



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

Aprendizaje Basado en Proyectos aplicado a la Ingeniería Eléctrica (PINN-18-A-14)

Convocatoria de los Proyectos de Innovación Docente 2018

Daniel Fernández Alonso – fernandezalodaniel@uniovi.es- Departamento de Ingeniería Eléctrica

Palabras clave:

Tipo de proyecto

Tipo A (PINN-18-A)	X	Tipo B (PINN-18-B)	
--------------------	----------	--------------------	--

En este apartado decir el tipo de proyecto (Tipo A o Tipo B) y únicamente en caso de ser de tipo B, describir las ampliaciones y novedades con respecto a los proyectos anteriores de los cuales es continuación.

Resumen / Abstract

El objetivo del proyecto es hacer uso de las técnicas de aprendizaje basadas en proyectos (ABP), en las asignaturas de Tracción Eléctrica (TRe) y Control y Protección de Máquinas Eléctricas (CPMe), que se imparten en el cuarto curso del Grado en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oviedo. La asignatura TRe es impartida actualmente por profesores de tres áreas de conocimiento: Ingeniería Eléctrica (IE), Tecnología Electrónica (TE) e Ingeniería de Sistemas y Automática (ISA). La asignatura de CPMe es impartida únicamente por profesores de IE. Ambas asignaturas forman al alumno en el diseño de un complejo sistema eléctrico/electrónico que se emplea en múltiples aplicaciones con accionamientos eléctricos modernos como son: vehículos eléctricos, trenes eléctricos, generación eólica, etc. La presente propuesta pretende que el alumno aplique los conocimientos adquiridos en estas asignaturas y fomentar el desarrollo de sus habilidades en el diseño, construcción y puesta en marcha de un inversor trifásico para el control de máquinas eléctricas empleadas en sistemas de tracción. El desarrollo de este dispositivo permite que el alumno controle un motor eléctrico que diseñan y construyen previamente en la asignatura de Máquinas eléctricas II de tercer curso de la misma titulación. El alumno debe ser capaz de realizar una búsqueda de información de los componentes específicos necesarios para llevar a cabo el proyecto, realizar un diseño siguiendo las pautas aconsejadas por los profesores, poner en marcha y hacer las



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

comprobaciones y medidas necesarias en el laboratorio para la correcta ejecución del proyecto. Al final de la asignatura, los alumnos presentarán y defenderán sus proyectos frente a los profesores responsables, quienes valorarán la solución adoptada, la ejecución del proyecto, la generación de la documentación, demostración de funcionamiento y defensa del prototipo.

1 Contribución del proyecto a la consecución de los objetivos específicos y de los objetivos de la convocatoria

1.1 Objetivos específicos y objetivos prioritarios de la convocatoria conseguidos

Todos los alumnos que cursan las asignaturas en las que se aplica la innovación docente propuesta han cursado previamente la asignatura Máquinas II. En esta asignatura, los alumnos organizados por grupos de máximo tres alumnos, construyen un motor eléctrico usando tecnologías de fabricación aditiva (impresión 3D).

Los objetivos prioritarios se enumeran a continuación:

1. El diseño, construcción y puesta en marcha de un convertidor de potencia para el control de la máquina que han construido previamente.
2. La coordinación y aplicación de los conocimientos impartidos por los profesores de las tres áreas de conocimiento: máquinas eléctricas para tracción, control, convertidores eléctricos, técnicas de conmutación y sistemas de almacenamiento de energía.
3. Establecer tutorías de seguimiento del proyecto mediante una breve presentación de los avances y discusión de los problemas encontrados.
4. Búsqueda de información de los distintos dispositivos que pueden seleccionarse para completar el proyecto y justificación de la opción más adecuada basándose en sus hojas de características.
5. Programación de las distintas estrategias de control impartidas en la asignatura.
6. Redacción de una memoria del proyecto, manuales de usuario y hoja de características del prototipo realizado por cada grupo de alumnos en formato artículo de investigación.
7. Presentación, demostración de funcionamiento y defensa oral de los proyectos.

