

## Diseño e implementación de un módulo didáctico para la enseñanza de los parámetros de incidencia en el desempeño de un aerogenerador

<http://doi.org/10.53358/ideas.v6i1.990>

**Pablo Catota, Cristian Tasiguano Pozo, Paola Portero, Edgar Chamba, Wesly Tituaña**

Instituto Tecnológico Superior Rumiñahui, Sangolquí, Ecuador

*pablo.catota@ister.edu.ec, ctasiguano@itsa.edu.ec, paola.portero@ister.edu.ec, edgar.chamba@ister.edu.ec, wesly.tituana@ister.edu.ec*

*Fecha de envío, octubre 19/2023 - Fecha de aceptación, diciembre 19/2023 - Fecha de publicación, enero 19/2024*

**Resumen:** En la actualidad el estudio de fuentes de energías renovables es importante con fin de evaluar su desempeño y conocer sus limitaciones. El objetivo de esta investigación es diseñar y construir un módulo didáctico de un túnel de viento, para la evaluación y enseñanza del desempeño de un aerogenerador, mediante la variación de la velocidad del viento. El módulo didáctico propuesto está conformado por un aerogenerador de 600 W, un ventilador de 200 W, un túnel de viento y sensores para recolectar información de corriente, voltaje, temperatura, humedad y velocidad del viento. Estas señales se muestran en una interfaz gráfica donde el estudiante puede observar en tiempo real el comportamiento de dichas variables mediante curvas que se construyen por medio de la adquisición de datos en tiempo real. Esto permite a los estudiantes evaluar el efecto de la velocidad del viento en el desempeño del aerogenerador en la generación de energía eléctrica. El del módulo funcionamiento inicia cuando el ventilador se enciende y genera viento con una velocidad aproximadamente de 4.5 m/s. Este flujo se regula a través de un dimmer que permite incrementar la velocidad del viento progresivamente, permitiendo observar el efecto de la velocidad del viento en el aerogenerador.

**Palabras Clave:** túnel de viento; aerogenerador; adquisición de datos; modulo didáctico

**Abstract:** The present research article proposes the study of immersive systems in education through the development of an Augmented Reality application as support in the teaching-learning process in the Telematics program. The application is built on the Unity 3D game engine and is applied to third-level students in the industrial communications and technical support subject, specifically focusing on the configuration, parts, and applications of the Mikrotik Hap Lite RB941 Router. Additionally, 3D modeling of the PC motherboard is carried out to determine the concepts and parts of the board to be assembled. The developed application allows for interactive management of practical classes, optimizing both time and material resources for each student. Results obtained through usability tests, conducted with both teachers and students, indicate a high level of acceptance for use in classrooms. This is attributed to the easy manipulation and interactivity with the virtual environment, leading to improvements in the learning process.

**Keywords:** Mikrotik Hap; Teaching-learning process; Augmented Reality; Telematics.

## Introducción

Los módulos didácticos desempeñan un papel crucial en la educación, ya que proporcionan materiales de aprendizaje estructurados y organizados que ayudan al docente en la enseñanza y aprendizaje de los estudiantes. Los módulos didácticos desglosan temas complejos en unidades más pequeñas y manejables, lo que facilita a los estudiantes la comprensión y retención de la información, adaptándose a diferentes entornos de aprendizaje y a las necesidades de los alumnos. Los docentes pueden modificar o ampliar los módulos para adaptarlos a las necesidades específicas de sus alumnos o a la evolución de los estándares educativos, además de que si éstos son bien diseñados pueden incorporar elementos interactivos y atractivos, como contenidos multimedia, ejercicios interactivos y ejemplos del mundo real, que pueden aumentar el interés y la motivación de los estudiantes por aprender.

La implementación de módulos didácticos enfocados a carreras técnicas, como en este caso, se propone el diseño y construcción de un módulo didáctico que simula la generación eólica en laboratorios educativos, esto es importante para la enseñanza ya que permite al estudiante realizar prácticas y experimentar con los parámetros climatológicos que intervienen o afectan al aerogenerador en situaciones reales. En este ámbito, en el Ecuador se han realizado numerosos estudios, investigaciones y proyectos que ayudan a los estudiantes a mejorar su aprendizaje [2].

