

PLATAFORMA DE MONITOREO DE UN SISTEMA EÓLICO UTILIZANDO EL MÉTODO DE APRENDIZAJE “PROJECT-ORIENTED PROBLEM-BASED”

Julio Cesar Peña Aguirre

Instituto Tecnológico de Celaya

julio-cesar-barca@hotmail.com

Alonso Alejandro Jiménez Garibay

Instituto Tecnológico de Celaya

alonso.jimenez@itcelaya.edu.mx

Resumen

Alrededor del mundo existen en la literatura diferentes esfuerzos por promover la educación en lo que respecta a energías renovables; los programas académicos deben enfrentar el desafío con nuevas estrategias educativas que ofrezcan una visión contextual del proceso de enseñanza-aprendizaje. En este artículo se describe una metodología guiada, “estudiante-facilitador”, basada en el aprendizaje Project-Oriented Problem-Based (POPB), que tiene como fin el desarrollo de una plataforma de monitoreo para medir las señales de interés relacionadas con la parte eléctrica de un sistema de conversión de la energía del viento (Wind Energy Conversion System, WECS, por sus siglas en inglés). El principal objetivo para el alumno es entender el funcionamiento típico de un WECS en estado estacionario y relacionarlo con problemas actuales durante condiciones transitorias o de perturbación. La metodología propuesta permite a los estudiantes el uso de conocimientos adquiridos en otras asignaturas y orientarlos hacia la resolución de problemas técnicos, así como el desarrollo de habilidades personales. Por último la evaluación se centra en el rendimiento del sistema implementado y el desarrollo de las competencias del estudiante.

Palabra(s) Clave(s): educación, energía eólica, monitoreo, Project-Oriented Problem-Based Learning (POPBL).

1. Introducción

Debido al creciente impacto de la producción de energía eólica en estructuras energéticas globales y los requisitos de un sistema de conversión de energía eólica (WECS) relacionados con la alta confiabilidad y economía, tales como la caracterización de fallas [1] y dificultades de mantenimiento [2], es esencial aplicar estrategias de enseñanza para potenciar la formación integral y multidisciplinaria en la enseñanza de la ingeniería [3].

Project-Oriented Problem-Based (POPB) es una estrategia educativa diseñada para crear un ambiente de aprendizaje contextual para que el alumno inicie con el análisis de un problema de investigación seguido por un proyecto de le dará una solución específica a través de una metodología basada en: planificación, orientación y asesoramiento [4].

En contraste con Project ó Problem-based learning (POL), POPB se centra en la formulación del problema a partir del estudiante mediante el desarrollo del tema y en el papel del facilitador para orientar un proyecto que genere alternativas de solución [5]. Sus características tienden a favorecer en el desarrollo de habilidades de aprendizaje, desarrollo de habilidades multidisciplinarias, así como la aplicación de conocimientos adquiridos durante sus estudios en la ingeniería.

En la literatura se reportan varios trabajos acerca de estrategias educativas en plataforma experimentales, Kumar et al [6] en 2013 usa el concepto Project- Based Learning para la implementación de una plataforma educativa focalizada en sistemas embebidos utilizando FPGAs, Duran et al [7] en el 2013 se propone un enfoque pedagógico que consta de dos partes: la primera crea un fondo teórico y una descripción del estado del arte de WECS y la segunda parte trata de la simulación de un motor síncrono de imán permanente (PMSG, por sus siglas en inglés), y un sistema de potencia basado en el control de campo orientado, Santos-Martin et al [8] en 2012, propone la aplicación de Problem-Based Learning en estudiantes de maestría para obtener soluciones a la respuesta de un sistema con un generador doblemente alimentado (DFIG, por sus siglas en inglés) bajo fallas de tensión de red a través de simulaciones en MATLAB/Simulink y NI LabVIEW.

Arribas et al [9] en 2011 presenta un sistema diseñado para fines educativos y estrategias para el control de un DFIG.

En lo que respecta a plataformas experimentales comerciales, permiten entender los conceptos básicos del WECS, sin embargo son arquitecturas cerradas, por lo que el estudiante difícilmente tiene acceso a componentes vitales del sistema tales como: sensores, tarjetas de adquisición de datos o sistemas de procesamiento digital para la implementación del control, y en algunos casos desconoce las variables que definen el comportamiento estático y dinámico del sistema.

