



Versión Abierta Español – Portugués

de la

Revista Iberoamericana de Tecnologías del/da Aprendizaje/Aprendizagem

Una publicación de la Sociedad de Educación del IEEE (Capítulo Español)
Uma publicação da Sociedade de Educação do IEEE (Capítulo Espanhol)

DIC. 2014

VOL. 2

NÚMERO/NUMERO 4

(ISSN 2255-5706)

EDICIÓN ESPECIAL: TAEE 2014

Editores Invitados: *Javier García Zubía, I. Angulo*

Editorial Especial: Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, TAEE 2014.....	<i>I. Angulo, J. García-Zubía, Member, IEEE</i>	157
Enseñanza de la Electrónica a Ingenieros Aeronáuticos mediante el Desarrollo de Proyectos	<i>Luis Gil-Sánchez, Rafael Masot, Miguel Alcañiz</i>	159
Redescubrir la Enseñanza de la Electrónica.....	<i>Gerardo Aranguren, Javier Ortiz, José Miguel Gil-García</i>	167
Resultados Docentes Usando una Metodología Basada en PBL en una Asignatura Troncal de Electrónica General.....	<i>Manuel A. Perales Esteve, Federico J. Barrero García, Senior Member, IEEE, Sergio L. Toral Marín, Senior Member, IEEE</i>	175
Experiência de Aprendizagem Baseada em Projetos no Ensino de Robótica.....	<i>José Alberto Naves Cocota Júnior, Member, IEEE, Thiago D'Angelo, y Paulo Marcos de Barros Monteiro</i>	183
Experimentación Online en la Plataforma VISIR con Convertidores CC/CC	<i>Mohamed Tawfik, Member, IEEE, Santiago Monteso, Félix García Loro, Member, IEEE, Pablo Losada, Juan Antonio-Barba, Elena Ruiz, Elio San Cristóbal, Member, IEEE, Gabriel Díaz, Senior Member, IEEE, J. Peire, Senior Member, IEEE, Manuel Castro, Fellow, IEEE</i>	191
Experimentación Remota sobre Maqueta Industrial Basada en un Ascensor de Tres Plantas	<i>I. Angulo, J. García-Zubía, Member, IEEE</i>	199

CONSEJO/CONSELHO EDITORIAL

Presidente (Editor Jefe):

Martín Llamas Nistal,
Universidad de Vigo, España

Vicepresidente (Coeditor):

Manuel Castro Gil, UNED, España

Editor Asociado para lengua

Portuguesa:

Carlos Vaz do Carvalho,
INESP, Portugal

Miembros:

Melany M. Ciampi, COPEC, Brasil
Javier Quezada Andrade,
ITESM, México

Edmundo Tovar, UPM, España
Manuel Caeiro Rodríguez,
Universidad de Vigo, España
Juan M. Santos Gago,
Universidad de Vigo, España
José Carlos Quadrado. Instituto
Superior de Engenharia de Lisboa
(ISEL), Portugal

Secretaría:

Gabriel Díaz Orueta, UNED, España

COMITÉ CIENTÍFICO

Alfredo Fernández
Valmayor, Universidad
Complutense de Madrid,
España
Antonio J. López Martín,
Universidad Estatal de
Nuevo Méjico, USA
Antonio J. Méndez,
Universidad de Coimbra,
Portugal
António Vieira de
Castro, ISEP, Oporto,
Portugal
Arturo Molina, ITESM,
México
Baltasar Fernández,
Universidad
Complutense de Madrid,
España
Carlos Delgado,
Universidad Carlos III
de Madrid, España
Carlos M. Tobar Toledo,
PUC-Campinas, Brasil
Claudio da Rocha Brito,
COPEC, Brasil
Daniel Burgos,
ATOS Origin, España
Fernando Pescador,
UPM, España
Francisco Arcega,
Universidad de
Zaragoza, España
Francisco Azcondo,
Universidad de
Cantabria, España
Francisco Jurado,
Universidad de Jaen,
España