Los objetivos específicos se enumeran a continuación:

1. Visita a los laboratorios de investigación del departamento, explicación y demostración de los proyectos que se están llevando a cabo con empresas en la temática del proyecto y discusión sobre las necesidades de la industria y los avances tecnológicos actuales.
2. Discusión de las sobre las diferencias que existen entre el sistema diseñado y construido por los alumnos durante el curso y un sistema industrial de cualquier potencia.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

1.2 Mejoras a la convocatoria, grado de pertinencia de las mismas, modificaciones al proyecto inicial y justificación de los cambios

Durante la ejecución del proyecto propuesto, se produjeron las siguientes mejoras:

1. Se realizó un taller conjunto para explicar a los alumnos el funcionamiento de los distintos aparatos de prueba y medida que se utilizan frecuentemente en laboratorios eléctricos. Esta iniciativa surgió debido a la baja habilidad demostrada en el manejo de equipos.
2. Se realizó un seminario conjunto sobre el uso de componentes electrónicos, el diseño de PCBs y el trabajo con todos los elementos de soldadura y prueba de componentes.
3. Se realizó una visita a dos industrias en el País Vasco durante el desarrollo del proyecto gracias a las relaciones de investigación que mantienen con miembros los profesores que imparten estas asignaturas. La primera de ellas, Alconza Berango SL, dedicada a la construcción de motores eléctricos, con una creciente industria en desarrollo de motores para autobús eléctrico. La segunda, Ingetem SA, es una compañía especializada en diseño de máquinas eléctricas y accionamientos electrónicos de potencia.

Los cambios realizados, si bien no alteran el objetivo del proyecto ni su ejecución, surgen de descubrimiento por parte del profesorado de carencias que presentan los alumnos en las habilidades descritas. La visita a las empresas permite comprobar por parte de los alumnos las similitudes entre el proyecto que están diseñando a escala y los proyectos que se llevan a cabo en la industria para aplicaciones similares.

2 Contribución del proyecto al plan estratégico de la Universidad y repercusiones en la docencia.

2.1 Alineamiento del Proyecto de Innovación Docente con el Plan Estratégico 2018-2022 de la Universidad de Oviedo en materia docente.

Este proyecto entra dentro del grupo de actuación 1, (FAE5) del plan estratégico, ya que fomenta la puesta en marcha de un programa de actualización en métodos educativos. Además, el presente proyecto de innovación docente es una prueba inicial para la implementación a medio plazo del sistema CDIO en el grado de Ingeniería Eléctrica, una variación del aprendizaje basado en proyectos ABP. El ABP fue inicialmente propuesto por la Universidad de Ontario [1] y se caracteriza por dar al aprendizaje la misma importancia que a la adquisición de habilidades y aptitudes. Es considerado una estrategia de aprendizaje en la cual los estudiantes se enfrentan a un proyecto que deben desarrollar [2]. La iniciativa CDIO, acrónimo de *Concebir, Diseñar, Implementar, Operar*, [3] surge tras la separación que se detecta, por parte de las instituciones educativas, entre la formación que reciben los estudiantes de ingeniería y la demanda del mundo real. El concepto CDIO fue concebido



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

inicialmente en el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) a finales de los años 90. En el año 2000, el MIT en colaboración con tres universidades suecas fundan formalmente la iniciativa CDIO que se convierte en una colaboración internacional que adoptan universidades de todo el mundo. Los colaboradores comparten en información sobre las metodologías que funcionan y las que no. Los objetivos de la iniciativa CDIO son.

- Educar a los estudiantes para el dominio profundo y aplicado de los fundamentos técnicos.
- Educar a los ingenieros para liderar en la creación y operación de nuevos productos y sistemas.
- Educar futuros investigadores para comprender la importancia y valor estratégico de su trabajo.