Así, en este artículo se describe una metodología estudiante- facilitador tipo POPB, que consiste en periodos de evaluaciones de competencias, con el fin de generar soluciones a los problemas eléctricos de monitoreo de condiciones relacionadas con DFIG-WECS [10] por medio del diseño e implementación, a partir del estudiante, de una plataforma de monitoreo mediante NI LabVIEW.

2. Metodología POPB

La principal contribución de este artículo es la propuesta de una metodología POPB para mejorar el proceso formativo-integral del estudiante en concordancia con los requerimientos de los programas educativos relacionados a través del desarrollo de competencias profesionales, figura 1.

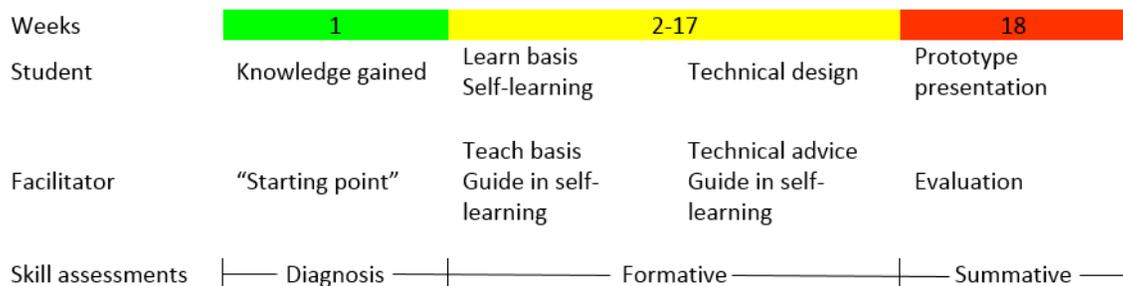


Figura 1 Metodología POPB propuesta.

Las competencias profesionales desarrolladas se clasifican en:

- Habilidades instrumentales
 - Comunicación oral y escrita

- Capacidad de análisis y síntesis
- Capacidad para organizar y planificar
- Conocimientos básicos de Ingeniería Mecatrónica
- Habilidad para buscar y analizar información de diversas fuentes
 - Solución de problemas
 - Toma de decisiones
- Habilidades interpersonales
 - Capacidad crítica
 - Trabajo en equipo
 - Ética profesional
 - Competencias sistemáticas
 - Capacidad de aplicar conocimientos en la práctica
 - Capacidad de aprender
 - Creatividad
 - Innovación
 - Capacidad de trabajar autónomamente
 - Alcanzar los objetivos

El proceso del desarrollo de las habilidades consta en 18 semanas que incluyen: una evaluación diagnóstica, formativa y sumativa.

La figura 1 muestra la metodología POPB propuesta, en un inicio, el papel del facilitador es asumir la responsabilidad del aprendizaje del estudiante a partir de un diagnóstico inicial y con ello definir un "punto de partida".

Durante la etapa formativa el papel del facilitador incluye enseñanza y orientación: en primer lugar presenta una introducción de los WECS, explicando ventajas y desventajas de cada uno.

Paralelamente, el estudiante conoce los fundamentos básicos de los WECS y comienza un período continuo de auto-aprendizaje basado en la búsqueda de literatura relacionada con el tema, en este momento encuentra varios problemas actuales de los WECS: los diferentes métodos para el acondicionamiento y adquisición de señales, métodos alternativos para parametrizar el generador,

problemas relacionados con el comportamiento dinámico del sistema y alternativas mecánicas para mejorar la transferencia de energía. Por lo tanto, el estudiante observa problemas relacionados con el monitoreo de estado y comienza el diseño de un proyecto de DFIG WECS para el análisis y las propuestas de posibles soluciones.

En la segunda etapa, la metodología se centra en el estudiante, quien aplica conocimientos adquiridos durante su formación en ingeniería y los orienta hacia el diseño de una plataforma experimental de DFIG WECS, realizando las siguientes actividades: acondicionamiento y adquisición de señales, lógica de programación y seguimiento de las variables de interés. Mientras que en este punto, el papel del facilitador es mantener la actividad de guía además de un asesoramiento técnico. Finalmente, el facilitador realiza una evaluación del sistema diseñado e implementado, mientras que el estudiante finaliza la metodología con la presentación de un informe escrito y una presentación oral técnica.

3. Diseño técnico

Los sistemas de conversión de energía eólica de velocidad variable se presentan en la actualidad como el sistema más ampliamente utilizado en lo referente a esquemas de generación eléctrica interconectados a la red.

