

# Diseño y Desarrollo de un Emulador de Aerogeneradores Aplicado en Aprendizaje de Estudiantes.

<sup>1</sup>Chávez Tec Rafael\*, <sup>1</sup>Perales Alcacio J.L.A., <sup>2</sup>Contreras Turrubiartes M.M.

<sup>1</sup>Ingeniería en Energías Renovables-Tecnológico Nacional de México-Campus Motul

<sup>2</sup>Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores, México

rafael.chavez@itsmotul.edu.mx

**Recibido:** 19 de noviembre de 2024

**Aceptado:** 3 de diciembre de 2024

## RESUMEN

La presente investigación describe el desarrollo y validación de un emulador de aerogenerador, diseñado para complementar la formación académica de estudiantes de ingeniería en energías renovables. El dispositivo, ubicado en el laboratorio de energías renovables de una institución de educación superior ubicada en Motul, Yucatán reproduce fielmente el comportamiento de una turbina eólica en condiciones reales, permitiendo a los estudiantes analizar y comprender los procesos involucrados en la generación de energía eólica. El artículo profundiza en la metodología empleada para el diseño, construcción y validación del emulador, así como en los resultados obtenidos tras su implementación en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

**Palabras claves:** Energías renovables, energía eléctrica, energía eólica, enseñanza.

## ABSTRACT

This research describes the development and validation of a wind turbine emulator, designed to complement the academic training of renewable energy engineering students. The device, located in the renewable energy laboratory of a higher education institution located in Motul, Yucatán, faithfully reproduces the behavior of a wind turbine in real conditions, allowing students to analyze and understand the processes involved in the generation of wind energy. The article delves into the methodology used for the design, construction and validation of the emulator, as well as the results obtained after its implementation in the teaching-learning process.

**Key words:** Renewable energies, electrical energy, wind energy, teaching

## 1. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de energías renovables son fundamentales para el desarrollo energético de los países, ya que son consideradas como elementos vitales debido a que generalmente presentan opciones técnicas y económicamente viables (Perino et al., 2021). Según Zarco (2023), se predice que para el año 2024, la integración de las energías renovables en la matriz energética a nivel mundial superará un tercio del total de la capacidad instalada, por lo que se espera que para ese periodo se genere más electricidad verde en todo el mundo que la que se produce por carbón. En la actualidad, una de las energías con mayor auge, es la energía eólica. Esto debido a su abundancia como recurso natural, el bajo impacto ambiental que genera, su eficiencia y su facilidad al integrarse en la matriz energética actual. Según Azamar y García (2021), la industria eólica se presenta en diferentes países como una medida gubernamental, cuya finalidad, es el de reducir la dependencia de los combustibles fósiles en

la producción de energía, generar sostenibilidad y proteger al medio ambiente, en el contexto mundial donde los recursos naturales, en especial los hidrocarburos están presentando escasez. Es por ello que se han presentado iniciativas para su estudio y desarrollo continuo. Según Agency (2022) menciona que, desde el año 2014 hasta el 2023, la energía eólica terrestre tuvo un incremento del 177% a nivel mundial lo que posiciona a esta fuente como una de las opciones más viables para la generación de energía eléctrica.

Es importante destacar que, desde una perspectiva educativa, una de las carreras que aborda este campo del conocimiento— es la de energías renovables. Según Ballesteros y Gallego (2019), la educación en este tipo de fuentes de energía es una necesidad constante, orientada a crear conciencia sobre la importancia de adoptar nuevas alternativas energéticas no convencionales. Su objetivo principal es promover en la sociedad actitudes y valores que ayuden a enfrentar los desafíos energéticos de las comunidades, utilizando métodos educativos que sean adecuados desde el punto de vista social y cultural.

En cuanto al aprendizaje, Moreira et al. (2021), lo definen como un proceso en el que se pueden adquirir nuevos conocimientos, habilidades y actitudes a través de la preparación constante, en el cual, el descubrimiento y las experiencias adquiridas originan cambios cognitivos en el individuo. Según Roa (2021), los instrumentos para lograr este último deben estar vinculados en la estructura cognitiva del estudiante para que este pueda ser significativo. De igual forma, el alumno deberá mostrar una actitud positiva y estar dispuesto para adquirir dicho conocimiento, ya que, de lo contrario, esto se volverá repetitivo y carente de valor.

Existen múltiples teorías del aprendizaje que se han desarrollado a lo largo de los años. Una de ellas es el llamado “aprendizaje educativo” propuesta por Ausubel. Ausubel y Novak (1983), mencionan en su investigación que “el alumno quiere aprender aquello que se le presenta porque lo considera valioso”. Sumado a esto, Agudelo y García (2010), comentan que dicho proceso ocurre cuando el aprendiz logra integrar la nueva información con la que ya adquirió de manera previa, formando conexiones significativas dentro de su red organizada de conceptos. Esto permite la utilización de manera más efectiva los conocimientos previos con el fin de aprender cosas nuevas, facilitando así la adquisición continua de conocimientos adicionales.