Para conocer las implicaciones, ventajas y dificultades que presenta la implementación del programa CDIO, un grupo de profesores de la Universidad de Oviedo que participan en el presente proyecto de innovación docente (Daniel Fernández Alonso, David Díaz Reigosa) visitaron la universidad de Jonköping en Suecia, haciendo uso del programa Erasmus+ para movilidad de personal con fines docentes y de formación. Uno de los profesores responsables del seguimiento del acuerdo continúa colaborando con nosotros para ayudar en la implantación del programa. La documentación en relación a la visita a esta universidad puede comprobarse en la resolución del 28 de Julio de 2018, del Vicerrector de Extensión Universitaria y Proyección Internacional de la Universidad de Oviedo.

2.2 Grado de consecución de las repercusiones esperadas del proyecto (en la docencia específica y en el entorno docente)

El grado de consecución de las repercusiones esperadas del proyecto, se detalla a continuación:

1. Se consigue involucrar en torno a un 40% del total de la docencia en la ejecución del presente proyecto.
2. El porcentaje de evaluación en el que incide la innovación presentada alcanza el también se establece en un 40% del total.
3. Se consigue que de forma voluntaria participen en el proyecto el 100% de los alumnos. Los alumnos son informados de la nueva organización de las asignaturas en la introducción, la primera clase de curso. Se les plantea de forma voluntaria, se pregunta individualmente y todos los alumnos acceden al cambio de metodología.
4. Se consigue una excelente coordinación entre los cuatro profesores involucrados en la asignatura. Se realizan reuniones periódicas para comprobar que los contenidos



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

teóricos y prácticos se imparten en el orden adecuado que permite el desarrollo del proyecto por parte de los alumnos

5. Se consigue un incremento de colaboración entre distintas áreas del departamento, ya que en las asignaturas se imparte conocimiento de tres áreas distintas. Se incrementa el número de reuniones entre los profesores de las distintas áreas, IE, TE e ISA y todos ellos participan en la coordinación del proyecto y plantean iniciativas.
6. Dado el grado de satisfacción de profesores y alumnos, cabe la posibilidad de extender el proyecto a, al menos dos asignaturas más, involucrando al alumno en el trabajo orientado a la consecución de un proyecto que englobe las cuatro asignaturas. Este tipo de prácticas nos acerca a la implementación en la universidad de un tipo de metodología de aprendizaje basada en proyectos, tipo CDIO, cuya implantación se estima en el corto-medio plazo.

3 Memoria del Proyecto

3.1 Marco Teórico del Proyecto

El presente proyecto engloba dos asignaturas, relacionadas entre sí que se imparten en el Grado en Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Oviedo: Tracción eléctrica y Control y protección de máquinas eléctricas. El objetivo es agrupar las prácticas de laboratorio para construir un prototipo en el que se puedan aplicar los conocimientos obtenidos en ambas asignaturas. Además, se reduce el peso del examen teórico en la nota final en favor de la valoración del proyecto y se pone a disposición de los alumnos un laboratorio con equipos de test y medida al que pueden acceder de forma voluntaria dentro del horario de trabajo la Universidad.

Un estudio similar fue llevado a cabo en [5] donde se detalla la implementación del programa CDIO en el laboratorio de máquinas eléctricas siguiendo las recomendaciones por parte de esta organización [6]. El principal inconveniente respecto de lo que se plantea en la presente propuesta, reside en que los alumnos no participan en la fase de diseño, montaje y puesta en marcha del prototipo, sino que hacen uso de instalaciones comerciales.

3.2 Metodología utilizada

3.2.1 Plan de Trabajo desarrollado

Se establece como objetivo el diseño, montaje y puesta en marcha de un inversor trifásico, que permita la implementación de las estrategias de conmutación, control y teoría de baterías vistas en la asignatura de Tracción Eléctrica. Además, sobre el prototipo se podrán implementar de los distintos sistemas de adquisición, medida, control y protección, vistos en la asignatura Control y Protección de Máquinas. Este desarrollo se llevará a cabo durante las prácticas de aula y laboratorio de las asignaturas.