En la etapa de identificación y análisis del sistema eólico, el equipo de trabajo del estudiante nota que un primer problema para entender el comportamiento del sistema es el monitoreo de la señal completa que incluye: tres fases de voltaje y corriente de estator y rotor, la velocidad del eje (rotor), energía activa y reactiva además de la corriente directa (CD), tensión de bus.

Durante la etapa formativa, se presentan varias formas de programación lógica por equipos de trabajo para cumplir la primera etapa del proyecto. Las figuras 2 y 3 muestran la mejor alternativa, basada en un instrumento virtual programado en NI LabVIEW para adquirir y acondicionar las tres fases de voltaje y corriente [10]. Mientras tanto la figura 4 muestra la media cuadrática (RMS) potencia activa y reactiva acondicionado instrumento virtual (VI).

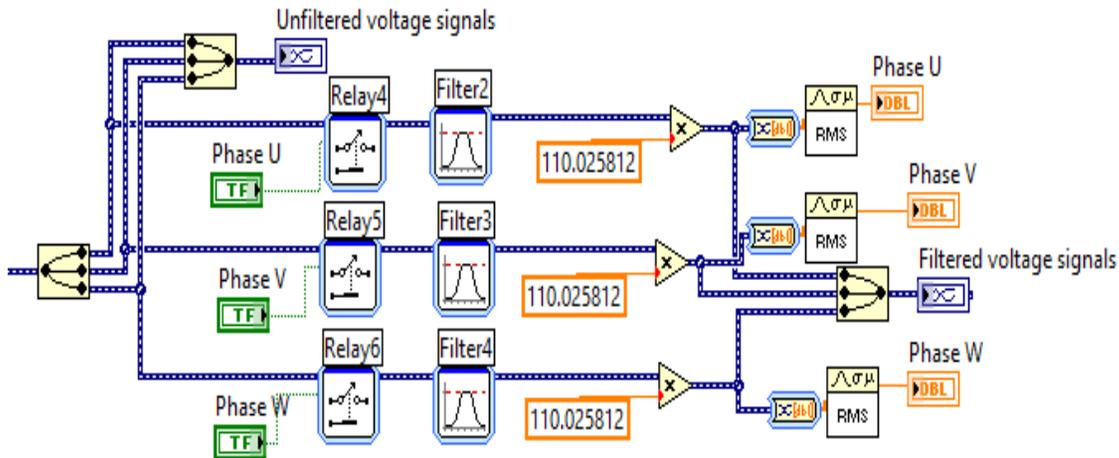


Figura 2 VI para el acondic

La VI propuesto en la figura 2 comienza ionamiento y adquisición de voltaje por fase. con la adquisición de referencias de voltaje por cada fase U, V y W, seguido por un módulo de relés que funcionan permitiendo el flujo de la señal que depende del estado lógico, se aplica un filtro digital a cada señal a través del módulo filter configurado como filtro pasa bajas con frecuencia de corte de 60 Hz , el acondicionamiento del valor del voltaje pico en la medición del sistema se realiza mediante el producto de la señal filtrada y un factor constante, el indicador numérico y gráfico de las tres fases se presentan como señales RMS.

Mientras tanto, la figura 3 muestra el VI para la adquisición de la señal de corriente, el uso de un sensor de efecto Hall para cada fase, el cual requiere un acondicionamiento de la señal debido a la característica de desplazamiento del sensor (2.5 VDC), un arreglo apropiado permite que el eje de amplitud sea modificado a cero, para finalmente obtener el valor RMS de la corriente de entrada. En el caso de potencia activa y reactiva, el monitoreo utiliza un módulo de energía, que permite medir el valor RMS de potencia activa, reactiva y aparente. Sin embargo, mediante una programación gráfica de la expresión matemática correspondiente se es posible obtener el mismo resultado.

