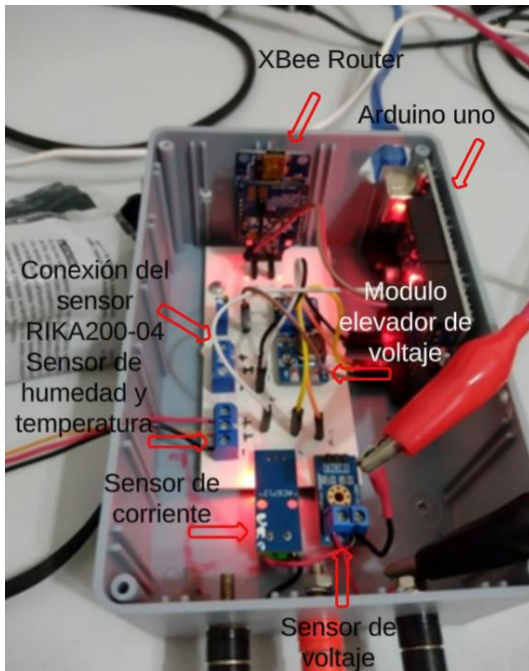


Figura 8. Sistema de adquisición de datos instalado en gabinete de protector.

2.2 Módulo de transmisión inalámbrica

Tras el procesamiento inicial en el Arduino, los datos se transmiten mediante comunicación inalámbrica a una unidad central para su análisis y representación gráfica. Esta funcionalidad se implementa utilizando módulos XBee Pro S2 (Figura 8), los cuales operan bajo el protocolo de red Zigbee para garantizar una transferencia robusta de la información.

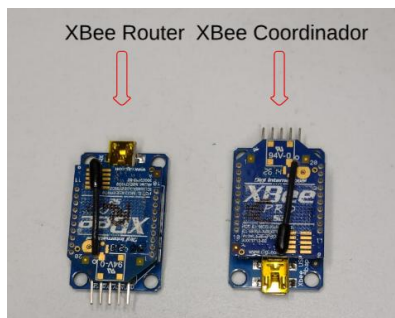


Figura 8. XBee Router / XBee Coordinador.

Los módulos se configuraron mediante el software XCTU [9], implementando un enlace en modo AT (Application Transparent). Esta configuración facilita la comunicación directa entre el Arduino, que opera como router, y la Raspberry Pi, que actúa como coordinador.

2.3 Módulo de procesamiento y visualización

El sistema de procesamiento y visualización se ejecuta en una Raspberry Pi 4, encargada de recibir la información transmitida por los módulos XBee. Su función incluye el procesamiento de datos, su representación gráfica en una interfaz y el almacenamiento local y en la nube. Mediante un script en Python, la Raspberry Pi recoge, procesa y organiza las mediciones de los sensores, además de calcular indicadores clave, como la eficiencia del panel solar. Los datos procesados se visualizan en una pantalla Nextion de 7", conectada a la Raspberry Pi mediante cables Dupont. La interfaz fue diseñada utilizando el software Nextion Editor [10], como se ilustra en la Figura 9.

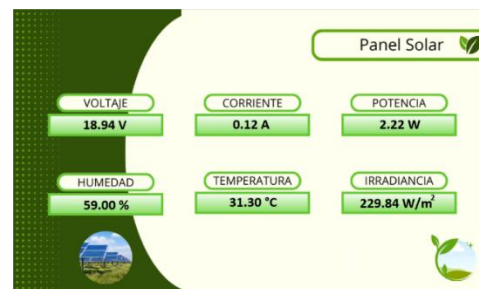


Figura 9. Editor de interfaz Nextion.

Esta interfaz brinda la capacidad de monitorear en tiempo real los parámetros evaluados, incluyendo voltaje, corriente, temperatura, humedad e irradiancia. La

información recolectada se guarda de manera local en una base de datos SQLite, lo que posibilita su análisis posterior. Asimismo, se incorporó la conexión con Firebase, una plataforma en la nube que posibilita el almacenamiento externo de los datos. De esta forma, se garantiza la disponibilidad de la información desde cualquier dispositivo con acceso a internet. La carcasa de la

pantalla se fabricó mediante impresión 3D, dividida en tres componentes: tapa delantera, tapa trasera y un protector específico para la Raspberry Pi. Este enfoque modular, ilustrado en la Figura 10, optimiza la accesibilidad durante el montaje y asegura la integridad de los dispositivos.