Considerando lo antes mencionado, la realización de experimentos mediante la experiencia práctica fomenta un aprendizaje significativo, ya que los estudiantes aplican los conocimientos previos adquiridos en clase al utilizar herramientas o equipos experimentales para analizar datos obtenidos de fenómenos específicos.

Hablando del tema de los emuladores de aerogeneradores y del estudio de la energía eólica, es importante mencionar que, en el mercado, actualmente no existen emuladores capaces de mostrar los parámetros energéticos de las diferentes marcas de turbinas. Los únicos dispositivos que pueden caracterizar al comportamiento de las turbinas eólicas son las estaciones anemométricas portátiles, cuya principal desventaja es que no pueden ajustarse completamente a los objetivos pedagógicos de los programas educativos, por lo que el desarrollo del conocimiento queda limitado. Por lo tanto, surge la necesidad de diseñar y construir un equipo emulador de parámetros eólicos y energéticos de aerogeneradores que pueda ser efectivo en la enseñanza del programa educativo antes mencionado. Es importante que dicho emulador sea accesible, preciso y capaz de proporcionar el aprendizaje práctico necesario para los estudiantes, el cual pueda, facilitar los conceptos teóricos y la aplicación del conocimiento en un contexto real.

El presente estudio tiene como objetivo principal el diseño y desarrollo de un emulador de aerogenerador, concebido como una herramienta pedagógica innovadora para la formación de ingenieros en energías renovables. Al simular de manera realista las condiciones de operación de una turbina eólica, este dispositivo permitirá a los estudiantes comprender de forma intuitiva los principios físicos que rigen la conversión de energía eólica en energía eléctrica. Además, el emulador proporcionará un entorno de aprendizaje práctico donde los estudiantes podrán experimentar con diferentes configuraciones y analizar los resultados obtenidos, fomentando así el desarrollo de habilidades de resolución de problemas y pensamiento crítico. Se espera que esta herramienta contribuya a mejorar la calidad de la enseñanza en el área de energías renovables y a preparar a los futuros profesionales para enfrentar los desafíos del sector energético.

## **2. METODOLOGIA**

Durante el desarrollo del siguiente trabajo de investigación se presentaron múltiples retos, entre ellos destacan, la construcción del equipo emulador de aerogeneradores, con componentes que se utilizan en la actualidad, los cuales debieron ser versátiles y de bajo costo, con lo que se garantizó su integración en una plataforma abierta, la cual podría ser sujeta a mejoras futuras. Además, se enfrentó el desafío de validar el equipo emulador mediante un conjunto de pruebas, las cuales, aseguraron su precisión y fiabilidad, así como la integración efectiva en el currículo educativo de la carrera de ingeniería en energías renovables con el fin de maximizar su impacto en la enseñanza hacia los estudiantes. En cuanto la enseñanza, fue necesario el empleo de instrumentos de medición validados mediante técnicas las cuales garantizaron una evaluación objetiva y efectiva del aprendizaje del alumnado. Por lo tanto, la investigación tuvo un carácter cuantitativo con un enfoque experimental y correlacional, ya que en este proceso fue necesario la manipulación y evaluación del rendimiento del equipo emulador en comparación con otros equipos similares con el fin de verificar la fiabilidad y precisión de este último. En relación con el aprendizaje, la investigación tuvo un enfoque correlacional, esto debido, al requerimiento de utilizar pruebas estadísticas que respalden la efectividad y el grado de asimilación del conocimiento adquirido por los estudiantes de energías renovables mediante el uso del emulador.

Considerando lo antes mencionado, la metodología de este trabajo de investigación se presenta en el siguiente orden:

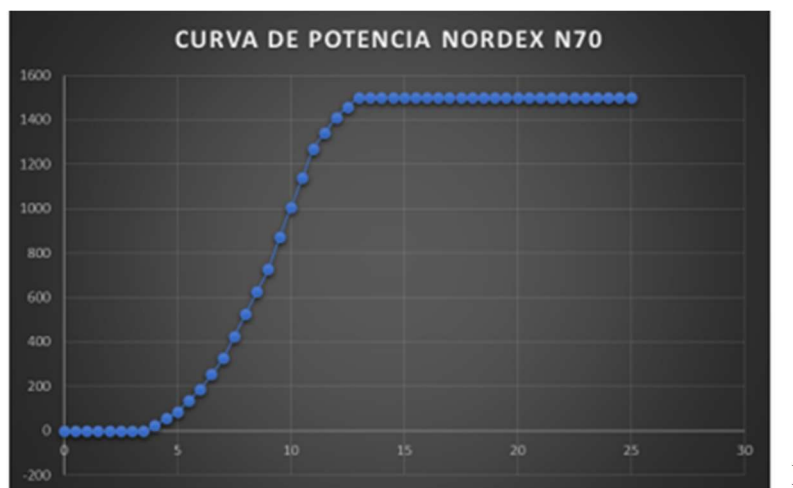
1.-Adecuación de variables meteorológicas importantes para la medición de los parámetros eólicos, mediante el uso de sensores analógicos y digitales: Según Ruiz et al. (2021), las estaciones meteorológicas generan registros para las variables de temperatura, precipitación, radiación solar, velocidad y dirección de viento, humedad y presión atmosférica. Debido a la naturaleza de esta investigación, se obtuvieron casi todos los parámetros mencionados, a excepción de las de radiación y precipitación, debido a que estas no son relevantes para la evaluación del potencial eólico de una zona determinada.