La energía eólica es una fuente limpia de energía y renovable, por lo que se ha despertado mucho interés en su estudio. Varias investigaciones han demostrado que la implantación de un túnel de viento para valorar el desempeño de un aerogenerador [8] permite evaluar posibles fallas y los valores máximos de velocidad del viento que puede soportar. Estas pruebas ayudan a evaluar los diseños y mejorarlos para lograr su máximo desempeño y eficiencia [3].

Un túnel de viento permite evaluar la dinámica de un aerogenerador, y con esto determinar las características constructivas, el número de palas que se requieren para lograr su máxima eficiencia en generación de energía eléctrica [6]. Para lograr esto es indispensable recolectar información a través de sensores que ayuden a entender el comportamiento del aerogenerador a diferentes velocidades, con el fin de conocer la situación del flujo del viento y conocer cómo afecta eso en la dinámica [7]. Un túnel de viento permite desarrollar habilidades y conocimientos en los estudiantes, a través la experimentación y evaluación del comportamiento del aerogenerador a diferentes velocidades [1].

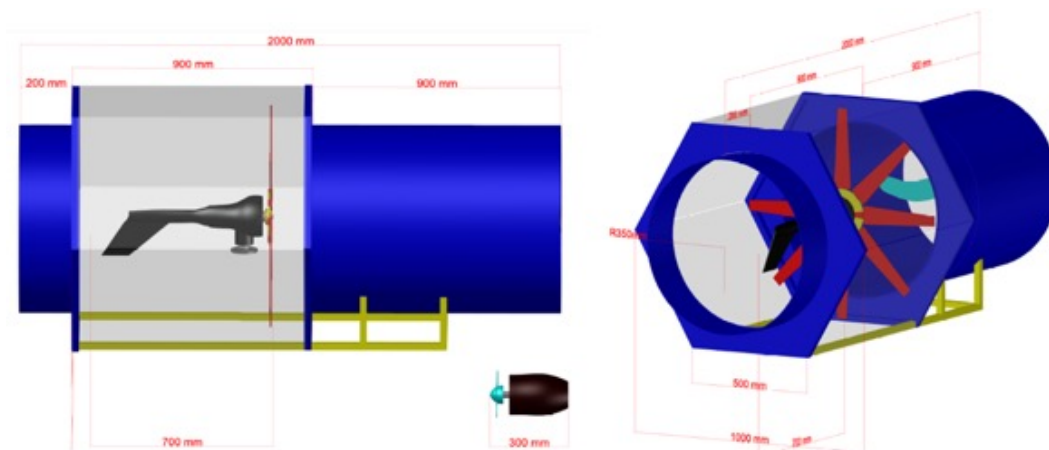
Los resultados demuestran que la construcción del túnel de viento generó en los estudiantes un alto nivel de compromiso, motivación y aprendizaje significativo [5]. En general, la investigación demuestra que la construcción de un túnel de viento puede ser una herramienta efectiva para el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería. En base a lo expuesto anteriormente, se plantea realizar el diseño e implementación de un módulo didáctico de generación eólica con monitoreo de señales eléctricas y climatológicas en un interfaz HMI. A través del módulo el estudiante podrá realizar prácticas y experimentos que permitan evaluar el comportamiento del aerogenerador mediante la manipulación de la velocidad del viento.

## **Metodología y materiales**

El presente trabajo está dividido en tres partes, la investigación exploratoria que se utilizó para la revisión bibliográfica con base a otros trabajos y en su mayoría de revistas científicas para establecer el diseño del módulo didáctico. La investigación experimental mediante la cual se realizó el diseño y la construcción del módulo didáctico y finalmente cómo se realizaron las pruebas para validar su correcto funcionamiento. A continuación, se detallan las partes principales del proceso de la implementación del proyecto.

### **Diseño mecánico**

El diseño de los componentes tales como el aerogenerador, el ventilador y la estructura metálica se realizó en el software AutoCAD 2023. Este diseño partió de las necesidades que se observó de un aerogenerador comercial, el cual fue dibujado de acuerdo a medidas reales para obtener una visualización exacta del proyecto, esto permitió establecer las medidas de cada uno de los componentes de modulo didáctico. El material utilizado para la construcción es acero y las dimensiones se puede observar en la Fig. 1.