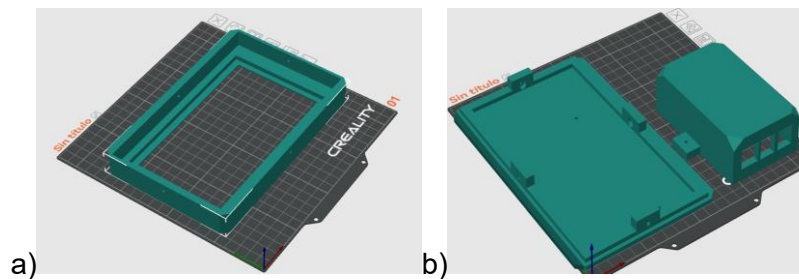


Figura 10. Modelado de las tres piezas que integran la pantalla, a) tapa delantera de carcasa para pantalla Nextion, y b) tapa trasera de carcasa para pantalla Nextion y tapa de Raspberry.

2.4 Integración de Firebase

Para habilitar el monitoreo remoto en tiempo real, se implementó una solución basada en Firebase [11]. El proceso inició con la creación de un nuevo proyecto en la plataforma Firebase¹, servicio que provee almacenamiento en la nube para acceso y análisis de datos desde cualquier ubicación geográfica. Dentro de la configuración del proyecto, se activó la Realtime Database en la sección correspondiente y se generó un archivo JSON con las credenciales de autenticación, tal como se ilustra en la Figura 11. La comunicación entre la Raspberry Pi y Firebase se estableció mediante un programa en Python desarrollado específicamente para esta aplicación. Este código gestiona tanto la

autenticación del dispositivo como el envío periódico de datos a la base de datos en tiempo real, asegurando una transmisión confiable y eficiente de la información.

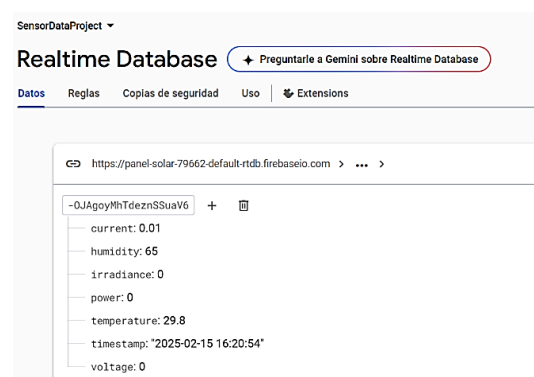


Figura 11. Historial en la base de datos de Firebase de Google.

¹ disponible en <https://firebase.google.com/docs/database>

3. Resultados

En su fase preliminar, el Sistema de Adquisición de Datos (SAD) fue implementado en una placa de pruebas experimental (Figura 12). Esta configuración inicial permitió realizar pruebas de funcionalidad y calibración de los sensores, así como depurar el código del programa, antes de pasar a la implementación final del sistema. Una vez verificada la operación adecuada de todos los componentes sensores y del programa de control, se procedió al diseño y fabricación de una placa de circuito impreso (PCB) dedicada (Figura 13). Esta optimización permitió alcanzar mayores niveles de estabilidad operacional y confiabilidad del sistema completo

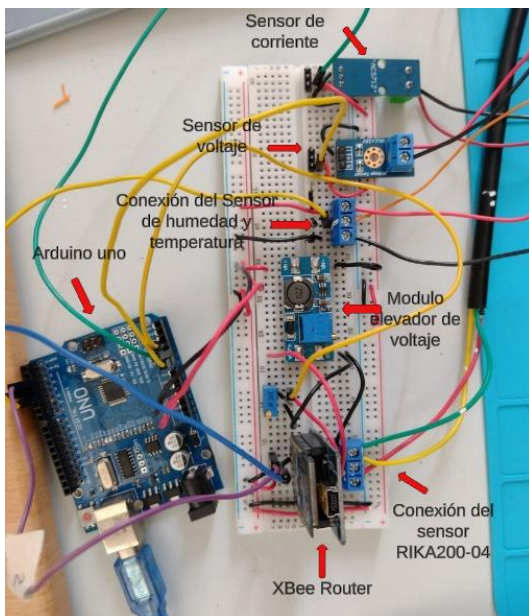


Figura 12. Prueba de los sensores en protoboard.