2.-Caracterización de los modelos de aerogeneradores más utilizados en las plantas eólicas ubicadas en territorio mexicano, basándose en las curvas de potencia que el fabricante tiene disponible como información de referencia: Según datos de IRENA (2024), México tiene una capacidad eólica instalada de 7318 mega watts en emplazamiento de tipo terrestre. Este porcentaje a nivel mundial representa el 0.71% de la potencia instalada. Entre el periodo de 2018 a 2020, México tuvo la tasa de crecimiento más alta en esta tecnología la cual fue del 67.34%. Para el periodo de 2020 a 2023 únicamente se presentó un aumento del 4.61%. Power (2024), afirma que hasta el año 2024 los parques eólicos con mayor capacidad instalada en México son los siguientes:

- Reynosa, con 123 turbinas de la marca Gamesa una potencia nominal de 3450 kW cada una.

- Sureste I y II, integrado por 34 turbinas de la marca Alstom Power 3000 kW cada una.
- La venta, con 120 turbinas de 850 kW cada una de la marca Gamesa.
- Eurus, compuesto de 120 turbinas de 1500 kW cada una de la marca Nordex-Acciona.
- Santo Domingo, con 80 aerogeneradores de la marca Gamesa de 2000 kW cada una.

3.-El modelamiento de la curva de potencia de un aerogenerador es uno de los datos más importantes es el estudio de la generación eléctrica por aerogeneradores, ya que, con ella, se puede administrar la energía eólica y predecir cuanta energía este producirá (Mehrjoo et al., 2020). Por lo tanto, para este proyecto se consideraron las curvas de potencia estos modelos de aerogeneradores.



Fuente: Elaboración propia con datos de Lucas Bauer & Silvio Matysik (2024).

4.-Implementación de un sistema de adquisición de datos para la medición y registro de las variables meteorológicas: Según Guañuna et al. (2021), los sistemas DAQ se componen de cuatro etapas: La primera tiene como función principal la adquisición de las variables físicas a medir, mediante el uso de sensores. La segunda consiste en el acondicionamiento de las señales obtenidas con el fin de mejorar la calidad, presión y fiabilidad de estas, para que el DAQ, pueda interpretar dichos datos. Seguidamente la tercera etapa, las señales adquiridas, son convertidas a código digital para poder enviar esos parámetros a un microprocesador o microcontrolador para que finalmente, que, en la última fase, se utilice un software para interpretar las señales adquiridas en el sistema y obtener los parámetros requeridos. La tarjeta de desarrollo Arduino puede ser utilizada como elemento para diseño de un sistema de adquisición de datos debido a su gran versatilidad y su fácil adquisición en el mercado (Asiain y Ponce, 2022).

5.-Validación de las mediciones obtenidas mediante el uso de equipos comerciales que tengan similitud con el emulador, asegurando que los resultados proporcionados sean consistentes y puedan ser comparados con los datos proporcionados por los fabricantes: Para verificar y validar la fiabilidad y precisión del emulador de aerogeneradores, se llevó a cabo una prueba de comparación de precisión utilizando el análisis RMSE. En esta prueba, el emulador se comparó con un dispositivo de fábrica. El objetivo de este análisis fue minimizar el valor de RMSE, asegurando que los valores de precisión estuvieran dentro del rango aceptable para equipos comerciales y garantizando así la precisión del emulador. De acuerdo con Si et al. (2020), el RMSE (Error Cuadrático Medio) se emplea extensamente para medir cuán precisa y exacta es la capacidad de equipos y modelos en varios ámbitos científicos y tecnológicos. Esta medida estadística proporciona una evaluación cuantitativa de la discrepancia entre los valores observados y los valores predichos o medidos por un equipo. Al calcular

el RMSE, se tiene en cuenta tanto la cantidad de los errores como cómo están distribuidos, lo que ayuda a entender qué tan precisos son los resultados comparados con los valores reales. Dentro del marco de análisis de precisión de equipos, un RMSE bajo indica que los valores predichos o medidos se ajustan estrechamente a los valores observados, reflejando una mayor precisión y exactitud del equipo evaluado. Por lo tanto, se puede concluir, que, emplear el RMSE este no solo brindará una evaluación imparcial del rendimiento de un equipo, sino que también, simplificará la comparación entre diversos métodos o tecnologías para determinar cuál produce resultados más confiables y estables.