Gustavo Rossi,
Universidad Nacional
de la Plata, Argentina
Héctor Morelos, ITESM,
México
Hugo E. Hernández
Figuerola, Universidad
de Campinas, Brasil
Ignacio Aedo,
Universidad Carlos III
de Madrid, España
Inmaculada Plaza,
Universidad de
Zaragoza, España
Jaime Muñoz Arteaga,
Universidad Autónoma
de Aguascalientes,
México
Jaime Sánchez,
Universidad de Chile,
Chile
Javier Pulido, ITESM,
México
J. Ángel Velázquez
Iturbide, Universidad
Rey Juan Carlos,
Madrid, España
José Bravo, Universidad
de Castilla La Mancha,
España
José Carpio, UNED,
España
José Palazzo M. De
Oliveira, UFGRS, Brasil
José Salvado, Instituto
Politécnico de Castelo
Branco, Portugal
José Valdeni de Lima,
UFGRS, Brasil

Juan Quemada, UPM,
España
Juan Carlos Burguillo
Rial, Universidad de
Vigo, España
J. Fernando Naveda
Villanueva,
Universidad de
Minnesota, USA
Luca Botturi,
Universidad de Lugano,
Suiza
Luis Anido, Universidad
de Vigo, España
Luis Jaime Neri Vitela,
ITESM, México
Manuel Fernández
Iglesias, Universidad de
Vigo, España
Manuel Lama Penín,
Universidad de Santiago
de Compostela, España
Manuel Ortega,
Universidad de Castilla
La Mancha, España
M. Felisa Verdejo,
UNED, España
María José Patrício
Marcelino, Universidad
de Coimbra, Portugal
Mateo Aboy, Instituto
de Tecnología de
Oregón, USA
Miguel Angel Sicilia
Urbán, Universidad de
Alcalá, España
Miguel Rodríguez
Artacho, UNED, España

Óscar Martínez
Bonastre, Universidad
Miguel Hernández de
Elche, España
Paloma Díaz,
Universidad Carlos III
de Madrid, España
Paulo Dias,
Universidade do Minho,
Portugal
Rocael Hernández,
Universidad Galileo,
Guatemala
Rosa M. Vicari, UFGRS,
Brasil
Regina Motz,
Universidad de La
República, Uruguay
Samuel Cruz-Lara,
Université Nancy 2,
Francia
Víctor H. Casanova,
Universidad de Brasilia,
Brasil
Vitor Duarte Teodoro,
Universidade Nova de
Lisboa, Portugal
Vladimir Zakharov,
Universidad Estatal
Técnica MADL, Moscú,
Rusia
Xabiel García pañeda,
Universidad de Oviedo,
España
Yannis Dimitriadis,
Universidad de
Valladolid, España

Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, TAAE 2014

Javier García Zubía, *Senior Member, IEEE*, Ignacio Angulo Martínez

LA presente edición de la Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (RITA) contiene una selección de artículos que fueron presentados en el congreso TAAE 2014 (Tecnologías, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica), celebrado el pasado mes de Junio del 2014 en la Universidad de Deusto en Bilbao.

El congreso TAAE constituye la principal actividad de una red de profesores de enseñanza superior de distintas universidades españolas y latinoamericanas cuyo objetivo es mejorar la docencia en el ámbito de la electrónica mediante la reflexión conjunta de los problemas a los que se enfrenta la generación de recursos didácticos, principalmente con base tecnológica, y el fomento de la reutilización y la generación cooperativa del conocimiento. La finalidad del TAAE es potenciar el uso de metodologías activas de aprendizaje y de una enseñanza con una fuerte vinculación a la práctica profesional. Entre los temas tratados en esta edición del congreso se encuentran:

- Actualizar el Espacio Europeo para Educación Universitaria en el 2014.
- Nuevas oportunidades en el proceso de enseñanza. Formación en competencias y trabajo colaborativo. Web 2.0 y 3.0.
- Modelos de enseñanza mixta para formación ingenieril. Laboratorios virtuales y remotos.
- Nuevos recursos educativos. Reutilización. Objetos de Aprendizaje. Materiales libres. Mejores prácticas.