En la etapa de interconexión, se realizó el cableado de los sensores y el panel solar al microcontrolador Arduino, con verificación punto por punto de cada

conexión (Figura 14). La alimentación del sistema se resolvió mediante un power bank que suministró energía tanto al Arduino como a la Raspberry Pi, proporcionando así operación independiente de fuentes fijas.

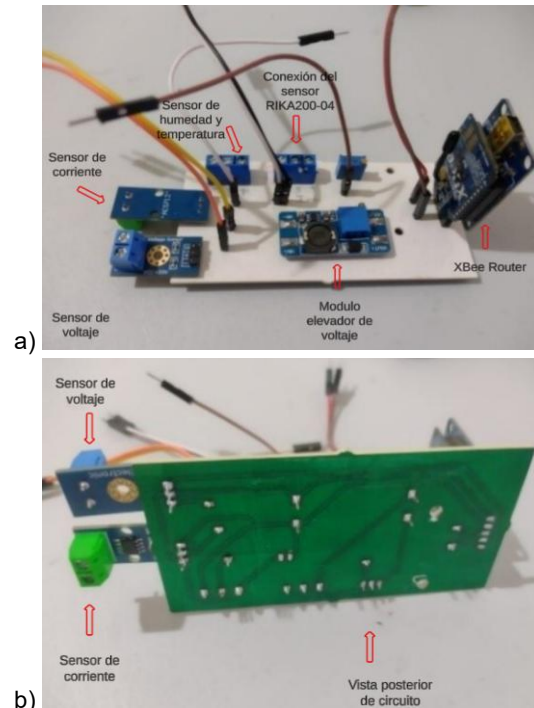


Figura 13. Circuito desarrollado en PCB: a) vista frontal, b) vista trasera



Figura 14. Conexión de sensores y panel al Arduino.

Se implementó una resistencia de $150\ \Omega$ como carga simulada (Figura 15) para evaluar el desempeño del sistema bajo condiciones operacionales realistas. El prototipo demostró funcionalidad básica en pruebas preliminares, capturando datos de voltaje, corriente y radiación. Sin embargo, se requiere evaluación adicional con datos experimentales a largo plazo para caracterizar su comportamiento dinámico y respuesta bajo demandas variables de energía.

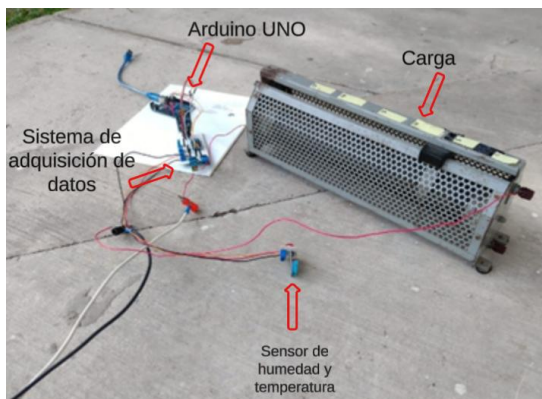


Figura 15. Conexión de circuito y carga.

Conclusiones

El prototipo de monitoreo desarrollado integra sensores especializados (FZ0430 para voltaje, ACS712T para corriente, DHT11 para temperatura/humedad y RIKKA 200-04 para irradiancia) junto con comunicación XBee, demostrando viabilidad técnica en las pruebas iniciales para la recopilación y transmisión de datos. La implementación de una interfaz visual en la pantalla Nextion, combinada con almacenamiento local (SQLite) y en la nube (Firebase), ha permitido visualizar y gestionar la información del sistema fotovoltaico en tiempo real.

La arquitectura modular del sistema, junto con su autonomía energética mediante power bank, lo posiciona como una solución prometedora para entornos aislados con infraestructura limitada. La integración de componentes en un PCB personalizado y el uso de soportes impresos en 3D han contribuido a la robustez física del prototipo, protegiéndolo contra condiciones ambientales adversas.

Si bien los resultados preliminares son alentadores en cuanto a la precisión de las mediciones y estabilidad de la comunicación inalámbrica, el sistema requiere validación experimental continua para evaluar su desempeño a largo plazo y bajo diversas condiciones operativas. Esta solución representa un avance significativo en sistemas de monitoreo fotovoltaico accesibles, con potencial para aplicaciones en sectores industriales, agrícolas y de investigación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo en el marco del proyecto: Implementación de convertidores de DC-DC para el control eficiente del sistema de propulsión en vehículos eléctricos compactos.