Por lo tanto, la fórmula RMSE puede expresarse de la siguiente manera:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{prueba,i} - X_{calibrado,i})^2}$$

Donde:

$RMSE =$  Error medio cuadrático

$n =$  Número total de observaciones

$X_{prueba,i} =$  Datos obtenidos por el equipo de prueba

$X_{calibrado,i} =$  Datos obtenidos por el equipo calibrado (comercial)

Para determinar el porcentaje que el RMSE representa con respecto a las mediciones, se aplica la siguiente fórmula:

$$\%RMSE = \left( \frac{RMSE}{R} \right) \times 100$$

Donde:

$\%RMSE =$  Porcentaje del error medio cuadrático en relación a las mediciones

$RMSE =$  Error medio cuadrático

$R =$  Rango de las mediciones

6.-Montaje final del equipo para poder realizar pruebas finales de mediciones y de alcance, con el fin de asegurar que los componentes se encuentran correctamente integrados y funcionando de manera eficiente: Esto implicó que la conformación de todos los componentes del equipo emulador esté presentes y montados en cada parte del equipo. De igual manera fue necesario realizar el análisis de su configuración y de sus parámetros operativos, con el fin de verificar que el instrumento está listo para su operación garantizando la confiabilidad de este último y desempeño en condiciones reales de operación.

7.-Realización la validación y confiabilidad del instrumento de obtención de datos de aprendizaje (cuestionario de conocimiento) mediante KR-20, para poder aplicarlo posteriormente de los alumnos de la carrera de ingeniería en energías renovables, con el fin de medir su aprendizaje antes y después de utilizar el equipo emulador y verificar si hubo cambio alguno: Se entiende como confiabilidad de un instrumento de medición, la consistencia con los que los indicadores de una prueba generan los mismos resultados sin importar como se realice o quien los administre (Bautista et al., 2022). Una de las herramientas útiles para medir este parámetro es la metodología de Kuder-Richarson (KR-20). KR-20 la cual es utilizada cuando el instrumento tiene un carácter dicotómico, es decir, que este consta de dos posibles respuestas las cuales son opuestas y excluyentes entre sí (González et al., 2023).

La fórmula para obtener el KR-20 es la siguiente (Bandalos, 2018):

$$KR-20 = \frac{k}{k-1} \left( 1 - \frac{\sum p_i q_i}{\sigma_c^2} \right)$$

Donde:

$KR - 20 =$  Índice de confiabilidad de Kuder – Richarson

$\sigma^2 =$  Varianza poblacional

$p =$  Probabilidad de éxito

$q =$  Diferencia  $1 - p$

Nunally (1978), señala los siguientes valores de índices de confianza a tomar en cuenta en el análisis de Kuder-Richarson:

**Tabla 1.** Índices de confianza de la prueba Kuder-Richarson

Valores de los índices de confianza	
Índice de confianza	Aplicación
0.7	Etapas iniciales de desarrollo
0.8	Investigación Básica
0.9	Entornos clínicos

Fuente: Nunally, J. C. (1978).

Como el proyecto es considerado como una investigación básica, el índice de confianza del instrumento (cuestionario de conocimiento) mínimo que debió cumplir es de 0.8.

8.- Evaluación del aprendizaje de los alumnos que usan o no el equipo emulador: Para la realización del estudio fue necesaria la participación de 10 estudiantes del séptimo semestre de la carrera de ingeniería en energías renovables del Tecnológico Nacional de México Campus Motul, los cuales, cursan la materia de Energía Eólica, cuya muestra estaba integrada por 7 hombres y 3 mujeres con un rango de edades entre 20 y 21 años. Para la aplicación del test, fue necesario que este grupo de personas

conozcan conceptos fundamentales de física y álgebra básica, que fueron vistos en los primeros semestres de su formación. La comprobación de la prueba de hipótesis se realizó de la siguiente forma: Se tomó una muestra de 10 alumnos que cursan el séptimo semestre de la carrera de ingeniería en energías renovables, integrado por 6 hombres y 4 mujeres con edades que oscilaban entre los 20 y 21 años. Dicho grupo fue dividido a la mitad, es decir 2 grupos de 5 estudiantes, los cuales denominaremos como A y B. Seguidamente y sin haber dado cátedra de ningún tema, se les aplicó el cuestionario a A y B (previamente validado), el cual sirvió como examen diagnóstico (pre-test). Posteriormente, el profesor dio cátedra (clase tradicional) de temas de aprendizaje a los dos grupos. Una vez realizada la explicación, se le pidió al grupo A que se retirara, quedando únicamente B con sus 5 integrantes. A estos se les permitió realizar la práctica de laboratorio utilizando el emulador de aerogeneradores. Posteriormente se integraron A y B de nuevo y se les aplicó de nueva cuenta el mismo cuestionario que sirvió como evaluación diagnóstica (post-test). Teniendo la información de A y B, se procedió a realizar la prueba T de Student, para hallar respuesta a la hipótesis estadística planteada. En lo que respecta a la evaluación del aprendizaje de los estudiantes, en cuanto a la utilización del equipo emulador, esta se llevó a cabo, mediante una prueba T de Student.