3.2.2 Descripción de la Metodología

Se establece el siguiente procedimiento:

1. Tras conocer el objetivo del proyecto, se imparte un seminario sobre los aspectos básicos a considerar para la construcción de un inversor.
2. Se imparte un seminario para mostrar cómo crear una pcb con componente personalizados.
3. Se establecen unas restricciones para el diseño.
4. Se imparte un seminario sobre programación en lenguaje C. Esto se debe a que el lenguaje de programación impartido en asignaturas relacionadas se reduce a python.
5. Se fabrican las PCB en el laboratorio tras impartir un seminario sobre seguridad. Esto es posible dado el bajo número de alumnos con los que cuenta el grado.
6. Se imparte un seminario sobre cómo mecanizar las PCBs y soldar los componentes.
7. Los alumnos aplican los conocimientos adquiridos en la asignatura para:
 - a. Programar el control de velocidad de una máquina
 - b. Programar la medida de variables
 - c. Establecer las protecciones necesarias
 - d. Realizar las pruebas experimentales y documentar el prototipo.
8. Los alumnos redactan un informe sobre el trabajo realizado
9. Los alumnos defienden en público el trabajo realizado.

3.3 Resultados alcanzados

3.3.1 Valoración de indicadores

1. La introducción de las dos asignaturas involucradas en el proyecto que se describe, comienzan con el planteamiento a los alumnos del cambio de metodología. En ambas asignaturas se encuentran matriculados 10 alumnos, dos de los cuales en el programa erasmus, de estancia en otro país. El primer planteamiento es la disposición de los alumnos al cambio de metodología. Tras una breve explicación de en qué consiste el proyecto y de cómo se va a llevar a cabo la evaluación, de los 8 alumnos encuestados, el 100% decide aceptar el cambio.
2. El siguiente indicador que se aprecia es el trabajo en equipo. Los alumnos son distribuidos en tres grupos en los que se nombra un representante. Todos los profesores coinciden en que se observa una organización en cada grupo con un reparto de tareas en función de las habilidades y aptitudes que cada alumno cree poseer. El trabajo en equipo da lugar a que los componentes de cada grupo homogenicen sus conocimientos. Hecho que se constata tras la presentación y defensa pública de los trabajos, en los que los profesores tienen un turno de preguntas.
3. Los alumnos de Ingeniería Eléctrica frecuentemente manifiestan su falta habilidades o aptitudes adquiridas tras cursar el grado de Ingeniería eléctrica, dado el limitado tiempo de prácticas que desarrollan, la mayoría con simuladores. Tras completar el proyecto que aquí se plantea, los profesores observaron un notable incremento por parte de la confianza de los alumnos en sus habilidades y aptitudes para llevar a cabo un proyecto de tecnología actual.



4. Los profesores involucrados en el proyecto coinciden en que el cambio de metodología favorece la enseñanza de las materias que involucra. Además coinciden en que hace más atractivo el grado en Ingeniería Eléctrica para futuros estudiantes y que un incremento de contenido práctico incrementa no solo la motivación de los alumnos sino sus habilidades.
5. La asistencia de los alumnos fue muy alta tanto en las clases teóricas como en las prácticas de laboratorio. Además, como los alumnos disponían de acceso libre a un laboratorio, favorecía la dedicación de su tiempo libre al proyecto de forma voluntaria. Los alumnos en la encuesta final manifestaron haber dedicado de forma adicional un 50% más de tiempo que en el resto de las asignaturas.
6. Al finalizar el proyecto se realizó la encuesta cuyos resultados se recogen a continuación:

Tabla 1. Encuesta realizada a los alumnos al finalizar la asignatura. Indicador 6.

