

Propuesta innovadora de generación de energía mediante baldosas de presión para espacios educativos

Innovative proposal for energy generation using pressure tiles for educational spaces

Alex S. Cordero-Moreno ^a, Abdel J. Alarcón-Martínez ^b, Clifford J. Herrera-Castrillo ^c

Abstract:

This study proposes an innovative, clean and sustainable solution for the lighting of the Oscar Arnulfo Romero school in Estelí, Nicaragua. Given the high consumption of traditional halogen luminaires and their obvious impact on costs, a system based on pressure tiles is proposed, which converts the mechanical energy of students' and teachers' footsteps into electricity. This project is based on energy efficiency and the conversion of kinetic energy into electrical energy, using a mechanism of gears and rack and pinion coupled to a motor which will convert this energy. A simulation was carried out in Blender to visualize the operation of the system in order to better optimize its design. The results showed that the project is feasible and that it can really contribute in a significant way to the reduction of the electrical consumption of the enclosure. It is also clarified that, although the simulation results are promising, it is recognized that an evaluation of the efficiency and durability of the system under real use conditions is necessary. Finally, it is hoped that this initiative will not only help to reduce costs but will also promote the use of renewable energies in the academic, social and cultural spheres.

Keywords:

Kinetic energy, pressure tiles, electricity generation, school sustainability, energy efficiency

Resumen:

El presente estudio propone una solución innovadora, limpia y sustentable para la iluminación de recinto escolar Oscar Arnulfo Romero de Estelí, Nicaragua. Dado el consumo elevado de las luminarias alógenas tradicionales y su obvio impacto en los costos, se plantea un sistema basado en baldosas de presión, las cuales convierten la energía mecánica de los pasos de estudiantes y maestros en electricidad. Este proyecto se fundamenta en la eficiencia energética y la conversión de la energía cinética en eléctrica, utilizando un mecanismo de engranajes y cremallera acoplados a un motor en el cual convertirá dicha energía. Se realizó una simulación en Blender para visualizar el funcionamiento del sistema y así poder optimizar de mejor forma su diseño. Los resultados mostraron que el proyecto es viable y que verdaderamente puede contribuir de una manera significativa a la reducción del consumo eléctrico del recinto. También se aclara que, aunque los resultados de la simulación sean prometedores, se reconoce que es necesaria una evaluación de la eficiencia y durabilidad del sistema en condiciones de uso real. Por último, se espera que esta iniciativa no solo ayude a la reducción de los costos, sino que fomente el uso de energías renovables tanto en el ámbito académico como en el social y cultural.

Palabras Clave:

Energía cinética, baldosas de presión, generación eléctrica, sostenibilidad escolar, eficiencia energética

^a Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua | Centro Universitario Regional de Estelí | Estelí-Estelí | Nicaragua, <https://orcid.org/0009-0008-0209-5644>, Email: alex.cordero25509212@estu.unan.edu.ni

^b Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua | Centro Universitario Regional de Estelí | Estelí-Estelí | Nicaragua, <https://orcid.org/0009-0007-5699-9094>, Email: abdel.alarcon25502645@estu.unan.edu.ni

^c Autor de Correspondencia, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua | Centro Universitario Regional de Estelí | Estelí-Estelí | Nicaragua, <https://orcid.org/0000-0002-7663-2499>, Email: cliffor.herrera@unan.edu.ni

Introducción

Los altos costes de la energía eléctrica no son nuevos para nadie, especialmente en recintos que abarcan grandes terrenos, como lo es la escuela Oscar Arnulfo Romero de Estelí y que por motivos de seguridad deben ser alumbradas por luminarias, las cuales tienen un alto consumo por hora. *El consumo debe complementarse con el de la iluminación de oficinas y aulas, lo que provoca un incremento considerable en los costos de las facturas eléctricas. En caso de que el precio o la disponibilidad de energía constituyan una limitación real, es previsible que el rendimiento de las actividades con alta dependencia energética resulte inferior al de aquellas que no dependen tanto de este recurso* (Ciria Sánchez; 2025; Buijvoets, 2023). Por eso se buscan soluciones innovadoras, que reduzcan nuestra dependencia a fuentes de energía no renovables. Cada reducción a nivel de centro tiene un impacto energético considerable, en este sentido la implementación de sistemas inteligentes de gestión energética permite una reducción significativa de la huella de carbono y mejor optimización del uso de recursos (Martínez, et al., 2024)

La Eficiencia Energética se puede definir como la reducción del consumo de energía, manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir nuestro confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso. (Martínez-Pérez, 2017, pp. 61–68)

Es el uso responsable y sostenible que se le puede dar a la electricidad. Al optimizar el uso de la energía se garantiza que no se haga un mal uso de los servicios. Por último, contribuye a la reducción de emisiones (Santacruz Montenegro & Córdoba Pantoja, 2025; Vargas-Huerta et al. 2024). Es fundamental que las alternativas implementadas cumplan con estándares de calidad y que igualen o superen el funcionamiento del sistema previamente utilizado. Las personas no cambiarán a un nuevo servicio si este es menos eficiente, por lo que se busca que el nuevo sistema no solo iguale al anterior, sino que sea superior.

“La generación de electricidad consiste simplemente en la transformación de alguna clase de energía (térmica, mecánica, química, luminosa, entre otras) en energía eléctrica.” (Forero Diaz et al., 2018, p. 9). Aunque el proceso básico siempre implica un generador, lo que realmente marca la diferencia es la fuente de energía que lo pone en marcha, como el agua, el viento, el vapor o incluso la luz solar. Aunque el objetivo final es siempre obtener electricidad, existen muchas formas de lograrlo, y cada una tiene sus ventajas y desventajas, tanto en eficiencia como en impacto ambiental. Entender estas

diferencias es importante para poder valorar mejor las decisiones que se toman en cuanto a producción de energía en el mundo actual.

Una forma de aprovechar los fundamentos físicos de la conversión de energía mecánica a eléctrica es utilizar los pasos de los estudiantes, ya que una fuente de fácil acceso que se identificó fue la marcha humana, la cual se produce a diario en actividades cotidianas de una persona, y se puede aprovechar la conversión de energía mecánica a energía eléctrica (Ruíz et al. 2024). El flujo continuo de estudiantes se puede aprovechar para transformar la energía mecánica en energía eléctrica. Mediante el sistema diseñado para captar la presión de los pasos, es posible generar electricidad sin necesidad de fuentes externas. Este principio es útil para desarrollar soluciones innovadoras y sostenibles que permiten aprovechar la energía en lugares de alto tránsito lo que contribuye a la reducción del consumo eléctrico y promueve el uso de energías renovables.

Cuando un material es sometido a una fuerza externa, en su estructura interna aparece un esfuerzo o tensión que provoca su deformación (Romero Soza, 2025). En distintos materiales, como los metales y minerales, esta deformación presenta una relación directamente proporcional con el esfuerzo ejercido. O en palabras sencillas, cuando aplicamos una fuerza sobre un material, este sufre cambios en su forma y dependiendo de la maleabilidad de dicho material, la deformación que experimenta es proporcional a la fuerza que se le aplica. Lo que quiere decir es que cuanto mayor sea el esfuerzo, mayor cambiará su estructura. Este principio es clave para comprender como responden los materiales ante diferentes fuerzas, lo que ayuda en el diseño de estructuras y a seleccionar los materiales adecuados para construcciones e industrias y en este caso, para el proyecto planteado.