Las áreas temáticas que se utilizaron para organizar las colaboraciones para la conferencia fueron: Electrónica Básica, Electrónica Analógica, Sistemas Digitales, Microcontroladores y Microprocesadores, Instrumentación Electrónica, Electrónica de Potencia, Tecnología de dispositivos, Procesado de Señal, Sistemas de Comunicación, Recursos Educativos, Experiencias Educativas, Enseñanza a distancia, Confección de nuevos curriculums, Adaptación e implementación del Sistema de Transferencia de Créditos Europeo, Educación con dispositivos móviles, Educación para gente con discapacidad y gente mayor.

El TAAE es un congreso bienal, y en Bilbao celebró su décimo primera edición (<http://www.taee2014.es/>) tras veinte años de éxitos. El XI Congreso TAAE es el primero

Javier García Zubía, Catedrático de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Deusto. E-mail: zubia@deusto.es.

Ignacio Angulo Martínez, Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Deusto. E-mail: ignacio.angulo@deusto.es.

que cuenta con el apoyo y organización de la Asociación TAAE (<http://taee.euitt.upm.es/>) cuyo objetivo es promover entre congresos la reflexión y la acción en el campo del aprendizaje de la electrónica. Dicha asociación está abierta a todas las personas interesadas en el mismo ámbito, y a todas ellas se les anima a unirse a la asociación.

El congreso contó con el apoyo de diferentes organizaciones e instituciones: CESEI (Capítulo Español de la Sociedad de la Educación IEEE), la Sección España de IEEE, Gobierno Vasco, Diputación de Bizkaia, Universidad del País Vasco, MondragonUnibertsitatea, TECNUN y Universidad de Deusto.

El XI Congreso TAAE se organizó como es habitual alrededor de ponencias, pósteres, conferencias invitadas y sesión de demostradores. En total más de cien asistentes presentaron más de cien trabajos en los que colaboraron más de 300 autores de doce países, sobre todo iberoamericanos. Especial relevación tuvieron los premios entregados por la Asociación TAAE a D. Javier Uceda Leal y a D. Javier Sebastián Zúñiga.

Los trabajos enviados fueron revisados por un plantel de más de 200 revisores, lo que permitió contrastar la calidad de los trabajos presentados y promover su difusión nacional e internacional. Así la organización aseguró la publicación de los trabajos en el portal IEEE *xplore* y en esta revista IEEE RITA.

El objetivo de este número especial de RITA es seleccionar y editar de nuevo los trabajos más representativos del TAAE 2014 que sean de interés para RITA. El trabajo previo a la publicación de este número especial concluyó con la recomendación de publicar en RITA seis trabajos del XI Congreso TAAE. Dicha recomendación se ha basado en la puntuación dada por los revisores, y la selección final se ha hecho de forma rigurosa entre los 10 mejores trabajos de los 119 trabajos enviados al congreso. Los autores seleccionados han debido mejorar y aumentar la extensión de sus trabajos originales para el congreso, y han contado con una revisión adicional bajo los criterios exhaustivos del comité editorial de RITA.

El primero de ellos es “*Enseñanza de la Electrónica a Ingenieros Aeronáuticos mediante el Desarrollo de Proyectos*” de Rafael Masot, Miguel Alcañiz and Luis Gil de la Universidad Politécnica de Valencia, donde se presenta cómo atraer de forma efectiva hacia la electrónica a los ingenieros aeroespaciales, haciendo que consigan resultados relevantes en proyectos reales, aun cuando su carga en ECTS no sea elevada.