Referencias

1. IEA. (2023). *Electricity Market Report 2023*. Disponible en: <https://www.iea.org>

2. IRENA. (2022). *Renewable Power Generation Costs in 2022*. <https://www.irena.org>
3. BloombergNEF. (2024). *Solar Energy Investment Trends*. <https://about.bnef.com>
4. CONUEE. (2023). *Potencial de Energías Renovables en México*. <https://www.gob.mx/conuee>
5. CFE. (2023). *Programa de Expansión del Sistema Eléctrico Nacional*.
6. Prasanna Rani, D.D., et al. (2021). IoT based smart solar energy monitoring systems. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.293>.
7. Khan, M., et al. (2019). Designing and implementation of energy-efficient wireless photovoltaic monitoring system. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 30(4), e3685. <https://doi.org/10.1002/ett.3685>.
8. Manzano, S., et al. (2015). An overview of remote monitoring PV systems... *IEEE Latin America Transactions*, 13(12), 1–8.
9. "Digi International, Digi XCTU Configuration Platform for XBee/RF Solutions, 2017.
10. "ITEAD, Nextion Editor User Guide (Version 1.65.1)", 2023. [En línea]. Disponible: <https://nextion.itead.cc/resources/download/nextion-editor/>
11. "Google, Firebase Realtime Database Documentation", 2024. [En línea].

Comparación de la degradabilidad de productos desechables biodegradables en condiciones de composta y vermicomposta

Avilés Mariño Ana Lilia¹, Paredes Dávila Cielo Johana¹, Becerra Turrubiates Luis

Gregorio¹, Maya Albarrán Erika Cecilia^{2*}

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Altamira, Carretera Tampico – Mante, km 24.5 C.P. 89600, Altamira, Tam.

²Universidad Tecnológica del Mar de Tamaulipas Bicentenario, Carretera Estatal 52 Soto La Marina - La Pesca, km 46 S/N, La Pesca, Tam.

*Autor de correspondencia: ececiliamaya2211@utmart.edu.mx

RESUMEN

El presente trabajo resalta la importancia de abordar los retos que nos marca el desarrollo del uso de productos elaborados de plásticos de un solo uso, que presentan un problema ambiental debido a su largo periodo de degradación. Es por esto, que se realizó un bioensayo para comparar la velocidad de degradación de productos etiquetados como “biodegradables” elaborados a base de fibra de caña, fécula de maíz y de cartón frente a materiales naturales (caña molida, cartón ligero y fécula de maíz), utilizando vermicomposta con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Se emplearon nueve tanques, distribuidos en grupos según el material añadido, y un testigo, realizando un monitoreo regular de temperatura, humedad, pH y exposición a la luz. Al finalizar, se recuperó entre 2 g y 50 g del material inicial (100 g), evidenciando degradaciones del 50 % al 98 %. El plato hondo y el vaso térmico mostraron niveles altos de degradación (85 - 90 %), mientras que el tenedor etiquetado como biodegradable alcanzó solo el 50 % en uno de los tanques. Los materiales naturales se degradaron entre 80 % y 95 %. Se concluye que no todos los productos “biodegradables” se comportan igual bajo condiciones de compostaje natural, lo que resalta la necesidad de regulaciones claras sobre su uso y etiquetado.

Palabras clave: **biodegradables, vermicomposta, *Eisenia foetida***

ABSTRACT

This paper highlights the importance of addressing the challenges posed by the development and use of products made from single-use plastics, which present an environmental problem due to their prolonged degradation period. For this reason, a bioassay was conducted to compare the degradation rates of products labeled as "biodegradable" made from sugarcane fiber, cornstarch, and cardboard with those of natural materials (ground sugarcane, lightweight cardboard, and cornstarch), using vermicompost with the Californian red worm (*Eisenia foetida*). Nine tanks, distributed in groups according to the material added, and a control were used, with regular monitoring of temperature, humidity, pH, and light exposure. Upon completion, between 2 g and 50 g of the initial



material (100 g) was recovered, demonstrating degradation rates of 50% to 98%. The floor and the thermal tank exhibit high levels of degradation (85–90%), whereas the container labeled as biodegradable shows only 50% degradation in one of the tanks. Natural materials degrade between 80% and 95%. It is concluded that all “biodegradable” products behave according to the conditions of natural composting, where clear regulations are necessary for their use and labeling.