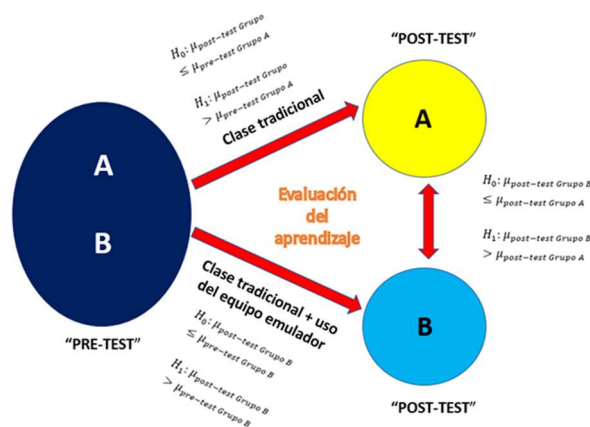


Figura 2. Evaluación del aprendizaje de los alumnos con respecto al uso del emulador

Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 3. Impartición de clase tradicional y realización de la práctica con el simulador.

Fuente: Elaboración propia (2024).

### 3. RESULTADOS.

En cuanto a la construcción del equipo emulador, se optó por la construcción de un equipo transmisor TX y receptor RX. En el TX se encontraban los sensores destinados a obtener los parámetros eólicos. El QS-FS 01 era el anemómetro para medir la velocidad del viento, el DH-22 para mediciones de humedad y temperatura, el BMP-280 para el dato de presión atmosférica, el JXBS-3001-FX encargado de entregar la dirección del viento y el HMC5883L para orientar el

dispositivo en referencia al norte geográfico. También contaba con un módulo de radiofrecuencia para transmitir los datos hacia el RX. El dispositivo encargado de lógica de programación para la adquisición de datos era un Arduino Uno. En cuanto al equipo receptor RX, este estaba compuesto de una pantalla LCD de 7" donde se mostraba el menú de opciones y la configuración de la marca de aerogenerador a emular, así como también los parámetros eólicos en tiempo real que se recibían del equipo TX. De igual forma este contaba con un teclado alfanumérico para dar entrada a comandos y ajustar los parámetros antes mencionados y un módulo de tarjetas Sd para guardar los datos medidores. La antena RX en conjunto con el módulo servía para recibir los parámetros del transmisor.

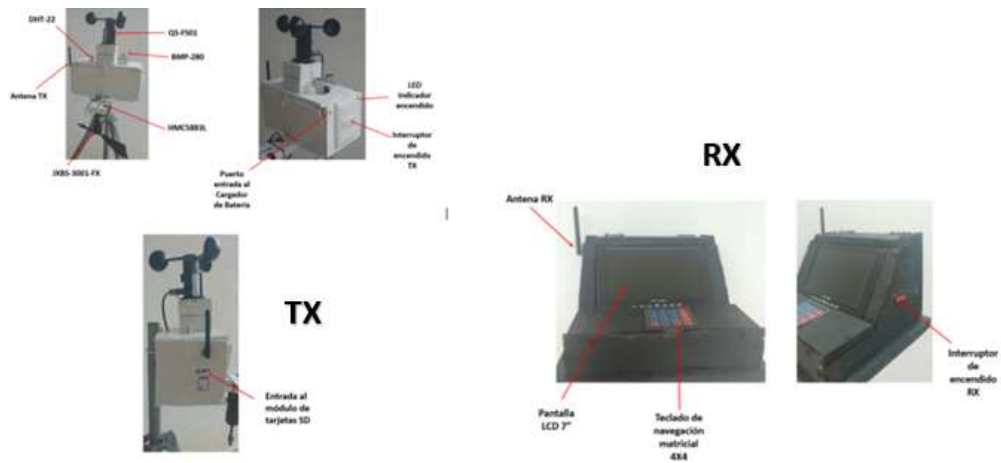


Figura 4. Partes del equipo emulador de aerogeneradores  
Fuente: Elaboración propia (2024).



Figura 5. Parámetros eólicos y energéticos de aerogeneradores mostrados en el equipo emulador.  
Fuente: Elaboración propia (2024).

Para la realización de la prueba de validación de precisión del equipo emulador, se emplearon como instrumentos de referencia, una estación anemométrica Vantage Vue de Davis y un termomanómetro EXTECH 45118. Se utilizó una estación meteorológica Davis Vantage Vue para monitorear la temperatura, humedad relativa y presión atmosférica, mientras que un termomanómetro EXTECH 45118 se empleó específicamente para medir la velocidad del viento. Aunque la estación Davis también tiene la capacidad de medir la velocidad del viento, se decidió usar ambos



equipos porque es necesario obtener mediciones precisas cerca del equipo de prueba (RX del emulador). La proximidad podría causar interferencias entre los anemómetros Davis y el del emulador, lo que afectaría las lecturas de la velocidad del viento. Para prevenir este problema, se utilizó el EXTECH 45118, que mide el flujo de aire con una hélice, evitando interferencias con el anemómetro del emulador. Posteriormente se realizó la prueba RMSE para validar la precisión del emulador. Dichos datos fueron comparados con la norma NMX-AA-166/2-SCFI-2015, la cual establece los requisitos que deben cumplir las estaciones meteorológicas automáticas, así como las convencionales en términos de especificaciones técnicas, materiales, instrumentos de medición y el emplazamiento donde se deseen instalar. Esto es crucial, ya que esta norma proporciona un marco claro para determinar los valores aceptables de estos equipos, asegurando así la precisión y fiabilidad de los datos obtenidos. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Registro de datos para la realización de la prueba de precisión del equipo emulador.