El segundo trabajo publicado, “*Redescubrir la Enseñanza de la Electrónica*” de Gerardo Aranguren, Javier Ortiz and José Miguel Gil-García de la Universidad del País Vasco, hace énfasis en la necesidad de que los ingenieros egresados de la universidad tengan claro el concepto de producto y sean capaces de acercarse a los requisitos y estándares de la industria. El trabajo va más allá de la reflexión y da pautas de acción a los profesores y a las facultades.

En “*Resultados Docentes Usando una Metodología Basada en PBL en una Asignatura Troncal de Electrónica General*” de Manuel Perales, Federico Barrero and Sergio Toral de la ETSI de Sevilla se describe una experiencia exitosa de enseñanza de electrónica analógica bajo el paradigma de PBL. Su lectura aporta el grado de entusiasmo y conocimiento necesarios para que el lector aborde experiencias similares.

José Alberto Naves Júnior Cocota, Paulo Marcos De Barros Monteiro y Thiago D'Angelo de la Universidad Federal de Ouro Preto de Brasil presentan el trabajo “*Experiência de Aprendizagem Baseada em Projetos no Ensino de Robótica*” que es una excelente muestra de cómo abordar la enseñanza de tecnologías complejas y caras

como la robótica desde una perspectiva sostenible sin perder valor académico.

El quinto trabajo viene firmado por profesores de la UNED, Mohamed Tawfik, Santiago Monteso, Félix García Loro, Pablo Losada, Juan Antonio-Barba, Elena Ruiz, Elio San Cristóbal, Gabriel Díaz, Juan Peire y Manuel Castro, y en él se abordan las posibilidades y retos que el laboratorio remoto VISIR ofrece en el campo de los convertidores CC/CC. El trabajo incluido es “*Experimentación Online en la Plataforma VISIR con Convertidores CC/CC*”.

El último trabajo, “*Experimentación Remota sobre Maqueta Industrial Basada en un Ascensor de Tres Plantas*”, describe el modo en que se remotiza una maqueta didáctica de un ascensor para ser integrada en la plataforma WebLab-Deusto. Sus autores son Ignacio Angulo y Javier García Zubía de la Universidad de Deusto.

Por último, aprovechar para invitaros a participar en el XII Congreso TAAE a celebrar en Sevilla en Junio del 2016.



Javier García Zubía es Doctor en Informática y catedrático por la Universidad de Deusto. Parte de su investigación está centrada en la experimentación remota: diseño, despliegue y evaluación. Es Senior Member de IEEE.



Ignacio Angulo Martínez es Ingeniero en Informática y profesor de la Universidad de Deusto. Sus áreas de investigación son la experimentación remota y el diseño de sistemas de trazabilidad en tiempo real (ITS).

Enseñanza de la Electrónica a Ingenieros Aeronáuticos mediante el Desarrollo de Proyectos

Luis Gil-Sánchez, Rafael Masot, Miguel Alcañiz

Title— Teaching electronics to Aeronautical Engineering by developing projects.

Abstract— Teaching electronics to an aerospace engineer with a very limited number of credits has been a major challenge for the authors of this communication. This goal has been achieved with a teaching based on real projects that are closely related to aerospace engineering. Throughout this paper the process of teaching electronics with two subjects, one compulsory and one optional, is described. Subsequently, a description of the major projects that have been implemented in the last years is performed. The academic results have been very satisfactory widely accepted method of teaching by students.

Index Terms — Project Based learning; aerospace engineering; electronic engineering; electronic technology

I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de toda la electrónica que puede necesitar un ingeniero aeroespacial con un número de créditos muy limitado es una tarea bastante complicada. Pero con una adecuada, directa y efectiva estructura de los contenidos es posible que los alumnos salgan bien preparados en una materia que, a priori, no corresponde al perfil de un ingeniero aeronáutico. En este artículo los autores exponen cómo los alumnos alcanzan dicha preparación mediante el aprendizaje basado en proyectos [1] (*Project Based Learning* - PBL) donde los alumnos trabajan en grupo y se enfrentan al reto de llevar a cabo un proyecto real de ingeniería electrónica aplicado a la ingeniería aeroespacial.