Keywords: **biodegradable, vermicompost, *Eisenia foetida***

1. Introducción

En la actualidad, el uso de productos desechables etiquetados como “biodegradables” ha aumentado en respuesta a la creciente preocupación ambiental [7]. Sin embargo, la verdadera biodegradabilidad de estos productos puede variar dependiendo del tipo de material y las condiciones del entorno de descomposición [5]. La vermicomposta, que emplea lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*), es una alternativa sostenible para acelerar la degradación orgánica, mientras que la composta natural también representa un método eficiente si se controlan parámetros como la humedad, el pH y la temperatura [3,8].

El objetivo general de este estudio fue verificar el tiempo de degradabilidad de productos desechables vendidos como biodegradables, comparándolos con los materiales de los cuales están hechos, bajo condiciones controladas de composta y vermicomposta.

1.1 Lombriz roja Californiana

De las más de 8000 especies de lombrices que se conocen, únicamente 2500 han sido clasificadas, y solo un reducido número de estas ha logrado ser domesticado [1]. Los agricultores se interesan en las lombrices por dos

razones principales. En primer lugar, la *Eisenia foetida*, conocida como lombriz roja rayada, es una especie del género *Eisenia* y pertenece a la familia Lumbricidae, dentro del orden de los haplotáxidos y la subclase de los oligoquetos. Esta lombriz californiana es la más utilizada en el proceso de compostaje, ya que produce un abono excepcionalmente valioso, conocido comúnmente como humus [6].

Dependiendo de sus hábitos alimenticios, las lombrices pueden alimentarse de restos vegetales y/o de suelo. Al consumir materiales vegetales, ayudan en su fragmentación y descomposición, lo que favorece la incorporación de materia orgánica al suelo y la liberación de nutrientes, como el nitrógeno. Esto, a su vez, estimula la actividad de microorganismos y el crecimiento de las plantas. Además, al aumentar el carbono orgánico en el suelo, su actividad puede contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero, ayudando a regular el clima terrestre. Por otro lado, las lombrices que se alimentan de suelo ayudan a descomponer los minerales, gracias a las enzimas presentes en su sistema digestivo [9].



Las lombrices se reproducen más eficazmente en un rango de temperatura de 14 a 27 °C, y su reproducción disminuye durante los meses más calurosos y fríos. Si la temperatura baja de 7 °C, la reproducción se detiene, aunque continúan produciendo abono, aunque en menor cantidad. Las lombrices adultas pesan entre 0.24 y 1.4 gramos, consumiendo diariamente una cantidad equivalente a su peso; de este consumo, aproximadamente el 55% se convierte en abono, lo que hace que la lombricultura sea muy atractiva, incluso considerando la producción de carne de lombriz a partir de residuos.

Tras un periodo de incubación de 14 a 23 días, las lombrices alcanzan la madurez cuando pesan aproximadamente 0.240 gramos (entre 2.5 y 3 cm). Estas nuevas lombrices alcanzan su madurez sexual a los dos meses y se reproducen cada siete días a lo largo de su vida, que puede alcanzar hasta 4.5 años en condiciones de laboratorio y más de un año en el entorno natural [2,10].

2. Metodología

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Altamira, Carretera Tampico-Mante km. 24.5, Ejido Santa Amalia, Altamira Tamaulipas en el Taller de “Lombricompostaje” a partir del mes de agosto a diciembre. Se seleccionaron un total de 9 tanques plásticos de 200 litros que fueron cortados por la mitad, el tratamiento previo fue lavado, enumerados y sellados para evitar fugas de lixiviado. Los tanques fueron

distribuidos de la siguiente forma (Figura 1):

- Tanques 1 a 6: utilizados para el proceso de vermicompostaje con lombrices rojas californianas.
- Tanques 7, 8 y 9: utilizados como testigos sin lombrices, simulando un proceso de compostaje tradicional.

El sustrato se recolectó del rancho del Instituto Tecnológico de Altamira, y consistió en una mezcla de tierra con hojarasca en proporción natural. A cada tanque se le adicionaron 10 kg de sustrato, distribuidos en una capa uniforme.