Resultados obtenidos de la prueba comparativa de precisión vs norma					
	Velocidad del viento	Temperatura	Humedad Relativa	Presión atmosférica	Potencia eléctrica generada
<b>Equipo Emulador</b>	±2%	±0.1472 °C	±7.336 %	±0.06124 Hpa	±5.4 % ±8 %-Esperado
<b>Norma NMX-AA-166/2-SCFI-2015</b>	±2%	±0.2 °C	±2%	±0.3 Hpa	-----

Fuente: Elaboración propia con datos de Secretaría de Economía (2015).

Para la validación del cuestionario de evaluación que se aplicó de manera posterior a los alumnos de Energías Renovables, con el fin de medir su aprendizaje, fue necesario realizar la prueba KR-20 (Kuder-Richarson), con el fin de valorar la consistencia interna y la confiabilidad del instrumento. Para ello fue necesaria la participación de 10 alumnos de la misma carrera, pero de un semestre más avanzado, cuya condición principal es que hayan llevado la materia de energía eólica. Para ello se les entregó el cuestionario de 20 preguntas (ítems) de manera digital para que lo respondieran. Los resultados obtenidos, se presentan en la tabla 3.

**Tabla 3.** Respuestas obtenidas de la prueba de validación KR-20 del cuestionario de evaluación

Respuestas obtenidas de la prueba de validación KR-20																					
No. de estudiante	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Ítem 5	Ítem 6	Ítem 7	Ítem 8	Ítem 9	Ítem 10	Ítem 11	Ítem 12	Ítem 13	Ítem 14	Ítem 15	Ítem 16	Ítem 17	Ítem 18	Ítem 19	Ítem 20	Total
1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	14
2	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	12
3	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	14
4	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	17
5	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	14
6	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	15

7	1	1	2	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	16
8	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	13
9	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	14
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	15
	10	8	9	8	7	7	7	7	8	8	7	5	7	10	9	7	8	6	4	2	
p	1	0.8	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.5	0.7	1	0.9	0.7	0.8	0.6	0.4	0.2	
q	0	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.3	0	0.1	0.3	0.2	0.4	0.6	0.8	
pq	0	0.16	0.09	0.16	0.21	0.21	0.21	0.21	0.16	0.16	0.21	0.25	0.21	0	0.09	0.21	0.16	0.24	0.24	0.16	

Fuente: Elaboración propia (2024).

Cabe señalar que este instrumento debe tener un enfoque dicotómico, por lo que en tabla anterior un “0” indica una respuesta contestada de manera “incorrecta” y un “1” una respuesta “correcta”. Con los datos obtenidos se procedió hallar el KR-20:

$$KR - 20 = \frac{k}{k-1} \left( 1 - \frac{\sum p_i q_i}{\sigma_c^2} \right)$$

$$\sum p_i q_i = 0 + 0.16 + 0.09 + 0.16 + 0.21 + 0.21 + 0.21 + 0.21 + 0.16 + 0.16 + 0.21 + 0.25 + 0.21 + 0 + 0.09 + 0.21 + 0.16 + 0.24 + 0.24 + 0.16 = 3.34$$

$$\sigma_c^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{14 + 12 + 14 + 17 + 14 + 15 + 16 + 13 + 14 + 15}{10} = 14.4$$

$$= \frac{\sigma_c^2}{10} = \frac{(14 - 14.4)^2 + (12 - 14.4)^2 + (14 - 14.4)^2 + (17 - 14.4)^2 + (14 - 14.4)^2 + (15 - 14.4)^2 + (16 - 14.4)^2 + (13 - 14.4)^2 + (14 - 14.4)^2 + (15 - 14.4)^2}{10}$$

=1.84

Por lo tanto:

$$KR - 20 = \left( \frac{20}{20 - 1} \right) \left( 1 - \frac{3.34}{1.84} \right) = -0.8581$$

Según lo establecido en la tabla 1, un instrumento de medición para investigación básica debe cumplir con un índice de confianza KR-20 mínimo de 0.8. Por lo tanto, se concluye que el cuestionario es adecuado para la aplicación presentada. Es relevante mencionar que la prueba tuvo que ser aplicada

dos veces, ya que en la primera ocasión no cumplió con el índice mínimo de confianza, lo cual requirió