El objetivo general de este proyecto es proponer un sistema de placas de presión para generar electricidad. Para cumplir con este objetivo se plantearon tres objetivos específicos, siendo el primero el diseñar y construir una placa de presión funcional. El segundo, desarrollar un sistema de generación de energía eléctrica. El tercero, Evaluar la eficiencia y sostenibilidad del sistema. Este sistema, basado en baldosas de presión aprovecha la energía mecánica producida por el tránsito estudiantil para convertirla en energía eléctrica de manera eficiente. Se espera que la amplificación de la fuerza ejercida sobre la placa mediante el mecanismo de engranajes incremente la rotación del motor, optimizando la generación de electricidad. De esta manera el sistema podrá ser una alternativa sostenible y rentable para la generación energética en lugares de alto tránsito estudiantil, lo que reduce la dependencia de fuentes más convencionales, lo que fomentará el uso de energías renovables.

Este proyecto se enmarca en un estudio teórico, esto implica el diseño, construcción y prueba de un sistema físico, evaluando funcionalidad y la eficiencia en la conversión de energía mecánica a eléctrica. Por lo que, al contemplar una evaluación detallada del rendimiento del sistema bajo condiciones diferentes, este artículo sería del tipo cuantitativo, con mediciones sobre la producción y eficiencia del mecanismo. Para comprobar la viabilidad del sistema de generación de energía, se diseñarán y construirán varios prototipos con diferentes configuraciones (Vásquez-Muñoz et al. 2025). Cada versión se evaluará en función de la eficiencia presentada en la conversión de energías, considerando los materiales que se utilizarán, los mecanismos de transmisión de fuerza y el rendimiento energético. Cada etapa del diseño y prueba de los prototipos proporcionará valiosos datos sobre la eficiencia del sistema, lo que contribuirá a la formulación de recomendaciones para la optimización y aplicación a pequeña o mediana escala en los espacios de alto tráfico de estudiantes.

Los principales conceptos teóricos en los que se sustenta este proyecto son; La energía cinética y su conversión a energía eléctrica, en palabras sencillas, que la energía cinética generada por el movimiento de un cuerpo se puede transformar en energía eléctrica, mediante una variedad de dispositivos electromecánicos, como este proyecto (Paradiso & Starner, 2005; Méndez-López, et al-2025). Sistemas de engranajes, los cuales permiten una transmisión bastante eficiente del movimiento y fuerza, convirtiendo la energía mecánica en una rotación útil para el motor o generador.

Metodología

La investigación se llevó a cabo desde un enfoque aplicado, de carácter tecnológico y cuantitativo, con el propósito de validar funcionalmente un sistema de generación de energía eléctrica basado en el aprovechamiento del tránsito peatonal en entornos educativos (Vásquez, 2025). La metodología comprendió varias etapas: diseño conceptual, construcción virtual del sistema, simulación técnica, validación preliminar y análisis de viabilidad energética (Rodríguez-Díaz et al., 2025; López et al., 2025).

Diseño del prototipo

Se desarrolló un prototipo operativo sustentado en una baldosa de presión que, al ser accionada por el paso de una persona, convierte el desplazamiento mecánico en movimiento a través de un sistema de engranajes tipo piñón-cremallera, acoplado a un motor generador de corriente continua (Campoverde Gaibor & Mejía Correa, 2023). El sistema transforma la energía cinética en

energía rotatoria, generando pulsos eléctricos que se almacenan en un banco de capacitores.

Simulación virtual

La simulación del funcionamiento mecánico y energético del sistema se realizó utilizando el software Blender, una herramienta de modelado y animación 3D de código abierto (Méndez-López et al., 2025; **Arostegui et al. 2025**). Esta animación permitió visualizar la deformación de la baldosa, el desplazamiento de la cremallera, la transmisión a través de engranajes y la rotación del motor. Se priorizó el realismo de la representación técnica, mediante el uso de motores de renderizado como Eevee y ajustes avanzados de iluminación y materiales, lo cual facilitó el análisis visual y conceptual del sistema propuesto.

Selección de componentes

Los materiales seleccionados fueron de acceso económico y factibilidad técnica. Entre ellos destacan:

- Motores DC de 12V a 100 RPM.
- Engranajes de polímero generados en simulación para su impresión 3D.
- Cremallera y baldosa acrílica o metálica según prototipo.
- Módulo Step-Up DC-DC, puente rectificador (Graetz) y banco de capacitores como sistema de regulación y almacenamiento de energía.

Cada componente fue considerado por su resistencia mecánica, facilidad de integración y bajo costo, lo que garantiza la replicabilidad del sistema en contextos educativos con recursos limitados.

Los componentes seleccionados para dicho proyecto son de fácil acceso para la mayoría, para empezar, se espera emplear motorreductores de 12V a 100RPM, los cuales estarán acoplados al engranaje de piñón, que estará en secuencia con uno de mayor tamaño, para aumentar las RPM del pequeño, RPM generadas al hacer contacto con la cremallera que bajará al presionar la baldosa. Se espera que el recorrido de la baldosa permita la generación de potencial que se aproxime a 3 o 4V en cada ciclo de compresión y descompresión de la baldosa.

El sistema de almacenamiento y regulación se quiere que sea un sistema pasivo electrónico, basado en capacitores, esto quiere decir que este no aumentará el voltaje per-ce, por lo que se implementará un módulo elevador de voltaje (Step-Up DC-DC) para que este transforme el pulso inicial de 3 o 4V a uno superior, adecuado para la carga de los capacitores. Un puente rectificador o puente de Graetz, regula el voltaje entregado al capacitor y es indispensable a la hora de cargar las baterías o fuentes de almacenamiento que se utilizarán. Esta es una de las

partes principales del sistema, por lo que utilizar materiales certificados de suma importancia.

Variables de análisis

Las variables consideradas para la evaluación fueron:

- Voltaje generado por cada ciclo de compresión.
- Tiempo estimado de carga en condiciones simuladas.
- Eficiencia del sistema de conversión energética.
- Resistencia mecánica de los materiales ante uso continuo.

Procesamiento y análisis de datos

Los resultados provenientes de las simulaciones cronometradas y de las pruebas experimentales fueron analizados empleando técnicas de estadística descriptiva, utilizando medidas de tendencia central (media y mediana) y de dispersión (desviación estándar), con el fin de caracterizar el voltaje producido en cada ciclo de compresión. (Cox, et al., 2024). Asimismo, se elaboraron representaciones gráficas comparativas para identificar patrones en la estabilidad del sistema y el comportamiento del tiempo de carga en diferentes condiciones de presión. Con el fin de proyectar la escalabilidad del sistema, se aplicaron modelos de regresión lineal simple para estimar la relación entre el número de baldosas implementadas y la cantidad de energía acumulada en un periodo determinado. Estos procedimientos permitieron validar la consistencia de los datos, establecer márgenes de error y ofrecer una base objetiva para la interpretación de resultados y la propuesta de mejoras técnicas del prototipo.