Figura 1. Área de lombricomposta con los tanques

2.1. Selección y adición de materiales biodegradables

Se seleccionaron seis tipos de materiales, tres de ellos eran productos desechables etiquetados como biodegradables y los otros tres eran materiales base de los cuales supuestamente estaban elaborados los productos biodegradables compostables:

Productos desechables biodegradables:

1. Plato hondo (bagazo de caña)
2. Vaso térmico (papel con recubrimiento de PLA)
3. Tenedor (fécula de maíz)

Materiales base:

1. Bagazo de caña molida
2. Cartón de grosor ligero
3. Fécula de maíz granulada

Los materiales fueron distribuidos en los tanques de la siguiente manera:

- Tanques 1 y 4: plato hondo biodegradable
- Tanques 2 y 5: vaso térmico biodegradable
- Tanques 3 y 6: tenedor de fécula de maíz biodegradable
- Tanques 7, 8 y 9 (testigos): bagazo molido, cartón ligero y fécula de maíz respectivamente

A cada tanque se le incorporaron exactamente 100 g del material correspondiente, cortados (para facilitar el proceso de degradación) cuidadosamente pesados y colocados sobre el sustrato.

2.2. Adición de lombrices

Se adquirieron lombrices rojas californianas (*Eisenia fetida*) del criadero de lombricultura del (tecNM) ITA. Se contabilizaron 100 organismos en total, incluyendo lombrices adultas y juveniles por tanque. Las lombrices fueron distribuidas proporcionalmente en los tanques 1 a 6, colocándose 100 lombrices por tanque, garantizando así la actividad biológica del sistema vermicompostador. (Figura 2).



Figura 2. Adición de lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*).

2.3. Manejo de humedad y riego

El riego fue realizado de manera controlada de lunes a viernes, agregando 100 ml de agua potable por tanque cada día. Se evitó la acumulación excesiva de humedad, la cual puede afectar negativamente a las lombrices. La humedad se monitoreó utilizando un medidor "Three Way Meter", y se mantuvo en el intervalo ideal de 60 a 90%, ajustándose cuando fue necesario (Figura 3).



Figura 3. Instrumento para registro de temperatura y humedad.

2.4. Monitoreo de parámetros ambientales

Se evaluaron cuatro parámetros ambientales fundamentales para el éxito del proceso:

1. Humedad: medida tres veces por semana directamente en el sustrato con un higrómetro de contacto. Se tomaron acciones correctivas en caso de desviaciones.
2. pH: monitoreado tres veces por semana con un medidor digital portátil de tres pasos. Se buscó mantenerlo en un rango entre 6.0 y 8.0, adecuado para la lombriz roja.
3. Temperatura: registrada con un termómetro de mercurio, directamente sobre la superficie del sustrato, también tres veces por semana. Se identificaron oscilaciones derivadas de las condiciones climáticas locales.
4. Luz: medida de igual forma con el medidor de tres pasos, garantizando una exposición mínima, ya que las lombrices son foto fóbicas.

2.5. Evaluación de la degradación

Después de transcurrido el periodo agosto-diciembre se procedió a la recuperación del material remanente en cada tanque. Se retiró manualmente el material visible, se limpió y se pesó en una balanza digital para determinar la pérdida de masa por degradación. La diferencia entre el peso inicial (100 g) y el peso final permitió calcular el porcentaje de degradación con la ecuación 1:

$$\% D = 100 \left[\frac{P_i - P_f}{P_i} \right] \quad (1)$$

Donde

$\%D$ es el porcentaje de degradación

P_i es el peso inicial [g]

P_f es el peso final [g]

Estos resultados fueron tabulados y comparados entre los distintos tipos de materiales y métodos (vermicomposta vs composta tradicional).

3. Resultados y discusión

Los resultados del bioensayo mostraron diferentes niveles de degradación entre los materiales etiquetados como “biodegradables” y los materiales naturales utilizados como testigos. Se observó una degradación del 90% en los tanques 1 y 4 (plato hondo), del 85% en los tanques 2 y 6 (vaso térmico) y un 50% en el tanque 3 (tenedor biodegradable), mientras que el mismo material en el tanque 6 alcanzó un 85%. Por su parte, los tanques testigo 7, 8 y 9 que contenían caña de azúcar molida, cartón y fécula de maíz mostraron una degradación del 80%, 95% y 85% respectivamente.

Esto sugiere que, aunque algunos productos etiquetados como biodegradables presentan una degradación notable, no todos alcanzan niveles comparables con materiales naturalmente compostables. (Tabla 1).