PRUEBA DE HIPÓTESIS RESPECTO AL APRENDIZAJE OBTENIDO POR LOS ALUMNOS DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES						
Caso	Hipótesis planteada	Descripción Hipótesis	Prueba estadística	Valores del Estadístico	Rechaza $H_0$	Hubo aprendizaje
Aprendizaje individual del grupo "A" (Alumnos que únicamente tomaron la clase tradicional)	$H_0: \mu_{post-test Grupo A} \leq \mu_{pre-test Grupo A}$ $H_1: \mu_{post-test Grupo A} > \mu_{pre-test Grupo A}$	$H_0$ : No hay aumento en el promedio de las calificaciones del grupo "A" después de que el profesor explicara el tema. $H_1$ : Hay aumento en el promedio de las calificaciones del grupo "A" después de que el profesor explicara el tema.	T de Student para dos muestras pareadas o relacionadas.	$t=12.36196513$ valor crítico $t$ una cola= $2.131846786$ , $P(T \leq t)$ una cola igual a $0.000123044$	Sí	Sí
Aprendizaje individual del grupo "B" (Alumnos que tomaron la clase tradicional y emplearon el emulador para realizar prácticas)	$H_0: \mu_{post-test Grupo B} \leq \mu_{pre-test Grupo B}$ $H_1: \mu_{post-test Grupo B} > \mu_{pre-test Grupo B}$	$H_0$ : No hay aumento en el promedio de las calificaciones del grupo "B" después de que el profesor explicara el tema y se realizaran las prácticas con el emulador de aerogeneradores. $H_1$ : Hay aumento en el promedio de las calificaciones del grupo "B" después de que el profesor explicara el tema y se realizaran las prácticas con el emulador de aerogeneradores	T de Student para dos muestras pareadas o relacionadas.	$t=37.94733192$ valor crítico $t$ una cola= $2.131846786$ , $P(T \leq t)$ una cola igual a $0.00000144009$	Sí	Sí
Aprendizaje del grupo "A" (alumnos que tomaron la clase tradicional) comparado con el aprendizaje del grupo "B" (alumnos que tomaron la clase tradicional y emplearon el uso del emulador de aerogeneradores para realizar prácticas)	$H_0: \mu_{post-test Grupo B} \leq \mu_{post-test Grupo A}$ $H_1: \mu_{post-test Grupo B} > \mu_{post-test Grupo A}$	$H_0$ : No hay aumento en el promedio de las calificaciones después de que el profesor explicara el tema y se realizaran las prácticas con el equipo emulador de aerogeneradores en el grupo B, en comparación con el grupo A que solo tomo la clase tradicional. $H_1$ : Hay aumento en el promedio de las calificaciones después de que el profesor explicara el tema y se realizaran las prácticas con el equipo emulador de aerogeneradores en el grupo B, en comparación con el grupo A que solo tomo la clase tradicional	T de Student para muestras independientes y varianzas diferentes (T de Welch)	$t=5.091168825$ valor crítico $t$ una cola igual $2.015048373$ , $P(T \leq t)$ una cola igual a $0.0011899194$	Sí	Sí

modificaciones en los ítems del test. Una vez realizada la validación del cuestionario, fue posible realizar la evaluación del aprendizaje. Los resultados obtenidos pueden observarse en la tabla 4.

**Fuente: Elaboración propia (2024).**

## 5. DISCUSION.

Es fundamental comprender que la caracterización de parámetros eólicos clave, como la velocidad y dirección del viento, la temperatura ambiente, la humedad relativa y la presión atmosférica, fueron esenciales para evaluar la capacidad de emulación de las turbinas eólicas, ya que estos valores, impactan directamente en el rendimiento y la eficiencia de los equipos. Además, la densidad del aire, que se calcula a partir de la temperatura ambiente, la humedad relativa y la presión atmosférica, es un factor crítico por considerar, ya el aumento de este valor permite una mayor captación de la energía eólica. La información proporcionada por el fabricante de aerogeneradores, la cual incluye la curva de potencia de potencia y sus características físicas, como es el caso del diámetro de las aspas, fueron cruciales para evaluar la energía que este puede generar bajo diferentes condiciones de velocidad del viento. De igual forma queda demostrado que el equipo emulador de aerogeneradores presentó un desempeño adecuado en cuanto a los parámetros de velocidad del viento, temperatura y presión atmosférica, ya que, estos cumplen con las recomendaciones de la norma NMX-AA-166/1-SCFI-2013. En cuanto al dato de potencia eléctrica del aerogenerador emulado, puede decirse que este se ajusta al rango establecido en el proyecto. Por lo tanto, ante los resultados presentados, es posible concluir que el equipo emulador es una herramienta confiable, la cual es adecuada para la enseñanza y es posible de igual forma utilizarla para investigación cuando no se requiera una alta precisión en las mediciones.

#### 4. CONCLUSIONES Y/O PROYECTOS FUTUROS.

Otros de los principales puntos a evaluar en este proyecto de investigación fue aprendizaje de los alumnos de ingeniería en energías renovables en lo que respecta al uso del equipo emulador. Según lo estipulado en los resultados obtenidos en la tabla 4, es posible dar las siguientes conclusiones:

**Eficiencia de la Clase Tradicional:** Según los resultados de los estadísticos, se pudo observar que por sí sola resultó en una mejora en el aprendizaje de los alumnos tanto en el grupo “A” como en el grupo “B”. Este resultado ya se esperaba, debido a que la finalidad de las clases es el transmitir conocimiento hacia los alumnos mediante una estructura organizada.