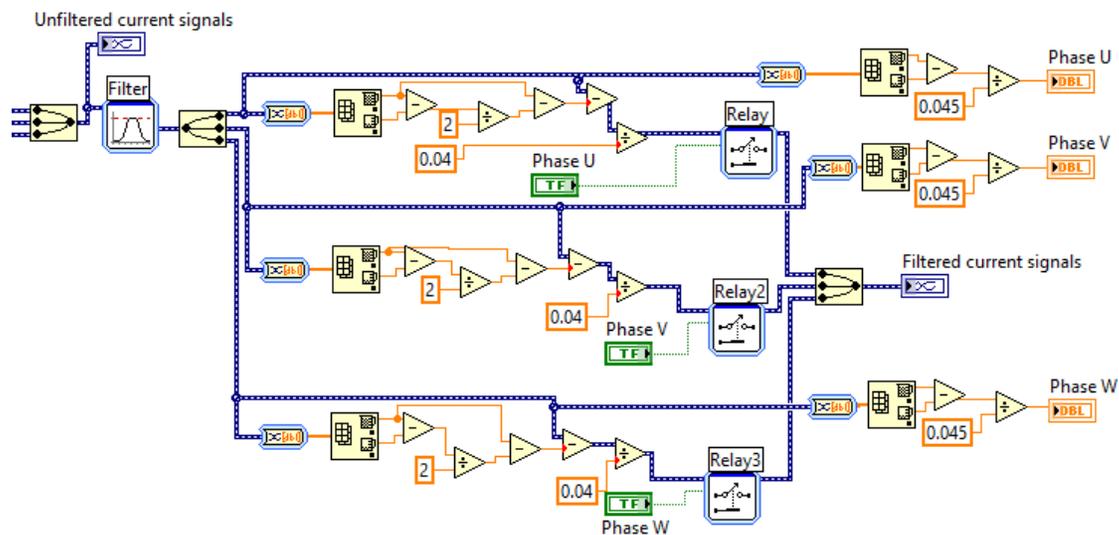


Figura 3 VI para el acondicionamiento y adquisición de corriente por fase.

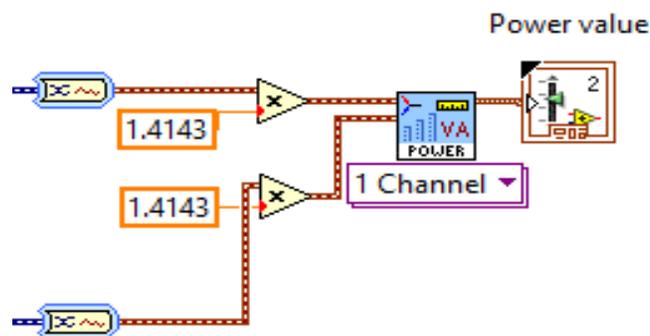


Figura 4 VI para el cálculo de la potencia por fase.

4. Resultado técnico

En la figura 5 se muestra el panel frontal de la plataforma experimental propuesta, que consiste en:

- Monitor trifásico de voltaje, pico a pico con un selector de fase y un indicador numérico del valor RMS.
- Monitor trifásico de corriente pico a pico con un selector de fase y un indicador numérico del valor RMS.
- Monitoreo de la velocidad del rotor con un indicador numérico de RPM.

- Monitoreo de la potencia activa y reactiva con un control de activación y dos indicadores numéricos para valores de potencia RMS.
- Monitoreo del voltaje del bus CD con un indicador numérico del valor RMS.

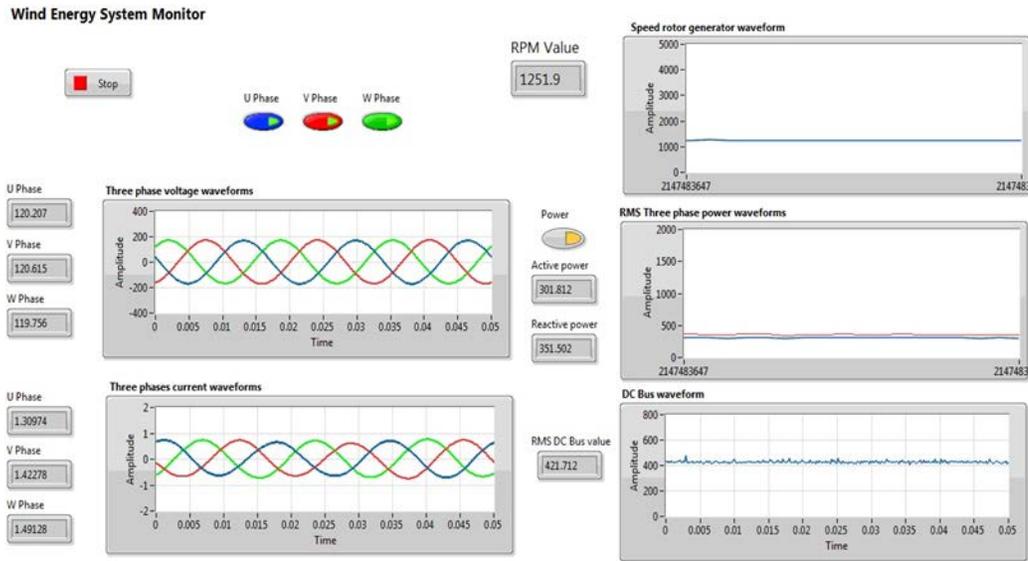


Figura 5 Panel frontal del monitor de sistema de energía eólica.