A. Grado de Ingeniería Aeroespacial

El grado de Ingeniería Aeroespacial es uno de los múltiples grados de Ingeniería que se imparten en la Universitat Politècnica de València, España (UPV). Este grado se imparte en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño (ETSID) desde curso 2010-11 y sustituye al antiguo título de Ingeniero Aeronáutico que se implantó en la misma escuela en el curso 1999-2000.

El grado de Ingeniería Aeroespacial posee, como la mayoría de las titulaciones de grado, una carga docente de 240 créditos ECTS a lo largo de cuatro cursos, repartidos en asignaturas de Formación Básica (60 cred.), Asignaturas Obligatorias (88,5 cred.), Asignaturas Optativas (79,5 cred.) y Trabajo Fin de Grado (12 cred.).

Dentro del módulo de Asignaturas Obligatorias del título de Ingeniero Aeroespacial existe un módulo denominado Electricidad, Electrónica y Control que abarca 18 créditos y está formado por tres asignaturas: Ingeniería Eléctrica (2°

curso, 1° semestre), Ingeniería Electrónica (2° curso, 2° semestre) y Control Automático (3° curso, 1° semestre) de 6 créditos ECTS cada una.

Por otro lado, la Escuela oferta un elevado número de asignaturas optativas entre las que se encuentra la asignatura de Tecnología Electrónica con 4,5 créditos que se imparte en el 3° curso, 1° semestre. Cada asignatura optativa tiene una limitación de 25 alumnos matriculados.

Una de las características de esta titulación es que para poder cursarla se requiere una elevada nota en las pruebas de acceso a la universidad. Esto hace que la mayoría de los alumnos tengan una sólida formación previa y sobretodo una destacada inquietud en lograr una buena formación que les permita desarrollar su trabajo en una disciplina tan compleja y competitiva pero al mismo tiempo tan atractiva, como es la ingeniería aeroespacial.

Asignaturas de Electrónica en el Grado de Ingeniería Aeroespacial

El Departamento de Ingeniería Electrónica imparte dos asignaturas en el Grado de Ingeniería Aeroespacial de la UPV:

- Ingeniería Electrónica (6 ECTS) ubicada en el 2° curso, 2° cuatrimestre. Es una asignatura de tipo obligatoria donde el número de alumnos matriculados es 115. En esta asignatura se establecen las bases y fundamentos de la electrónica (analógica y digital).
- Tecnología Electrónica (4,5 ECTS) ubicada en el 3° curso, 1° cuatrimestre. Es una asignatura optativa. El número de alumnos es: 25. En esta asignatura se aplican los conocimientos adquiridos en la asignatura anterior de electrónica.

Con esas dos asignaturas los profesores de electrónica contamos con un total: 10,5 ECTS. De ahí surge la gran pregunta: ¿Cómo impartir toda la electrónica que puede necesitar un ingeniero aeroespacial con solo 10,5 ECTS?

En el Plan de Estudios de este Grado, la electrónica parece que sea una materia más bien secundaria dentro de otras materias más específicas de la ingeniería aeroespacial, como son la termo-fluidodinámica, tecnología aeroespacial, sistemas propulsivos, etc.

Pero por otro lado, hay que tener presente las características generales de los alumnos:

- Buen expediente (nota de corte para el acceso a la carrera elevada).
- Actitud activa e inquieta hacia los conocimientos aplicados de ingeniería.

- Asignatura optativa (Tecnología Electrónica) con un número alumnos reducido (25) y una supuesta voluntad de trabajar en tareas de ingeniería electrónica.

Con todo ello, surge un gran reto: conseguir que la electrónica sea una materia útil y atractiva para el alumno. La solución viene a partir de un método docente: Aprendizaje Basado en Proyectos.