**Contribución del equipo emulador:** El uso del emulador junto con la clase tradicional llevadas por el grupo B, produjo un incremento en el aprendizaje aun mayor que los estudiantes que llevaron únicamente la clase, es decir, el grupo A. Esto sugiere que al adicionar prácticas con dicho equipo a la enseñanza, es un complemento eficaz para poder aumentar el aprendizaje de manera significativa en los alumnos. Por lo que, a manera de resumen, es posible deducir que ambos métodos de enseñanza son eficaces para lograr una mejora en el aprendizaje, pero la combinación de las clases tradicionales y las prácticas con el uso del emulador son más efectivas en cuanto a la mejora del rendimiento de los alumnos.

#### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agudelo, & García. (2010). Aprendizaje significativo a partir de prácticas de laboratorio de precisión. *Universidad de Rioja*, 4(1), 149-150.
- Agency, I.R. (2022). *International Renewable Energy Agency*. Obtenido de <https://www.irena.org/>
- Asiain Ansorena, D., & Ponce de León Vázquez, J. (2022). Design of a DAQ system using Arduino. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. <https://doi.org/10.1109/TAEE54169.2022.9840645>
- Ausubel, & Novak. (1983). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. Trillas, México 2a Ed.
- Ballesteros, V. A., & Gallego Torres, A. P. (2019). Modelo de educación en energías renovables desde el compromiso público y la actitud energética. *Revista Facultad de Ingeniería*, 28(52). <https://doi.org/https://doi.org/10.19053/01211129.v28.n52.2019.9652>
- Bautista Diaz, M. L., Franco Paredes, K., & Hickman Rodríguez, H. (2022). Objetividad, validez y confiabilidad: atributos científicos de los instrumentos de medición. *Salud y Educación*, 69. <https://doi.org/https://doi.org/10.29057/icsa.v11i21.10048>
- Bauer, L., & Matysik, S. (2024). El gran portal de energía eólica. Obtenido de <https://es.wind-turbine-models.com/turbines/519-nordex-n70>
- Economía, S. d. (2015). *Secretaría de Gobernación*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166838/nmx-aa-166-2-scfi-2015.pdf>
- González Burboa, A., Vera Calzarreta, A., Villaseca Silva, P., Otero Puime, A., Sepúlveda Bustamante, B., Troncoso Gutiérrez, F., Páez Rovira, D. (2023). Validación del test Nuevo Signo Vital para la medición de la alfabetización en salud. *Revista médica de Chile*, 151(3), 323. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/s0034-98872023000300321>
- Guañuna Chávez, D., Pilatuña Álvaro, F., & Molina Santillán, I. (2021). Monitoreo y obtención de la caracterización de un motor dc mediante el desarrollo de un sistema de adquisición de datos en LabView para prácticas de estudiantes de electrónica del ISTCT. *Revista Investigación Tecnológica / ISUCT*, 3(1).
- Mehrjoo, M., Jozani, M., & Pawlak, M. (2020). Wind turbine power curve modeling for reliable power prediction using monotonic regression. *Renewable Energy*. [www.elsevier.com/locate/renene](http://www.elsevier.com/locate/renene)
- Moreira-Chóez, J. S., Beltrón-Cedeño, R. A., & Cecilia Beltrón-Cedeño, V. C. (2021). Aprendizaje significativo una alternativa para transformar la educación. *Dominio de las Ciencias*, 917. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i2.1835>
- Nunally, J. C. (1978). *Psychometric theory*. New York: McGraw-Hill.

- Perino, E. J., Kiessling Duran, R. A., Silnik, A. A., Perelló, A. D., & Perino, E. (2021). Energías renovables y sustentabilidad: una eficiente forma de gestionar los recursos naturales. *Universidad Nacional Autónoma de México*, 22(32-33).  
<https://doi.org/http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2021.22.3.4>
- Power, T. W. (2024). The Wind Power. *Wind Energy Market Intelligence*. <https://www.thewindpower.net/>
- Roa Rocha, J. C. (2021). Importancia del aprendizaje significativo en la construcción de conocimientos. *Revista Científica de FAREM-Esteli*, 63-75. <https://doi.org/>  
<https://doi.org/10.5377/farem.v0i0.11608RECIBIDO26/03/2021ACEPTADO19/052021>
- Ruiz Gómez, V. L., Savé Monserrat, R., Lanusa Lanusa, O. R., Herrera Herrera, A., López Benavidez, K., & Urrutia Rodríguez, J. T. (2021). Evolución de la temperatura y precipitación en cuatro estaciones meteorológicas, ubicadas en la región Norcentral de Nicaragua, Centroamérica. *Revista científica de FAREM-Esteli* (38), 203. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/farem.v0i38.11952>
- Si, M., Xiong, Y., Du, S., & Du, K. (2020). Evaluation and calibration of a low-cost particle sensor in ambient conditions using machine-learning methods. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(4), 1693-1704. <https://doi.org/10.5194/amt-13-1693-2020>
- Zarco, J. (2023, 24 de julio). *PV Magazine*. <https://www.pv-magazine-mexico.com/2023/07/24/para-2024-la-participacion-de-las-energias-renovables-en-la-generacion-mundial-de-electricidad-superara-un-tercio/>