*Fig. 1. Diseño tridimensional del módulo didáctico.*

### **Diseño del Sistema de Adquisición de Datos**

El sistema de adquisición de datos permite recolectar la información de las magnitudes eléctricas y climatológicas mediante los sensores que se encuentran instalados en el módulo. Estos datos son transmitidos de manera efectiva a una tarjeta Arduino, donde mediante programación se realizó un proceso de filtrado y análisis de las variables. Esta información resultante se visualiza de manera clara y accesible para el usuario a través de una pantalla Nextion. El flujo de adquisición, procesamiento y presentación de datos se muestra en la Fig. 2.

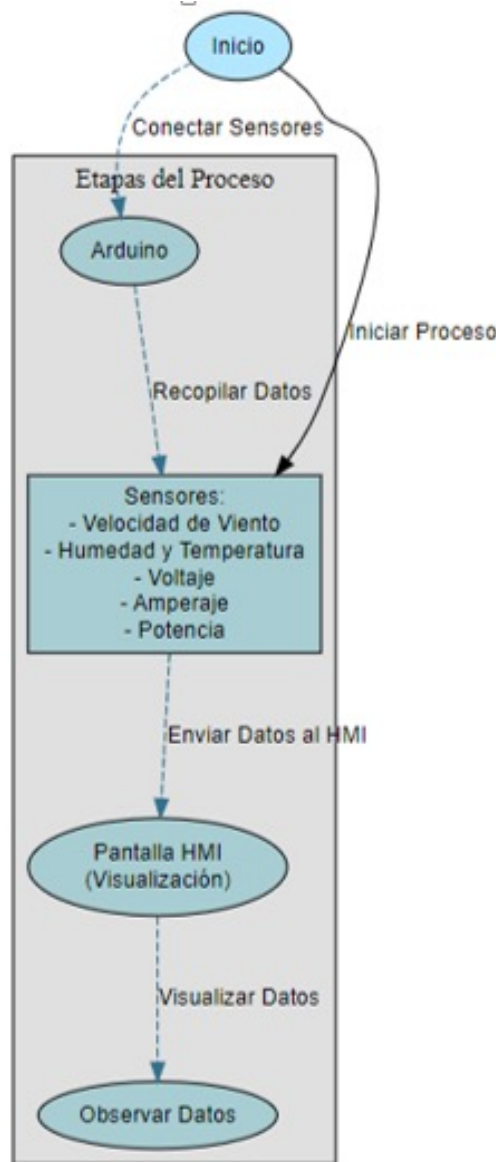


Fig. 2. Diagrama de Adquisición de Datos

El la Fig. 2 se puede ver que el proceso de adquisición de datos se inicializa con la recolección de información al encender el módulo didáctico. Dentro del grupo de sensores y actuadores, se encuentran el sensor de temperatura y humedad DHT22, un sensor de voltaje FZ0430-25V, un sensor de corriente ACS712-5A y un sensor de viento KMYC-3 (0-2V). En el bucle principal, se leen los valores de temperatura, humedad, voltaje, corriente y viento, y luego se actualizan en la pantalla táctil Nextion HMI. La interacción del usuario en la pantalla reinicia el bucle para más lecturas y actualizaciones. En conjunto, el sistema opera eficazmente, permitiendo la medición y visualización de múltiples parámetros en tiempo real. En la Figura 3 se puede ver el módulo construido físicamente.



*Fig. 3. Módulo didáctico construido*

### **Construcción del módulo para adquisición de datos y control del ventilador**

Para la creación del módulo, se empleó una caja de PCB en la que se dispuso de una pantalla HMI en el exterior y, en su interior, se ubicaron el Arduino Mega, el sensor de voltaje, el sensor de corriente y un Dimmer de 2000W, para controlar el ventilador. La disposición también incluyó terminales para conectar directamente sensores como el de viento, temperatura y humedad, enriqueciendo la comprensión global del sistema. En la parte trasera de la pantalla HMI de la marca Nextion, se destaca el conector que alimenta la pantalla y establece la comunicación con el Arduino mediante los pines RX y TX, así como los terminales de conexión de los sensores.