Las figuras 6 y 7 muestran las gráficas exportadas de las tres fases de voltaje y corriente, característica del sistema propuesto que permite el análisis de cada fase por separado, todo ello mediante un botón de activación lógica localizado en el panel.

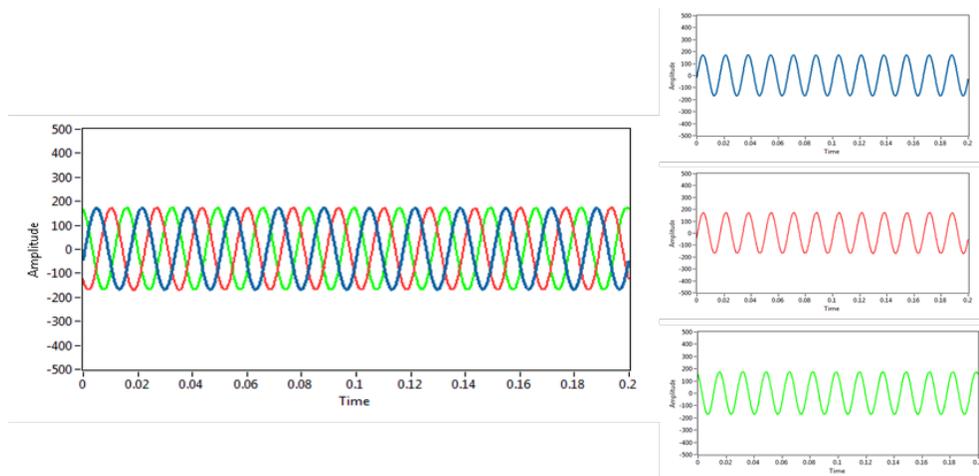


Figura 6 Exportación de voltajes trifásicos.

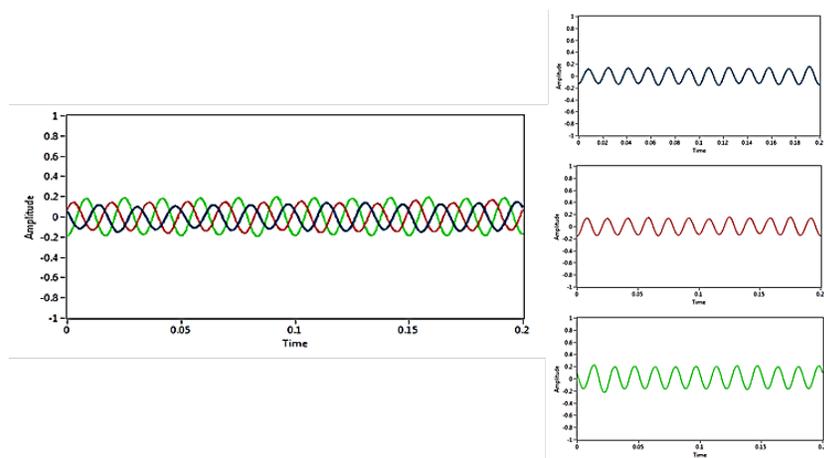


Figura 7 Exportación de corrientes trifásicas.

El encoder otorga 1024 pulsos por revolución que se utilizan para medir la velocidad de rotor, en la figura 8 se muestra el gráfico exportado del sistema monitor a 1251,9 rpm.

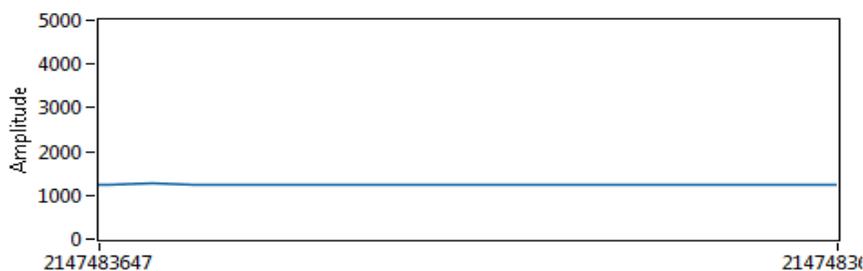


Figura 8 Velocidad del eje del rotor en RPM.