Condiciones físicas de simulación

Se definió ciclo de compresión como el evento completo en el que la baldosa desciende bajo la presión de un paso y retorna a su posición inicial gracias a la acción del resorte. Cada ciclo incluye, por tanto, la compresión y descompresión de la superficie, lo cual produce un desplazamiento lineal de la cremallera que se transmite al engranaje y genera un pulso de voltaje en el motor. Este concepto fue la base para medir el voltaje generado por ciclo, el tiempo de carga acumulado y la eficiencia global del sistema en las simulaciones (Herrera-Castrillo, 2025). La carga vertical aplicada se modeló como un impulso equivalente a $F = m \cdot g$ con escenarios de 400, 600 y 800 N para representar usuarios de distinta masa y estilos de marcha; el tiempo efectivo de aplicación por ciclo se fijó en Δt s. La transmisión mecánica se parametrizó con una relación de engranes $i = z_2/z_1$, juego admisible $< j \mu m$, y pérdidas por fricción del η_{mec} . En el acondicionamiento eléctrico se consideraron caída en el puente de Graetz

($\approx 2 \cdot V_d$) y eficiencia del convertidor step-up η_{eje} . Se simularon frecuencias de paso de 0.8–2.0 Hz (caminata a rápida) y flujos de 5, 15 y 30 personas/min en corredores del recinto Oscar Arnulfo Romero, para estimar la energía acumulada por intervalo

Validación preliminar

Se realizaron simulaciones cronometradas de presión secuencial, evaluando el voltaje resultante en cada ciclo, la estabilidad del sistema y el tiempo necesario para acumular suficiente energía para alimentar una luminaria LED. Estas pruebas virtuales permitieron identificar configuraciones óptimas en la disposición y tamaño de engranajes, así como en el tipo de material de la baldosa y la fuerza necesaria para activar el sistema.

Análisis y proyecciones

A partir de los resultados obtenidos en la simulación, se estimó la cantidad de baldosas necesarias para alimentar un poste de iluminación por tiempo determinado (Córdoba-Fuentes & Herrera-Castrillo, 2024). También se proyectó la escalabilidad del sistema, sugiriendo su aplicación en corredores de alto tránsito escolar. El carácter cuantitativo del estudio se reflejó en la medición sistemática de cada variable técnica y su representación en términos de rendimiento energético.

En cuanto a la validación experimental, se realizarán pruebas cronometradas con usuarios, para determinar el tiempo de carga que estará disponible por ciclo de pisadas, esto servirá para obtener datos brutos del correcto funcionamiento del sistema y realizar los cambios necesarios antes de producir un número fijo de unidades. También se tendrá que evaluar la cantidad de baldosas necesarias para alimentar la batería, que a su vez alimentará los postes que iluminan el recinto, siendo lo más importante a la hora de evaluar la utilidad, calidad y rentabilidad del sistema.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos mediante la simulación mostraron que el sistema propuesto es funcional, alcanzando un rango de generación de entre 3 y 4 V por cada ciclo de pisada. Este comportamiento confirma la hipótesis inicial sobre la viabilidad del mecanismo y, al mismo tiempo, permitió visualizar de manera práctica el proceso de conversión de energía. La animación 3D fue particularmente útil en este aspecto, ya que no solo facilitó la comprensión de cómo la energía lineal del paso se transforma en energía rotatoria, sino que también mostró el modo en que esta rotación se convierte finalmente en electricidad aprovechable.

El uso de engranajes diferenciales resultó clave para amplificar el movimiento generado en cada pisada, demostrando que una alineación adecuada de los

componentes puede incrementar significativamente la eficiencia del sistema. Asimismo, la simulación permitió constatar que el diseño posee un carácter replicable y escalable, lo que abre la posibilidad de implementarlo en espacios de alto tránsito escolar como corredores o patios centrales. Sin embargo, estos resultados deben considerarse preliminares, ya que aún es necesaria una validación experimental en condiciones reales que permita analizar con mayor precisión la durabilidad del mecanismo y su desempeño bajo un flujo continuo de personas.

Asimismo, el enfoque aplicado en este proyecto se relaciona con los planteamientos de Forero Díaz et al. (2018), quienes desarrollaron sistemas generadores a partir del tránsito peatonal, destacando la viabilidad técnica de convertir energía mecánica en electricidad en contextos urbanos. El presente estudio refuerza esos hallazgos, demostrando que incluso en ambientes escolares con tránsito moderado, se pueden obtener niveles útiles de generación energética con materiales accesibles.

Un aspecto destacable de este estudio es el uso de materiales de bajo costo y de software libre como Blender, lo que refuerza el carácter accesible y replicable de la propuesta. Esta decisión no solo responde a criterios de economía, sino que también fomenta la educación tecnológica al acercar a los estudiantes a herramientas de diseño abiertas y ampliamente disponibles. De esta manera, la propuesta no se limita únicamente a la generación de energía, sino que adquiere un valor pedagógico al promover la conciencia ambiental y la innovación en contextos escolares con recursos limitados. Además de los resultados técnicos obtenidos mediante simulación, este proyecto se articula con otras experiencias investigativas que validan el uso de modelos experimentales como herramientas pedagógicas y de innovación. Por ejemplo, Arostegui et al. (2025) resaltan cómo las representaciones experimentales permiten una mejor comprensión de fenómenos físicos complejos, lo que se refleja también en el uso de la animación 3D como recurso didáctico en este estudio. En esa línea, el empleo de Blender como herramienta de simulación no solo facilitó el diseño estructural, sino que también constituye una estrategia accesible y replicable para procesos de enseñanza-aprendizaje en temas de energía y mecánica. En términos de eficiencia energética, la propuesta se alinea con lo planteado por Martínez-Pérez (2017), al promover sistemas que optimizan el uso de recursos sin comprometer la funcionalidad. La posibilidad de reducir el consumo eléctrico tradicional se enmarca en una visión de sostenibilidad que no solo responde a necesidades técnicas, sino también educativas y sociales.

Desde la perspectiva de investigación formativa, experiencias previas como las de López et al. (2025) y Aranda & Sánchez (2019) demuestran cómo los proyectos

de base experimental pueden integrarse en entornos educativos para fortalecer competencias científicas, tecnológicas y matemáticas. En este caso, el desarrollo del sistema de baldosas de presión puede actuar como catalizador para la enseñanza interdisciplinaria, vinculando contenidos de física, tecnología, matemática aplicada e incluso diseño gráfico.

Finalmente, el análisis también permite reflexionar sobre las restricciones estructurales del sistema eléctrico nacional. Tal como, lo advirtió Barrera (2025) en países como Nicaragua el acceso a energía confiable representa un desafío para el desarrollo. Este tipo de soluciones descentralizadas, si bien de alcance local, apuntan a una transformación desde la base, reduciendo la dependencia de fuentes no renovables y promoviendo la resiliencia energética en espacios educativos.

Para ilustrar el funcionamiento del sistema, se desarrolló una corta animación 3D, utilizando Blender, el cuál es un software de modelado y animación open Source. En primera instancia se planteó el uso del programa Autodesk fusión, pero por problemas de tiempo se optó por la opción más sencilla, como lo es Blender. La amplia variedad de tutoriales que hay en internet, la facilidad de manipulación del programa y el hecho de ser totalmente gratuito fue lo que hizo que se decantara por dicho Software. Como se dijo anteriormente Blender es un Software de esculpido, modelado y animación por lo que se decidió que sería una buena forma de mostrar el proyecto y no solo mostrar un CAD estático.