Por otro lado, la segunda caja alberga la conexión principal de alimentación de 110V, que se distribuye mediante adaptadores de voltaje para proveer energía tanto a la pantalla Nextion como al Arduino Mega. Esta misma fuente de energía impulsa el funcionamiento del dimmer, que a su vez suministra la potencia necesaria para los terminales de conexión que alimentan el ventilador, utilizado para girar el aerogenerador en un túnel de viento, contribuyendo al análisis de rendimiento. En esta misma caja, se ubican el controlador y la carga que permiten medir el amperaje generado por el aerogenerador, optimizando la supervisión y evaluación de la producción energética. En la Fig. 4 se muestra la implementación del sistema de adquisición de datos.



*Fig. 4. Sistema de adquisición de datos*



## Resultados y Discusión

En la pantalla HMI se pueden observar los valores de las variables de voltaje, corriente, potencia, velocidad del viento, temperatura y humedad relativa, como se muestra a continuación en la Fig. 5. Como carga del sistema implementado se ha utilizado un foco led de 9 W a 12V de valores nominales.



Fig. 5. Visualización de Pantalla HMI

A continuación, en la tabla 1, se resumen todos los valores obtenidos de las variables antes mencionadas y su relación en función de la variación de la velocidad de viento.

**Tabla 1. Valores obtenidos de pruebas realizadas en el módulo didáctico.**

Porcentaje Dimmer	Voltaje CC	Corriente CC	Potencia	Velocidad del viento	Temperatura	Humedad Relativa
0	0,00V	0,00 A	0,00 W	0 m/s	11,3 °C	90,7%
20	0,64V	0,05A	0,14W	0,20 m/s	11,3 °C	90,7%
40	2,00V	0,10A	0,20W	1,37 m/s	11,3 °C	90,7%
50	7,18V	0,32A	2,32W	5,47 m/s	11,3 °C	90,7%
60	8,10V	0,47A	3,80W	7,04 m/s	11,3 °C	90,7%
70	9,97V	1,30A	15,23W	7,45 m/s	11,3 °C	90,7%
100	10,1V	1,53A	15,45W	8,03 m/s	11,3 °C	90,7%

En la Fig. 6, se muestran las variaciones de las variables obtenidas por los diferentes sensores y como se despliega en el HMI la información.

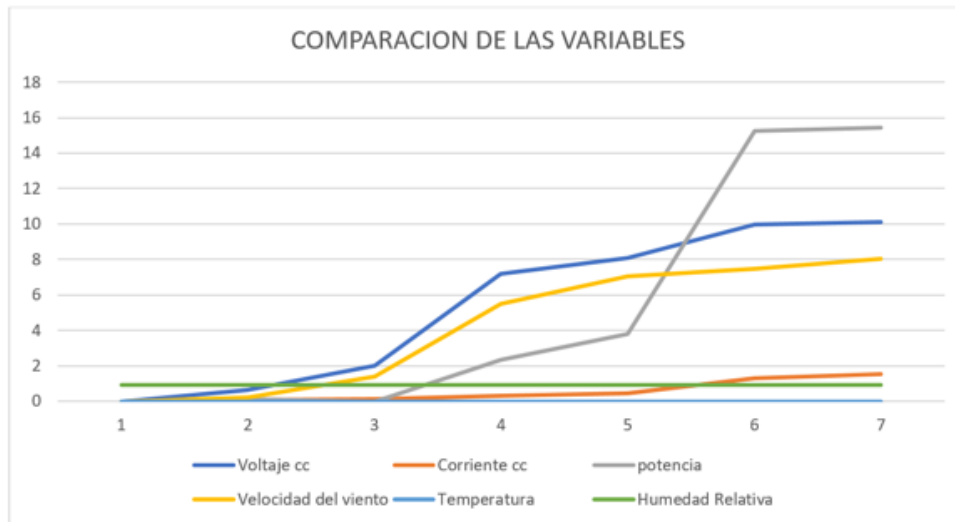


Fig. 6. Gráfica de Variables

## Discusión y Análisis

En la Fig. 6, se puede visualizar la relación directa entre el voltaje, la corriente y la potencia generados por el aerogenerador en función de la velocidad del viento. A medida que la velocidad del viento aumenta, el voltaje y la corriente generados también aumentan de manera proporcional, lo que resulta en un incremento significativo en la potencia generada. La corriente va aumentando paulatinamente su valor, pero cuando el voltaje está cerca al valor nominal de funcionamiento de carga, esta sube de una manera rápida.