Los resultados indican que la efectividad de la degradación de productos “biodegradables” varía ampliamente dependiendo del tipo de material y el entorno (composta vs vermicomposta). El plato hondo y el vaso térmico alcanzaron niveles de descomposición similares a los materiales testigo, lo cual podría avalar su

etiquetado como compostables. Sin embargo, el tenedor biodegradable mostró un bajo desempeño en uno de los tanques (50%), lo que pone en duda su efectividad en ambientes de compostaje casero o natural, especialmente cuando no se especifica el tipo de compostaje requerido (industrial o doméstico) [9].

Tabla 1. Resultado en porcentajes de biodegradabilidad

Tanque	Material agregado	Degradación (%)
1 y 4	Plato hondo	90
2 y 6	Vaso térmico	85
3	Tenedor	50
Testigos		
Tanque	Material agregado	Degradación (%)
7	Caña de azúcar molida	80
8	Cartón	95
9	fécula de maíz	85

Estos resultados coinciden con investigaciones previas que advierten sobre el uso indiscriminado del término “biodegradable”, especialmente cuando los productos requieren condiciones específicas para degradarse eficientemente [4].

La eficacia del vermicomposteo también quedó demostrada como un proceso viable para la descomposición de ciertos materiales, siempre que se mantengan adecuadamente los parámetros físicos como temperatura, pH y humedad.

Conclusiones

El bioensayo permitió evaluar comparativamente la degradabilidad de productos etiquetados como biodegradables frente a materiales naturales. Se concluye que no todos los productos etiquetados como “biodegradables” presentan una descomposición eficiente en condiciones de composta natural o vermicomposta. Mientras algunos mostraron un comportamiento semejante al de los materiales testigo, otros, como el tenedor biodegradable, demostraron una degradación significativamente menor. Esta variabilidad evidencia la necesidad de normativas más estrictas en el etiquetado y certificación de estos productos, y sobre todo la certeza del tiempo de degradación marcados en el empaquetado de los productos para su venta al público. así como mayor concientización sobre las condiciones necesarias para su correcta degradación.

Referencias

1. Acosta M., L. E., Lombricultura: La alternativa ecológica para el futuro. Otra fuente promisorio de explotación comercial (Editorial Medellín, Medellín), 1992.
2. Brinkhurst, R. O., Aquatic Oligochaetes: Proceedings of the 7th International Symposium on Aquatic Oligochaetes, “Retrospect and prospect: reflections on forty years of study of aquatic oligochaetes”, (Springer Netherlands, Dordrecht), Pp. 9–19, (1999).
3. Domínguez, J., & Edwards, C. A., Vermiculture Technology, “Biology and Ecology of Earthworm Species

- Used for Vermicomposting”, (CRC Press, Boca Raton), Pp. 27–40, (2011).
4. Emadian, S. M., Onay, T. T., & Demirel, B., “Biodegradation of bioplastics in natural environments”, *Waste Management*, Vol. 59, (2017), Pp. 526–536. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.006>
 5. Kale, G., Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Selke, S. E., & Singh, S. P., “Compostability of bioplastic packaging materials: An overview”, *Macromolecular Bioscience*, Vol. 7, No. 3, (2007), Pp. 255–277. <https://doi.org/10.1002/mabi.200600168>
 6. Mamani-Mamani, G., Mamani-Pati, F., Sainz-Mendoza, H., & Villca-Huanaco, R., “Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia* spp.) en sistemas de lombricompostaje de residuos orgánicos”, *Revista de la Sociedad de Investigación Selva Andina*, Vol. 3, No. 1, (2012), Pp. 44–54. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=361333625005>
 7. Nair, S., “Understanding biodegradable plastics: Challenges and future directions”, *Environmental Chemistry Letters*, Vol. 19, (2021), Pp. 2571–2583. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01238-2>
 8. Ruiz, M., Pastor, K., & Acevedo, A., “Biodegradabilidad de artículos desechables en un sistema de composta con lombriz”, *Información Tecnológica*, Vol. 24, No. 2, (2013), Pp. 47–56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000200007>
 9. Song, J. H., Murphy, R. J., Narayan, R., & Davies, G. B. H., “Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics”, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 364, No. 1526, (2009), Pp. 2127–2139. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0289>
 10. Villegas-Cornelio, V. M., & Laines Canepa, J. R., “Vermicompostaje: avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos”, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Vol. 8, No. 2, (2017), Pp. 393–406. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.59>

Transversalidad Científica y Tecnológica, Volumen 9,
Número 1; se terminó de editar en julio de 2025. Queda
prohibida su reproducción parcial o total.

Todos los derechos reservados.

ATICTAC, MMXXV