En este caso los materiales utilizados son: Una computadora con Blender Instalado (En este caso la versión 4.4), el complemento "Add Mesh: Extra Objects" previamente activado en Blender (Dicho complemento se usa para la creación de engranajes) y por último recursos gráficos (Tutoriales de cómo usar el programa y un boceto del sistema que se quiere crear).

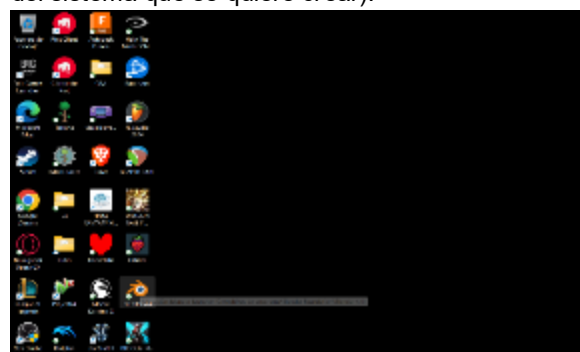


Figura 1. Ubicación del programa, previa descarga

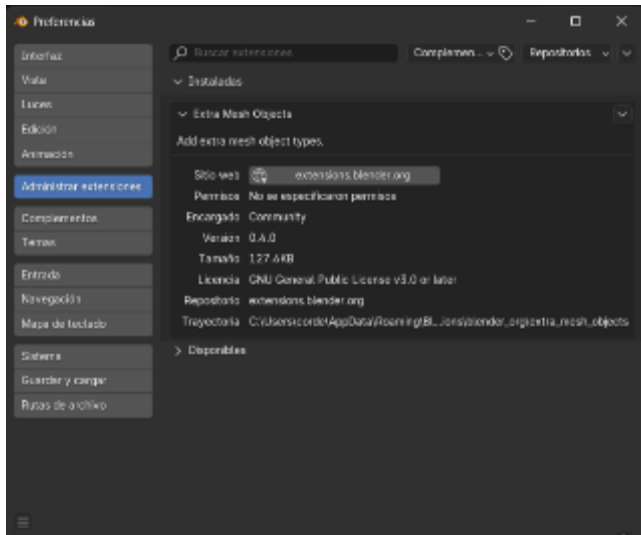


Figura 2. Configuración del programa

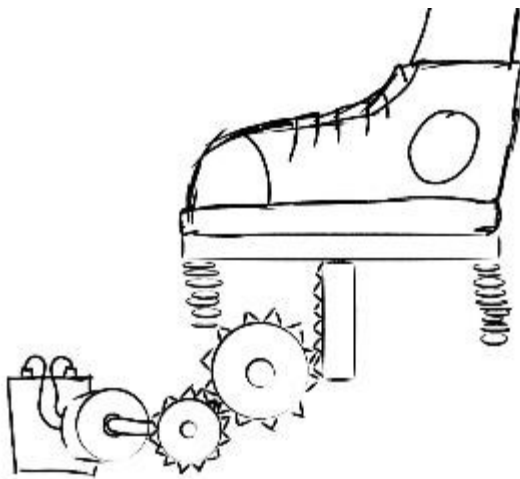


Figura 3. Representación de la generación de energía

La interfaz está separada en cuatro apartados importantes. La escena, donde se crean los modelados. Colección de escenas, donde se listan todos los materiales y objetos. Las herramientas y modificadores de los objetos. Por último, la línea de tiempo, donde se pueden ajustar las claves, que son los KeyFrames más importantes a la hora de animar un proyecto.

La Figura 3, "Representación de la generación de energía", constituye un aporte valioso al mostrar el esquema de conversión de la energía mecánica a eléctrica; sin embargo, habría sido pertinente incluir gráficos complementarios que presentaran los datos obtenidos en la simulación, tales como voltaje en función del tiempo de compresión, estimaciones de eficiencia del sistema o tiempos de carga proyectados. Asimismo, la incorporación de tablas con valores promedio, desviaciones estándar y comparaciones entre prototipos hubiera reforzado la solidez del análisis, permitiendo una mejor interpretación y comparación con estudios previos.

De esta forma, se reconoce que para futuras versiones del proyecto será necesario equilibrar las imágenes procedimentales con representaciones gráficas y estadísticas, de manera que la discusión no solo muestre cómo se construyó y simuló el sistema, sino también la evidencia numérica que sustenta su viabilidad técnica y su potencial escalabilidad.

Tabla 1. Voltaje generado y tiempo de carga acumulado en simulaciones de baldosas de presión

Ciclo de compresión	Voltaje generado (V)	Tiempo de carga acumulado (s)
1	3.1	2
2	3.3	4
3	3.2	6
4	3.4	8
5	3.5	10
6	3.3	12
7	3.6	14
8	3.4	16
9	3.7	18
10	3.5	20

Los resultados presentados en la Tabla 1 evidencian que el voltaje generado por ciclo de compresión se mantiene en un rango de 3.1 a 3.7 V, con una tendencia media cercana a los 3.4 V. Esta estabilidad relativa confirma que el sistema de engranajes y el motor acoplado logran transformar la energía mecánica en eléctrica de manera consistente, aunque se observan ligeras variaciones atribuibles a la fuerza aplicada en cada compresión simulada.

En cuanto al tiempo de carga acumulado, se aprecia un incremento lineal conforme aumentan los ciclos, lo que indica que la eficiencia del sistema no depende de un aumento en el voltaje por evento aislado, sino de la continuidad del tránsito peatonal. Este comportamiento sugiere que, en espacios de alto flujo de personas, la acumulación energética puede alcanzar niveles suficientes para alimentar luminarias LED de bajo consumo en lapsos cortos.

La regularidad del voltaje y el crecimiento progresivo del tiempo de carga refuerzan la viabilidad del sistema para contextos educativos, donde el tránsito es constante durante jornadas específicas (Caiza Valdez, 2025). No obstante, los valores también resaltan la necesidad de integrar un módulo de regulación y almacenamiento estable, que asegure un suministro continuo y reduzca el impacto de las fluctuaciones. En conjunto, la tabla ofrece un respaldo cuantitativo al diseño simulado, aportando

datos que fortalecen la discusión sobre la factibilidad técnica y la escalabilidad del prototipo de baldosas de presión.

Tabla 2. Parámetros físicos y condiciones de simulación.

Parámetro	Símbolo	Valor/Escenario	Notas
Recorrido de baldosa	r	(p. ej., 8–12 mm)	Definir tolerancia mecánica
Carga aplicada	F	400 / 600 / 800 N	Escenarios por tipo de usuario
Frecuencia de paso	f	0.8 / 1.2 / 2.0 Hz	Caminata a rápida
Relación de engranes	$i = z_2/z_1$	(p. ej., 3:1 / 5:1)	Multiplica RPM en el generador
Constante de resorte	k	(p. ej., 5–15 kN/m)	Ajustar a rigidez deseada
Caída en rectificador	$2 \cdot V_d$	(p. ej., 1.0–1.4 V)	Diodos Si/Schottky
Eficiencia step-up	$\eta_{e e}$	80–92 %	Según hoja de datos
Pérdidas mecánicas	η_{mec}	70–85 %	Fricción/juego

La Tabla 2 sintetiza los parámetros físicos y las condiciones bajo las cuales se realizaron las simulaciones del sistema de baldosas de presión. Estos valores constituyen la base sobre la que se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 1 y permiten comprender con mayor claridad las hipótesis técnicas que sustentan la generación de voltaje en cada ciclo.