La velocidad del viento, generada por el ventilador controlado por un dimmer, impacta directamente en la potencia generada por el aerogenerador. A medida que la velocidad del viento se incrementa, la potencia generada también experimenta un aumento significativo. Esta relación subraya la importancia de mantener una velocidad de viento óptima para maximizar la producción de energía.

Los valores de humedad y temperatura registrados son indicadores clave de las condiciones ambientales en el túnel de viento. Estos factores pueden influir en la densidad del aire y, por ende, en la eficiencia de la generación de energía. Es importante considerar estos datos al analizar las variaciones en la potencia generada bajo diferentes condiciones climáticas.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del módulo han brindado la información necesaria para optimizar el rendimiento del sistema y mejorarlos en su construcción. Por otra parte, la comparativa entre el diseño proyectado y el resultado final a través de las pruebas realizadas, muestra el cumplimiento en la implementación del módulo educativo de generación eólica y el monitoreo de variables eléctricas al variar la velocidad del viento.

La implementación del sistema de adquisición de datos permite el monitoreo de variables eléctricas y climatológicas, respaldando su funcionamiento mediante la programación realizada en Arduino para garantizar la recepción de señales desde los sensores. Los resultados obtenidos demuestran la efectividad y precisión de este sistema, validando la operación del módulo didáctico.

La creación del módulo educativo de generación eólica con túnel de viento y sistema de adquisición de datos representa un avance significativo en el desarrollo de sistemas de generación eléctrica renovables para la enseñanza en centros educativos. Los resultados finales obtenidos no solo validan la viabilidad del proyecto, sino también su potencial para impulsar la comprensión y el aprendizaje en el campo fuentes de energía eólica.

## Referencias

1. Calderón, R. R., Flores, D. B., & López, S. R. (2022). Wind tunnel: Construction of didactic material as learning strategy. 2022 Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de La Electrónica (XV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference), 1–5. <https://doi.org/10.1109/TAAE54169.2022.9840737>
2. Chicaiza Flores, J. J., & Valenzuela Pallasco, M. B. (2022). Implementación de un mini Sistema de Generación Eléctrica a través de Energía Eólica como fuente de Energía Renovable [bachelorThesis, Ecuador : La Mana : Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8476>
3. Guanoluisa Torres, C. A. (2021). Implementación de módulos didácticos de energía eólica para el laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT. [bachelorThesis, Quito, 2021]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21824>
4. Mioralli, P. C., & Avallone, E. (2023). CONSTRUÇÃO DE UM TÚNEL DE VENTO DIDÁTICO COMO APLICAÇÃO PEDAGÓGICA NO ENSINO TÉCNICO. *Educação em Revista*, 39(39). <https://periodicos.ufmg.br/index.php/edrevista/article/view/39236>
5. Onnen, D., Petrović, V., Neuhaus, L., Langidis, A., & Kühn, M. (2023). Wind tunnel testing of wake tracking methods using a model turbine and tailored inflow patterns resembling a meandering wake. 2023 American Control Conference (ACC), 837–842. <https://doi.org/10.23919/ACC55779.2023.10155916>
6. Peralta, J., Delgado, E., Maldonado, F., Durazno, G., Miranda-Delgado, L., Prieto, A., & Reinoso, J. (2023, February 8). Methodology for the Design of Demonstrative Didactic Prototypes for the Teaching of Renewable Energies Based on Education for Sustainable Development 'ESD.' ASME 2022 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. <https://doi.org/10.1115/IMECE2022-96149>
7. Taechoenwiriyakun, S., Suppaadirek, N., & Tammaruckwattana, S. (2020). Wind Tunnel Model for Natural Wind Velocity. 2020 8th International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), 426–429. <https://doi.org/10.1109/CMD48350.2020.9287277>
8. Vasconcelos, V., Bigotte, E., Almeida, R., Amaro, J. P., & Marques, L. (2023). An integrated framework for STEM education experiments with focus on sustainability and renewable energies. 2023 32nd Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEEIE), 1–5. <https://doi.org/10.23919/EAEEIE55804.2023.10182178>