El voltaje y corriente trifásicos se utilizan para obtener la potencia activa y reactiva, la figura 9 muestra los gráficos exportados del sistema, con una potencia activa de 301,812 watts (línea azul) y una potencia reactiva de 351.01 VAR (línea roja).

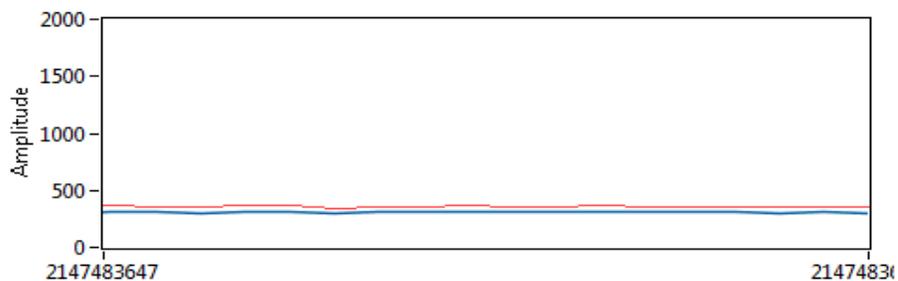


Figura 9 Potencia activa y reactiva.

Finalmente, la medición del bus de CD de un convertidor back to back, consiste en dos convertidores CD-CA conectados por un bus de CD, la figura 10 muestra el gráfico exportado del sistema de monitoreo con valor de 421.712 de VRMS.

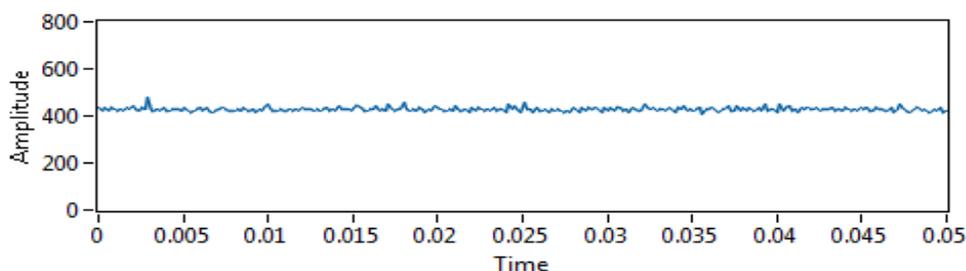


Figura 10 Medición del Bus de CD.

5. Resultados de la comparación de la estrategia educativa (LCM vs POPB)

Se aplicó una encuesta basada en la escala de Likert [12], con habilidades profesionales dieciséis a cincuenta a cuatro estudiantes para conocer el grado de acuerdo de la metodología POPB en comparación con el modelo de aprendizaje tradicional (LCM Lecture Centred Mode por sus siglas en inglés).

En la tabla 1 se presentan los resultados en porcentajes derivados de la percepción del estudiante sobre el LCM tradicional representados y ordenados en tres grupos de competencias (instrumentales, interpersonales y sistémicas), mientras tanto, tabla 2 muestra los resultados encuesta POPB.

Un desafío común a escala de Likert es la forma de presentación gráfica de resultados, las tablas 1 y 2 no facilitan la evaluación en la distribución de los subconjuntos de los estudiantes muestreados, para dar un mejor escenario de evaluación crítica para la investigación, se utilizan gráficos de barras divergentes para comparar el desarrollo de habilidades en ambos modelos educativos. Las tablas 3 y 4 muestran los resultados gráficos de la escala de Likert, los porcentajes de los encuestados que están de acuerdo con la declaración tienden hacia la derecha del cero, localizada en la mitad de la tasa de acuerdo "ninguna opinión", por el contrario, la respuestas en las que el estudiante está en desacuerdo tiende a la izquierda.

Tabla 1 Los resultados del estudio relacionado con LCM.