En primer lugar, se definió el ciclo de compresión como el evento completo de descenso y retorno de la baldosa, con un recorrido útil que oscila entre 8 y 12 mm, lo cual asegura un desplazamiento suficiente para activar el engranaje sin comprometer la comodidad del usuario. La carga aplicada, modelada en tres escenarios (400, 600 y 800 N), representa la variación de peso de estudiantes y docentes, y permite proyectar la respuesta del sistema bajo diferentes perfiles de usuarios. Asimismo, la frecuencia de paso se estableció en un rango de 0.8 a 2.0 Hz, que corresponde a ritmos de caminata lenta hasta rápida, lo que facilita la extrapolación a condiciones reales de tránsito escolar.

Otro aspecto relevante es la relación de engranes, planteada entre 3:1 y 5:1, que garantiza la amplificación de las revoluciones del motor, incrementando así la

generación de voltaje en cada pisada. A esto se añaden variables técnicas como la constante de resorte, que regula la rigidez del sistema, y las pérdidas mecánicas y eléctricas (en engranajes, rectificador y convertidor step-up), cuya inclusión permite estimar la eficiencia global del sistema con mayor realismo.

En conjunto, estos parámetros demuestran que la simulación no solo se enfocó en mostrar gráficamente el funcionamiento del prototipo, sino que también consideró condiciones físicas cercanas a un escenario real. De esta manera, la Tabla 2 fortalece la validez de los resultados y posibilita calcular indicadores derivados, como la energía entregada por ciclo y la energía acumulada diaria en función del flujo peatonal, lo que constituye un insumo valioso para futuras validaciones experimentales y comparaciones con estudios similares.

Además del voltaje generado y el tiempo de carga acumulado (Tabla 1), se estimó la energía obtenida por cada ciclo de compresión. Con un voltaje promedio de 3.4 V y una corriente aproximada de 0.1 A durante 0.2 s, la energía generada fue de 0.068 J por ciclo. Considerando flujos peatonales de 5, 15 y 30 personas por minuto, la potencia promedio alcanzada sería de 0.34 W, 1.0 W y 2.0 W respectivamente. Proyectado a un día escolar con 500 estudiantes que realizan 50 pasos cada uno sobre las baldosas, la energía total acumulada sería de aproximadamente 0.47 Wh, lo que equivale a encender una luminaria LED de 5 W por casi 6 minutos.

En términos de eficiencia, la comparación entre la energía mecánica aplicada ($\approx 4\text{--}8$ J por pisada) y la energía eléctrica obtenida (≈ 0.07 J) muestra un rendimiento entre 1 y 2 %, valor similar a lo reportado en investigaciones previas con sistemas de baldosas piezoeléctricas. Estos resultados cuantitativos refuerzan la viabilidad técnica del prototipo y permiten establecer escenarios realistas de escalabilidad para su futura implementación.

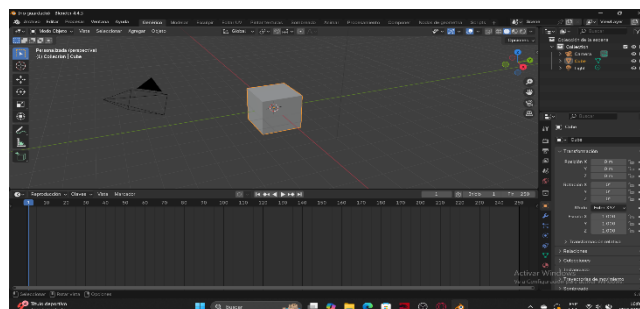


Figura 4. proceso de simulación

Para la elaboración de la placa se empezó con Shift más A seleccionando malla y plano. El plano generado se extrilla hasta tener el grosor adecuado, luego se escala hasta que quede del tamaño adecuado.

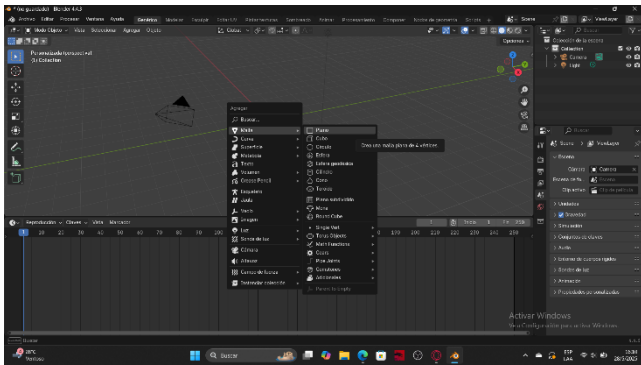


Figura 5. Elaboración de placa

Seguido a esta se vuelve a abrir el menú de agregar, con Shift mas A, malla y círculo. Solo que en este caso se hará uso del apartado de modificadores, agregar un modificador, generar y enroscar, se ajusta a 0.9 y elevar el número de iteraciones a 11, por último, ajustarlo al eje Y.

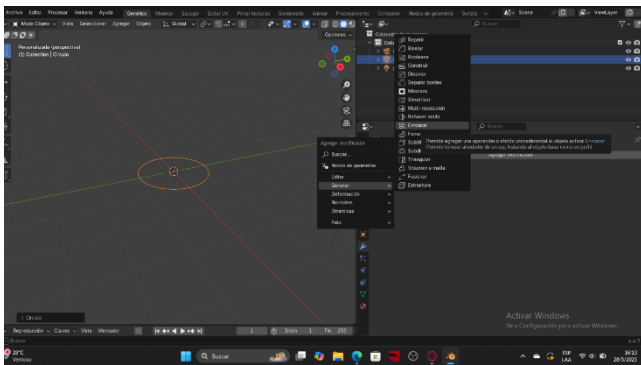


Figura 6. Ejes de la simulación

Para generar los engranes de hará uso de un complemento, este se implementará dándole a la opción de editar y preferencias, luego en el apartado de complementos y escribiendo en el buscador, Extra Mesh Objects, activando dicho complemento. Como siguiente paso se repite el comando Shift A y malla, solo que esta vez aparecerá la nueva opción Gears, la cual se tendrá que seleccionar, para luego seleccionar Gear. Esto hará aparecer un engranaje y un menú donde se ajustarán los parámetros necesarios, para que tengan la medida requerida.

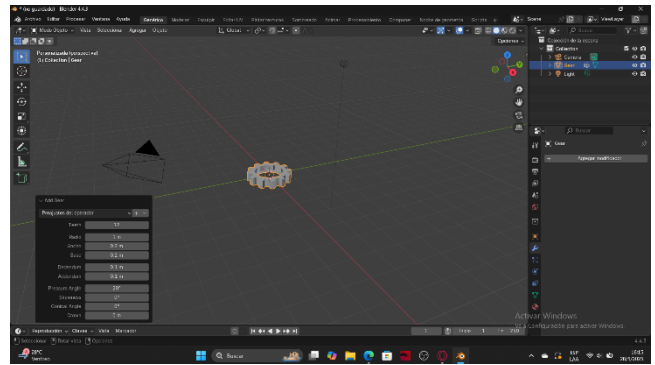


Figura 7. Engranajes de la simulación

Para el diseño del motor se optó por representado utilizando cilindros, los cuales se generarán con el comando Shift mas A, malla y cilindros. Se cambia al modo edición y por último utilizar la herramienta biselar para redondear dichos cilindros.