	Pregunta	Valor medio
1	Información sobre el programa y el plan de trabajo recibida	8,5
2	El contenido de las clases es adecuado para la realización del proyecto	10
3	El sistema de evaluación ha sido coherente	9,7
4	La atención y seguimiento por parte del tutor es adecuada	10
5	Las actividades prácticas han sido útiles para comprender la asignatura	10
6	Me siento satisfecho con lo aprendido en esta asignatura	10
7	Me siento satisfecho con la utilidad de la formación recibida para mi futuro profesional	10
8	Grado de satisfacción general	10

Tabla resumen (a incluir obligatoriamente)

Nº	Indicador	Modo de evaluación	Rangos fijados y obtenidos
1	Grado de Participación	Encuesta	Obtenido 100%
2	Trabajo en equipo	Observación	Obtenido 100%
3	Grado de incremento de las habilidades del alumno en la materia	Observación	Obtenido 100%
4	Grado de satisfacción de los profesores involucrados	Reunión conjunta	Obtenido 100%
5	Asistencia	Control de Asistencia	Obtenido >90%
6	Grado de satisfacción del alumno	Encuesta	Obtenido 100%



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

3.3.2 Observaciones más importantes sobre la experiencia

1. *Se aprecia un incremento de la motivación por parte del alumno. Esto se plasma en el tiempo que dedican y la realización de tareas que inicialmente se plantean como opcionales.*
2. *Se aprecia un incremento de la confianza por parte del alumno en el manejo de los elementos del laboratorio.*
3. *El alumno incrementa el tiempo dedicado al proyecto de forma voluntaria.*
4. *Un 25% de los alumnos deciden continuar con la temática para realizar el TFG e incrementar el conocimiento en la materia descrita.*

3.3.3 Información online, publicaciones o materiales en abierto derivados de los resultados del proyecto

El presente proyecto ha sido el desencadenante de la redacción un artículo que se encuentra actualmente en proceso de revisión por parte de los profesores involucrados. Nace de la idea de descubrir que no existe, desde el conocimiento de los autores, una metodología similar en el aprendizaje de las máquinas eléctricas dentro de la Ingeniería Eléctrica. El artículo será enviado a un congreso nacional (posiblemente CUIEET 2020) y sus contenidos se resumen a continuación:

Objetivos que se plantean:

El grado de Ingeniería Eléctrica Impartido por la Universidad de Oviedo cuenta con una mención de Instalaciones y equipos eléctricos industriales en la que se imparten una serie de asignaturas muy relacionadas entre sí, que dan lugar a una reestructuración de manera que las tres permitan realizar un trabajo práctico en conjunto, para la construcción de un proyecto común. Estas asignaturas están, además, muy relacionadas con asignaturas impartidas un año anterior, en la que comenzaría el proyecto. Esto es posible debido a que los mismos profesores imparten la docencia de las asignaturas citadas y son un total de 5 profesores, lo que facilita la coordinación. Además, se pretende poner de manifiesto el bajo coste por alumno que implica la construcción de cada uno de los proyectos.

Metodología:

El desarrollo de un proyecto común comienza el segundo semestre del tercer año con el diseño y construcción de un tipo de motor que los alumnos eligen. Primero realizan un diseño por software, en el que obtienen las características y comportamiento del motor. A continuación realizan un modelo 3D por medio de un software de modelado paramétrico 3D, tras lo cual, el modelo se materializa por medio de impresión 3D. Por último los alumnos añaden manualmente los devanados, y prueban su funcionamiento en el laboratorio.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

El proyecto se retoma el primer semestre del cuarto curso con las asignaturas TRe y CPMe. La asignatura CPMe imparte los contenidos necesarios para el diseño del accionamiento electrónico que permite el control y la protección del motor. En paralelo, la asignatura TRe dota a los alumnos de los conocimientos necesarios para aplicar, por software, las distintas estrategias de control de máquinas.