<i>Lecture Centred</i>	Total Count	Strongly Agree	Agree	No Opinion	Disagree	Strongly Disagree	Percentage Total
All Survey Responses	864	5.32	21.3	41.67	24.77	6.95	100
Instrumental group							
Capacity for analysis and synthesis	378	3.7	25.9	44.4	18.5	7.4	100
Ability to organize and plan		0	14.8	59.26	25.9	0	100
Basic knowledge of mechatronics engineering		0	22.2	29.6	40.7	7.4	100
Oral and written communication		18.5	33.3	25.9	18.5	3.7	100
Ability to search and analyze information from various sources		11.1	11.1	51.85	14.8	11.1	100
Troubleshooting		0	33.3	40.7	25.9	0	100
Decision making		3.7	14.8	51.85	18.5	11.1	100
Interpersonal group							
Critical capacity	162	11.1	22.2	29.6	33.3	3.7	100
Teamwork		3.7	22.2	25.9	37	11.1	100
Professional ethics		11.1	33.3	33.3	18.5	3.7	100
Systemic group							
Ability to apply knowledge in practice	324	7.4	0	48.1	18.5	25.9	100
Ability to learn		3.7	18.5	59.26	14.8	3.7	100
Creativity		3.7	7.4	48.1	25.9	14.8	100
Innovation		0	18.5	25.9	51.85	3.7	100
Ability to work autonomously		3.7	25.9	44.4	22.2	3.7	100
Achieve objectives		3.7	37	48.1	11.1	0	100

El análisis de los resultados gráficos de LCM denota un comportamiento centralizado en la no opinión, con índices más altos en: habilidad para buscar y analizar dentro del grupo instrumental, capacidad crítica para grupo interpersonal y capacidad para aplicar conocimientos en la práctica de grupo sistemático.

POPB, por el contrario, muestra una mejor tendencia en la mayoría de las habilidades, teniendo índices sobresalientes en: comunicación oral y escrita dentro del grupo instrumental, capacidad crítica para el interpersonal y capacidad para aplicar conocimientos en la práctica y habilidad para trabajar autónomamente dentro del grupo sistemático.

Tabla 2 Los resultados del estudio relacionado con POPB.

POPB	Total Count	Strongly Agree	Agree	No Opinion	Disagree	Strongly Disagree	Percente Total
All Survey Responses	864	40.5	41.4	13.4	3.93	0.69	100
Instrumental group							
Capacity for analysis and synthesis	378	22.2	55.55	18.5	3.7	0	100
Ability to organize and plan		37	40.74	18.5	3.7	0	100
Basic knowledge of mechatronics engineering		40.7	48.1	7.4	3.7	0	100
Oral and written communication		11.1	37	29.6	18.5	3.7	100
Ability to search and analyze information from various sources		55.55	25.9	18.5	0	0	100
Troubleshooting		48.1	22.2	25.9	3.7	0	100
Decision making		44.44	40.74	14.8	0	0	100
Interpersonal group							
Critical capacity	162	33.3	44.4	11.1	7.4	3.7	100
Teamwork		48.1	44.4	3.7	3.7	0	100
Professional ethics		29.6	44.4	25.9	0	0	100
Systemic group							
Ability to apply knowledge in practice	324	70.4	25.9	0	3.7	0	100
Ability to learn		44.4	51.85	3.7	0	0	100
Creativity		40.74	55.55	0	3.7	0	100
Innovation		51.85	29.6	14.8	3.7	0	100
Ability to work autonomously		29.6	48.1	11.1	7.4	3.7	100
Achieve objectives		40.74	48.1	11.1	0	0	100

Tabla 3 Resultados de la escala de calificación para el modelo centrado en el profesor.

Lecturer Centred	Strongly Disagree	Disagree	No Opinion	Agree	Strongly Agree
All Survey Responses	6.9	24.77	41.67	21.3	5.32
Instrumental group					
Capacity for analysis and synthesis					
Ability to organize and plan					
Basic knowledge of mechatronics engineering					
Oral and written communication					
Ability to search and analyze information from various sources					
Troubleshooting					
Decision making					
Interpersonal group					
Critical capacity					
Teamwork					
Professional ethics					
Systemic group					
Ability to apply knowledge in practice					
Ability to learn					
Creativity					
Innovation					
Ability to work autonomously					
Achieve objectives					

Tabla 4 Resultados de la escala de calificación para la metodología POPB.

POPB	Strongly Disagree	Disagree	No Opinion	Agree	Strongly Agree
All Survey Responses	0.69	3.93	13.4	41.4	40.5
Instrumental group					
Capacity for analysis and synthesis					
Ability to organize and plan					
Basic knowledge of mechatronics engineering					
Oral and written communication					
Ability to search and analyze information from various sources					
Troubleshooting					
Decision making					
Interpersonal group					
Critical capacity					
Teamwork					
Professional ethics					
Systemic group					
Ability to apply knowledge in practice					
Ability to learn					
Creativity					
Innovation					
Ability to work autonomously					
Achieve objectives					

6. Conclusiones

La metodología POPB demostró ser una alternativa valiosa para la planificación y ejecución así como una herramienta eficaz en el desarrollo de habilidades específicas en los estudiantes según el perfil del plan de estudios y graduación. Durante el proceso, la conclusión principal es que la clave de éxito POPB es definir de manera precisa el papel del profesor y el estudiante para obtener resultados deseables.