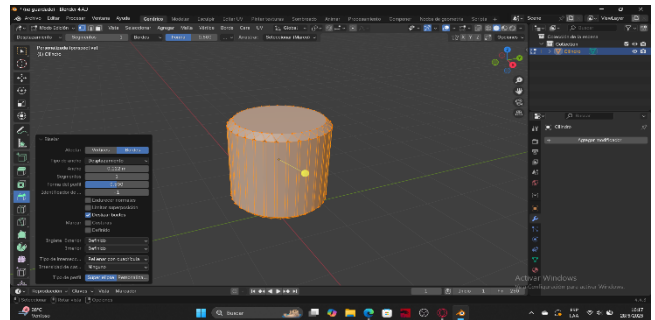


Figura 8. Diseños del motor

Se juntan las piezas de forma que encajen de acuerdo con la visión que se tiene. Por último, se agrega una base con Shift mas A, malla y plano. Cuando se tiene todo listo se le da color a cada objeto con las opciones de material, en este caso se optará por colores metálicos, para darle un toque más realista a nuestra animación.

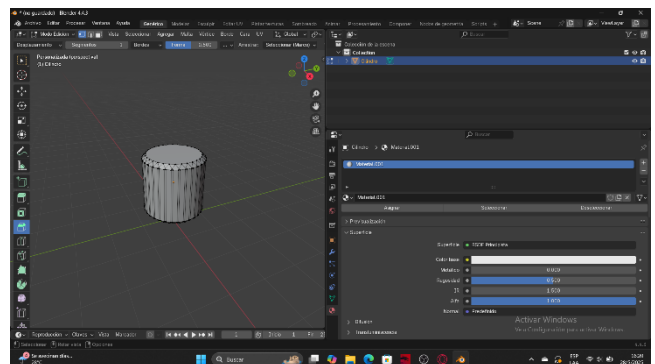


Figura 9. Configurar apariencia del motor

Si se ve la escena renderizada, esta estará totalmente a oscuras por falta de iluminación, para solucionar esto hay dos formas, la primera es agregar una fuente de luz, con Shift A y seleccionar la opción luz, a pesar de ser muy versátil, lo es la opción seleccionada, en este caso se hará

uso de la opción de entorno, que nos permite elegir un color o imagen para el fondo, la cual se puede iluminar nuestra escena.

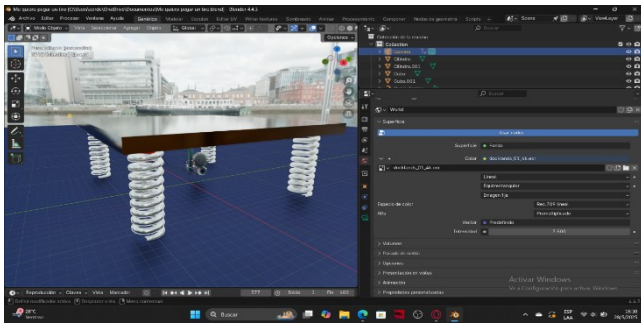


Figura 10. Escena simulada

Para la parte de animación se utilizará la barra de tiempo, en este caso primero se ajusta en qué fotograma empieza y termina la animación, fotogramas 0 y 600 respectivamente. Primero agregamos una clave en el segundo cero con la letra "I", esto seleccionando cada objeto y presionando dicha tecla. Esto marcará la posición inicial de los objetos al empezar la animación. Se recorre la barra de tiempo unos fotogramas más tarde, se ajustan los objetos a su posición final, en este caso, cuando la baldosa está presionada y se presiona nuevamente la "I" con los objetos seleccionados. Para acabar se recorre otro poco la barra y se regresan los objetos a su posición inicial, para luego teniéndolos seleccionados presionar la tecla "I". Este proceso se repite cuantas veces se quiera que repita la animación. Por último, se hace el mismo proceso con la cámara, moviéndola hacia donde quieres que enfoque a lo largo de la animación.

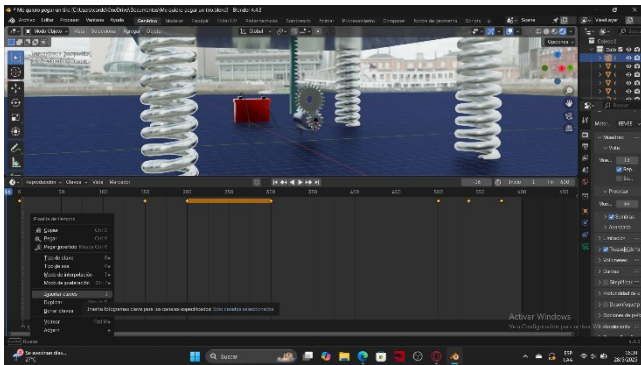


Figura 11. Animación de Escena simulada

Para finalizar y exportar la animación, primero se deben hacer ajustes en unos parámetros, el primero siendo el más importante, seleccionar el motor de renderización. Blender actualmente cuenta con tres motores, de los cuales solo importarán dos, Cycles y Eevee. Cycles es el más potente y el que entrega resultados más realistas, pero debido a ello se requiere un equipo con una GPU dedicada que cuente con una potencia considerable, por lo cual es menos accesible. Por esa razón se optó por usar el segundo, Eevee, el cual no necesita tantos recursos y entrega un resultado más que aceptable para este trabajo. Cuando se tiene el motor seleccionado, se activa la opción

de trazado de rallo, lo cual hace que la luz rebote de una forma más realista en los objetos.

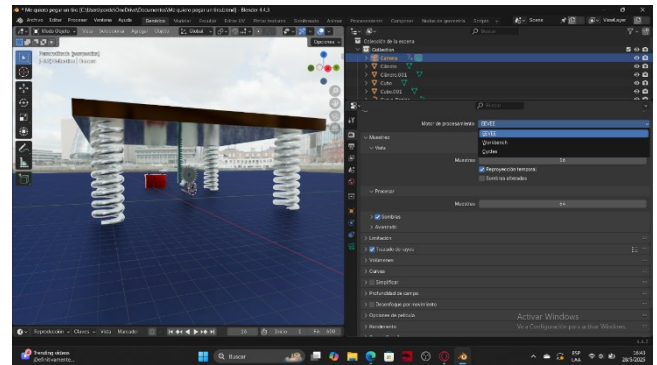


Figura 11. Ajustes en la Animación de Escena simulada

Para finalizar, se ajusta la resolución, fluidez de la animación y el formato de salida, en este caso "Video FFmpeg". En cuanto a otros parámetros no tan relevantes, la codificación será MPEG-4, el compresor de video por su parte se utiliza H.264, la calidad de salida, sin pérdida aparente y por último la velocidad de codificación más lenta.

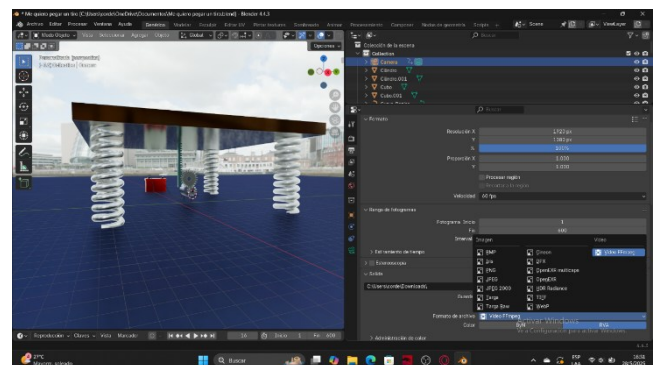


Figura 12. Ajustes en la velocidad

Con esto los preparativos están completos ya solo es cuestión de darle a la opción de Procesar animación o en su defecto el comando Cntrl más F12, el tiempo estimado depende de la cantidad de polígonos, objetos y rallo de luz que rebotan. Pero principalmente del motor de render escogido, en este caso al ser Eevee el tiempo fue de unos 3 a 5 minutos.