Novedades que aporta el cambio en la metodología

En ingeniería eléctrica es complicado en ocasiones la realización de prácticas en los que los alumnos tengan contacto directo con los sistemas debido a su tamaño, peligrosidad, coste... Sin embargo, las máquinas eléctricas pueden ser estudiadas mediante prototipos a escala. Aún así, el coste que supondría para la universidad permitir al alumno participar en el diseño de una máquina usando métodos convencionales, sería inasumible. En los proyectos que se plantean a los alumnos, estos materializan los diseños usando la impresión 3D. Esto les permite abordar todas las fases del diseño de una máquina, incluyendo el montaje. Del mismo modo, los alumnos diseñan el accionamiento electrónico, partiendo de cero y pasando por todas las fases hasta las pruebas experimentales de funcionamiento. Las prácticas de control, se llevaban a cabo, anteriormente por medio de simulaciones. El desarrollo del proyecto permite a los alumnos, además, implementar las estrategias de control tal y como se llevan a cabo en los proyectos industriales, permitiéndoles comparar los resultados experimentales obtenidos con las simulaciones.

Resultados Preliminares Obtenidos.

Los profesores observan un incremento en la participación. Incremento de la nota media en los exámenes teóricos. Un incremento de la motivación, reflejado en el número de horas que los alumnos dedican de forma voluntaria al montaje del prototipo y la propuesta de mejoras y realización de tareas que se plantean inicialmente como opcionales.

Los alumnos valoran:

- Acercamiento al proceso de diseño y fabricación que se da en la industria
- Contenido práctico de la asignatura
- Adquisición de conocimientos de electrónica de potencia
- Adquisición de conocimientos en diseño y fabricación aditiva 3D.

3.4 Conclusiones, discusión y valoración global del proyecto. Los puntos fuertes del proyecto son:

1. Incremento de la motivación por parte del alumno. Esto se refleja en los planteamientos de mejora que proponen los alumnos incluso cuando ello conlleva un incremento del tiempo de dedicado. Otro indicador que refleja el incremento de la motivación por parte de los alumnos es la realización de tareas que se plantean como opcionales.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

2. Incremento del tiempo dedicado al proyecto por parte del alumno de forma voluntaria y fuera de las horas lectivas establecidas.
3. Incremento de las habilidades en la resolución de problemas por parte del alumno.
4. Inmersión del alumno en un entorno de trabajo en equipo.
5. Inmersión del alumno en una metodología de trabajo más parecida a la que se da en un entorno laboral.

Los puntos débiles son:

1. El incremento del número de horas dedicadas a prácticas reduce el número de horas dedicadas a impartir conceptos teóricos, necesarios para una comprensión correcta de la materia.
2. El incremento del tiempo dedicado por parte del personal docente en las mismas condiciones.
3. El incremento del coste económico que supone para el departamento la realización del un proyecto por grupo cada año.
4. La realización de los ensayos a tensiones de seguridad, dado el riesgo que implican experimentos en condiciones normales de funcionamiento.
5. Dado el incremento de interés mostrado por los alumnos en estas asignaturas, otros profesores manifestaron que los alumnos mostraban desinterés en asignaturas impartidas en paralelo. Esto se reflejó en resultados académicos bajos en asignaturas que se impartían en paralelo con el desarrollo del proyecto.

4 Bibliografía

- [1]. Woods, D.R. Problem - based Learning: How to gain the most from PBL. 1st Edition. WL Griffen Printing. 1994
- [2]. Bigelow, J. Using problem based learning to develop skills in solving unstructured problems. Journal of Management Education, 28(5):591-610, 2004.
- [3]. Una nueva visión para la educación en la ingeniería. Accesible online en: www.CDIO.org
- [4]. "The CDIO Initiative". Queen's University - Department of Mechanical and Materials Engineering. Retrieved April 12, 2018
- [5]. Sandra Milena Téllez. "IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA CDIO EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS". Septiembre 2013. WEEF 2013: World Engineering Education Forum
- [6]. Crawley, E. F. (2001). The CDIO Syllabus, A statement of goal for undergraduate engineering education. Department of Aeronautics and Astronautics Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, pp 82.