Los estudiantes no sólo obtienen prototipos aceptables, si no también fueron capaces de contextualizar y proponer alternativas a problemas técnicos tales como: proceso de conversión de energía relacionado con convertidores conmutados, comportamiento dinámico o transitorio, control de desacoplo de potencia activa y reactiva, etc., lo que aporta un plus en el proceso de comprensión

y análisis de sistemas de convertidor de energía eólica y en el proceso de formación integral del estudiante.

7. Bibliografía y Referencias

- [1] M. Ezzat, M. Benbouzid, S. Muyeen, L. Harnfors. "Baja tensión paseo-a través de técnicas DFIG-Based aerogeneradores: informe Estado de la técnica y las tendencias de futuro", IEEE IECON 2013, Vienne, Austria, pp.7681-7686. < hal-00926249 >, noviembre de 2013.
- [2] Caída de J. J. Zhang, M. Cheng, Wang W., M. Zhang, "Condition Monitoring" y diagnóstico de fallas para sistema de conversión de energía eólica, las transacciones de la sociedad electrotécnica de China ", vol. 28, N° 4, pp. 261-272, abril de 2013.
- [3] Kandpal de C. de T. y L. Broman, "Educación de las energías renovables: una revisión de la situación mundial", renovable y sostenible de energía de revisiones, vol. 34, pp. 300-324, marzo de 2014.
- [4] E. Moesby, "Desarrollo del Currículum para el aprendizaje orientado a proyecto y basado en problemas (POPBL) con énfasis en habilidades personales y habilidades", J. mundial de ingeniería. Educ., vol. 9, núm. 2, págs. 121-128, 2005.
- [5] Ibrahim N., S. Abd.Halim, "Implementación de proyecto-orientado Problem-Based Learning (POPBL) en Introducción al curso de programación", Simposio Internacional de investigación sobre aprendizaje basado en problemas (IRSPBL), Kuala Lumpur, Malasia, 2013, págs. 279-288.
- [6] A. Kumar, S. Fernando, R.C. Panicker, "Basadas en proyectos de aprendizaje en la educación de sistemas embebidos utilizando una plataforma FPGA", IEEE trans. Educ., vol. 56, núm. 4, págs. 407-415, noviembre de 2013.
- [7] M. J. Duran, A. Pozo-Ruz, F. Guzmán, J. Fernández, Guzmán H., "Comprensión electrónica de potencia y máquinas eléctricas en el sistema de conversión de energía eólica multidisciplinar", IEEE trans. Educ., vol. 56, núm. 2, págs. 174-182, puede. 2013.

- [8] D. Santos Martín, J. Alonso-Martínez, J. Eloy-García, S. Arnaltes, "basado en problemas aprendizaje en energía eólica usando configuraciones virtuales y reales", *IEEE trans. Educ.*, vol. 55, núm. 1, pp. 126-134, febrero de 2012.
- [9] J.R. Arribas, Veganzones C., F. Blázquez, C.A. Platero, D. Ramírez, S. Martínez, J.A. Sánchez, N. Herrero, "Simulación de computadora y sistema de banco de escala laboratorio para la enseñanza y la formación de ingenieros en el Control de la doble inducción de Fed de generadores de viento", *IEEE trans. Educ.*, vol. 26, núm. 3, pág. 1534-1543, de agosto de 2011.
- [10] Popa, L.M., Jensen, B. B. Ritchie, E., Boldea, I., "Condición de control de generadores eólicos", *Conferencia de aplicaciones de la industria*, vol. 3, págs. 1839-1846, 2003, DOI: 10.1109/IAS.2003.1257819.
- [11] «LabVIEW, Manual de usuario», National Instruments, Austin TX, abril de 2003.
- [12] Yusoff, R.; Janor, R.M., "Una escala métrica propuesta por expresar su opinión," *las estadísticas en ciencia, negocios y la ingeniería (ICSSBE)*, Conferencia Internacional 2012, 2012, páginas: 1-6, DOI: 10.1109/ICSSBE.2012.6396603