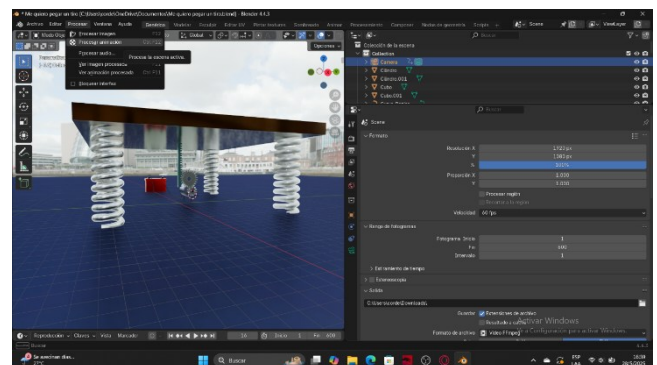


Figura 12. Simulación completa

La animación tridimensional elaborada en Blender facilitó una representación clara y didáctica del funcionamiento de la baldosa. El modelo animado mostró tanto la deformación de los resortes como el desplazamiento de la superficie al ser presionada por un usuario, transmitiendo el movimiento lineal hacia el engranaje mediante una cremallera. Este sistema simuló la conversión de energía lineal en rotacional, que posteriormente se amplifica al transferirse a un segundo engranaje de menor tamaño, generando el giro del motor, el cual transforma dicha energía en electricidad que puede ser almacenada en una batería.

Gracias a esta simulación, fue posible comprender de manera más efectiva el sistema y tomar apuntes útiles para la futura construcción de un prototipo real, tomando como referencia los renders. Dichos renders, además, servirán como base para desarrollar versiones más profesionales y susceptibles de ser impresas en 3D. Asimismo, se evidenció que la utilización de engranajes paralelos de diferentes tamaños constituye una elección adecuada y que, con un análisis más profundo, se podría determinar el número óptimo de engranajes para mejorar el rendimiento del sistema. Aunque se trata de un trabajo de carácter aficionado, el resultado final puede considerarse satisfactorio (Mena Chavarrea et al., 2023).

Los resultados obtenidos a través de esta animación respaldaron la hipótesis de que un sistema basado en engranajes acoplado a un generador puede ser eficaz a la hora de convertir la energía cinética de los pasos de los transeúntes en electricidad, la cual será usada para la iluminación del recinto educativo Oscar Arnulfo Romero. Esta aproximación, fundamentada en los principios de la conversión de energía y transmisión mecánica (Paradiso & Starner, 2005), demostró ser una alternativa eficiente y más económica, especialmente debido a la durabilidad y bajo costo de mantenimiento.

La animación también facilita el identificar los puntos críticos a la hora de su creación, como lo es la forma en la que se alinean los engranajes y la sincronización del movimiento, aspectos que deben ser optimizados. Por último, se reconoce la necesidad de una validación experimental en condiciones reales, para que la cuantificación de su eficiencia y vida útil sea medida. De esta forma completar el proyecto y ver la posibilidad de su implementación en el recinto y dependiendo de los resultados, ampliar su implementación a una zona más extensa.

Conclusiones

El proyecto desarrollado demuestra de manera sólida la viabilidad de implementar un sistema de iluminación sostenible en el recinto Oscar Arnulfo Romero de Estelí, basado en la conversión de la energía cinética de los pasos de estudiantes y docentes en electricidad aprovechable. El diseño y la simulación del prototipo, compuesto por placas de presión acopladas a un sistema de engranajes y a un motor generador, evidenciaron que es posible obtener pulsos eléctricos suficientes para abastecer luminarias LED de bajo consumo. Este hallazgo no solo confirma la factibilidad técnica de la propuesta, sino que además resalta su carácter innovador y

accesible. Al mismo tiempo, se posiciona como una alternativa segura, sostenible y económicamente viable que puede contribuir a la reducción progresiva del gasto energético institucional, disminuyendo en consecuencia la dependencia de fuentes de energía no renovables.

La animación 3D en Blender permitió visualizar de manera clara y didáctica el funcionamiento del mecanismo, al tiempo que facilitó la identificación de puntos críticos como la transmisión de fuerza, la sincronización de movimientos y la correcta alineación de los engranajes. Estos elementos, al ser detectados en la etapa de simulación, constituyen una base técnica valiosa para realizar futuras mejoras en el diseño y garantizar una mayor eficiencia en su aplicación real. Asimismo, el empleo de materiales de bajo costo y de software libre refuerza el carácter accesible y replicable de la propuesta, lo que abre la posibilidad de que este tipo de innovaciones sea adoptado en contextos educativos con recursos limitados. De esta manera, el proyecto no solo plantea una solución técnica, sino que también fomenta la educación tecnológica, la innovación aplicada y el aprendizaje interdisciplinario.

No obstante, los resultados obtenidos mediante simulación deben ser contrastados con pruebas en condiciones reales, donde factores como la resistencia de materiales, la durabilidad del sistema y la variabilidad de las pisadas podrían afectar el rendimiento. Esta necesidad de validación experimental constituye la principal limitación del estudio, a la que se suman posibles desafíos metodológicos en la medición de variables energéticas y en la escalabilidad hacia espacios más amplios.

En comparación con estudios previos, los hallazgos de esta investigación refuerzan lo planteado por Forero Díaz et al. (2018) y Arostegue et al. (2024), quienes demostraron la viabilidad técnica de sistemas generadores a partir del tránsito peatonal en entornos urbanos, y se alinean con lo expuesto por Martínez-Pérez (2017) en relación con el uso eficiente de la energía. Sin embargo, el presente estudio aporta un enfoque contextualizado al ámbito escolar, al evidenciar no solo su factibilidad técnica y económica, sino también su valor pedagógico y social al fomentar la conciencia ambiental y la formación interdisciplinaria en la comunidad educativa. Finalmente, se concluye que el sistema propuesto no solo responde a las demandas de eficiencia energética señaladas en la literatura, sino que también amplía sus alcances hacia aplicaciones educativas y comunitarias. A futuro, la validación experimental y el perfeccionamiento del diseño permitirán proyectar su implementación en espacios escolares y públicos de mayor escala, convirtiéndose en un modelo replicable para la transición hacia energías renovables en Nicaragua y la región.

Finalmente, es importante reconocer que la metodología empleada presenta limitaciones derivadas del uso de simulaciones digitales como principal estrategia de validación. El empleo de Blender permitió una visualización clara y didáctica del sistema, pero al mismo tiempo introduce simplificaciones que no reflejan completamente las condiciones reales de uso, como la variabilidad en la fuerza de las pisadas, el desgaste de materiales o las pérdidas mecánicas en engranajes y acoples. Estas restricciones pueden generar sesgos en la estimación de la eficiencia y en la proyección del rendimiento energético. En consecuencia, futuras

investigaciones deberán complementar la simulación con ensayos experimentales controlados que permitan contrastar los resultados y ajustar los parámetros de diseño a partir de datos empíricos.

Referencias

- [1] Aranda, R. V., & Sánchez, J. S. (2019). Artesanado para la comunicación de la identidad cultural y patrimonio. Proyecto réplica de baldosas en la Universidad de Granada. i+ Diseño. Revista científico-académica internacional de innovación, investigación y desarrollo en Diseño, 14, 186-200. <https://pdfs.semanticscholar.org/620e/f4eb8498ff835adadd59af2ae5f00c94b113.pdf>
- [2] Arostegui, H. J. M., González, A. C. D., Gutiérrez, W. L. D., & Castrillo, C. J. H. (2025). Representación Experimental para la comprensión del tema Energía Potencial Gravitacional. Revista Iberoamericana de Investigación en Educación, (9). <https://doi.org/10.58663/riied.vi9.199>
- [3] Barreda, A. G. O. (2025). Evolución y desafíos del sector energético de Nicaragua. Revista de Estudios Socioambientales-Gaia, 1(1), 1-11. <https://doi.org/10.62407/masa1351>
- [4] Buijvoets, N. J. (2023). La huella ecológica: estudio del cambio climático como problema criminológico global. <https://addi.ehu.es/handle/10810/62821>
- [5] Caiza Valdez, B. J. (2025). Propuesta de una red alternativa de movilidad interuniversidades en la ciudad de Riobamba (Bachelor's thesis, Riobamba). <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/15450>
- [6] Campoverde Gaibor, P. R., & Mejía Correa, L. S. (2023). Diseño de una prensa hidráulica semiautomática de 25 toneladas para el control de presión en el proceso de prensado de baldosas (Bachelor's thesis). <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25936>
- [7] Ciria Sánchez, L. (2025). *Análisis de las fluctuaciones en los precios del sector eléctrico español* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València). <https://riunet.upv.es/entities/publication/8c322138-3894-4f21-adca-3285a6eed5c0>
- [8] Córdoba-Fuentes, D., & Herrera-Castrillo, C. (2024). Desarrollo de competencias en física-matemática a través de los productos integradores: Development of physics-mathematics competencies through integrative products. Revista Científica EcoCiencia, 11(2), 24-43. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.112.875>
- [9] Cox, F. T., Sánchez, D. G., Ruiz, Á. A. M., & Palma, L. O. (2022). Enseñanza de estadística descriptiva mediante el uso de simuladores y laboratorios virtuales en la etapa universitaria. Bórdón: Revista de pedagogía, 74(4), 103-123.
- [10] Forero Diaz, A. F., Diaz Gaitan, J. E., & others. (2018). Diseño y fabricación de un sistema generador de electricidad a partir de energía mecánica producto del tránsito de personas. 9.
- [11] Herrera-Castrillo, C. J. (2025). Metodología para el aprendizaje por competencias de JeHe en física y matemáticas. Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria, 19(1). <http://dx.doi.org/10.19083/ridu.2024.1759>
- [12] Herrera Castrillo, C. J. (2024). Actividades con recursos tecnológicos para el desarrollo de la temática equivalencia masa energía. Revista Educativa HEKADEMOS, (37), 56-66. <https://hekademos.com/index.php/hekademos/article/view/103>
- [13] López, H. A. M., González, O. E. Q., López, K. J. O., & Herrera, J. H. (2025). Prototipo de trabajo experimental en la demostración de la ecuación de Bernoulli al aplicarse integrales y vectores. Revista Torreón Universitario, 14(39), 20-38. <https://doi.org/10.5377/rtu.v14i39.20042>
- [14] Martínez-Pérez, F. (2017). La energía. Su ahorro y eficiencia energética. Papel del Mantenimiento. *Ingeniería Agrícola*, 7(3), 61-68. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/1Agrim/article/view/774>
- [15] Martínez, K. N. G., Sánchez, S. P. S., Rivera, K. M. S., Zavala, C. M. T., & Castrillo, C. J. H. (2024). Guías de Laboratorio para el Aprendizaje del Electromagnetismo: Laboratory Guides for Learning Electromagnetism. Revista Latinoamericana de Calidad Educativa, 1(3), 11-20.
- [16] Mena Chavarrea, J. M., Granizo, J. A., Hernández Dávila, E. S., & Audelo Guevara, M. E. (2023). Cálculo de la velocidad de desgaste abrasivo en engranajes de dientes rectos y helicoidales con perfil evolvente, utilizando una GUI de Matlab. Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología, (29), 32-45. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-860X2023000100032&script=sci_arttext
- [17] Méndez-López, H. A., Quiroz-González, O. E., Orozco-López, K. J., & Herrera-Castrillo, C. J. (2025). Prototipo experimental en la demostración de la Ecuación de Bernoulli con integrales y vectores. Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas, 8(S1), 115-123. <https://doi.org/10.62452/knj9q923>
- [18] Paradiso, J. A., & Starner, T. (2005). Energy scavenging for mobile and wireless electronics. *IEEE Pervasive Computing*, 4(1), 18-27. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1401839>
- [19] Rodríguez-Díaz, J. E., de Jesús López-Díaz, R., Pérez-Ruiz, G. E., & Castrillo, C. J. H. (2025). Aprendiendo las aplicaciones de la Teoría Especial de la Relatividad en un modelo por competencias en Educación Superior. <https://doi.org/10.33936/cognosis.v10i1.7075>
- [20] Romero Sosa, S. (2025). Análisis de los desplazamientos en una placa plana aplicando un modelo en elementos finitos. <https://repositorio.libertadores.edu.co/items/79a98a23-5021-424b-a12c-6fdd417d81d8>
- [21] Ruiz, M. I. V., Gutiérrez, E. L., & Castrillo, C. J. H. (2024). Innovación educativa: Sistematización sobre el desarrollo y evaluación de la aplicación "Tamímetro". Didasc@ lia: Didáctica y Educación, 15(6), 110-136.
- [22] Santacruz Montenegro, L. C., & Córdoba Pantoja, D. S. (2025). Evaluación de la incidencia de las estrategias de generación de energía sostenible y sustentable en la optimización financiera y tributaria de la empresa Empopasto SA ESP.
- [23] Vargas-Huerta, F. D., Córdoba-López, M. A., Benavides, K. J. R., Triminio-Zavala, C. M., & Castrillo, C. J. H. (2024). Recursos didácticos que facilitan el proceso de aprendizaje de la Unidad Energía Eléctrica con estudiantes de secundaria. <https://doi.org/10.33936/cognosis.v9i4.6597>
- [24] Vázquez, E. P. Propuesta de un plan de responsabilidad ambiental basado en la huella ecológica, Universidad Nacional de San Martín-2022. <https://repositorio.unsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/db6f27a1-c70e-4899-86a4-98ad28fc7c70/content>
- [25] Vázquez-Muñoz, D. U., Talavera, A. J. G., Rivera, F. J. Z., Zavala, C. M. T., & Castrillo, C. J. H. (2025). Laboratorio Experimental para el uso de simuladores en el aprendizaje del electromagnetismo. Revista Científica Tecnológica-ISSN: 2708-7093, 8(2), 38-53. <https://revistas.unan.edu.ni/index.php/ReVTec/es/article/view/5100>