B. Aprendizaje Basado en Proyectos

La metodología del aprendizaje basado en proyectos [2] es uno de los métodos más efectivos en la enseñanza. Gracias a esta metodología los alumnos no solo desarrollan las capacidades científico-técnicas inherentes a las asignaturas, sino que además fomenta las capacidades de organización y de gestión de tareas y promueve habilidades sociales tan valoradas hoy en día como son el trabajo en equipo, liderazgo, comunicación, planificación, etc.

Esta metodología [3-4] está ampliamente empleada y probada en multitud de disciplinas técnicas, desarrollándose informes para su aplicación en los estudios de ingeniería en universidades del Reino Unido [5]. En el campo de la electrónica se han publicado comunicaciones donde se exponen el desarrollo de este método para aplicarlo a diversas asignaturas, tanto en distintas universidades españolas [6-7] como universidades extranjeras [8]. De forma similar, se ha analizado el método basado en proyectos en el campo de la ingeniería aeroespacial, ya sea describiendo la necesidad del empleo de profesores asistentes en la tutorización de los proyectos [9], como el proceso de diseño y construcción de prototipos, como es el caso de un sistema de visualización estereoscópica aérea [10] o de herramientas de pruebas de software para un sistema embebido en tiempo real [11]. Por último, destacar que uno de los casos donde es más conveniente este tipo de docencia es en aquellos estudios o asignaturas con marcado carácter interdisciplinar [12] como es nuestro caso.

Las grandes ventajas que ofrece la enseñanza basada en proyectos frente a la enseñanza convencional llevaron a los profesores del Departamento de Ingeniería Electrónica (DIE) de la UPV a aplicar esta metodología en las asignaturas de electrónica del grado de Ingeniero Aeroespacial de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño (ETSID) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

A. Asignatura “Ingeniería Electrónica” (Obligatoria)

Los alumnos del grado Ingeniería Aeroespacial tienen su primer contacto con la electrónica en el segundo semestre del segundo curso en la asignatura obligatoria “Ingeniería Electrónica” de 6 créditos ECTS. En esta asignatura se establecen las bases y los principios fundamentales de la electrónica tanto analógica como digital. El objetivo final de la asignatura es que el alumno sea capaz de analizar y diseñar sistemas electrónicos de medida en los que intervenga la medida de parámetros físicos, el acondicionamiento de señales analógicas, el procesado digital, la visualización y el almacenamiento de datos (Fig. 1).

El temario de la asignatura se divide en dos grandes bloques:

- En el primer bloque se describen los componentes fundamentales de la electrónica analógica: el diodo, el transistor y el amplificador operacional y también se realiza una introducción a los sistemas de medida y acondicionamiento de señales analógicas.
- En el segundo bloque se estudian circuitos y componentes fundamentales de la electrónica digital: circuitos combinatoriales, circuitos secuenciales y memorias. Por último, se estudia el microcontrolador modelo PIC18F4520 de Microchip Technology Inc. (8 bits) programado mediante el compilador C18 así como el programa de simulación de circuitos electrónicos PROTEUS de Labcenter Electronics y la herramienta de desarrollo de programación de dispositivos programables MPLAB.

B. Asignatura “Tecnología Electrónica” (optativa).

La segunda asignatura de electrónica del Grado es “Tecnología Electrónica” impartida en el primer semestre del tercer curso. Se trata de una asignatura optativa de 4,5 créditos ECTS en la que se aplican los conocimientos adquiridos en la asignatura anterior. La metodología docente implementada en esta asignatura es el aprendizaje mediante el diseño e implementación de proyectos electrónicos relacionados con la ingeniería aeronáutica. En los siguientes párrafos se desarrolla dicha metodología.

El objetivo fundamental de la asignatura “Tecnología Electrónica” es que el alumno del grado Ingeniero Aeroespacial aprenda los fundamentos necesarios de la ingeniería electrónica que necesitará en su vida profesional mediante la implementación de proyectos relacionados con la ingeniería aeronáutica. Los 25 alumnos que componen la asignatura se dividen en equipos de 2 o 3 alumnos para formar del orden de 9 ó 10 grupos de trabajo.

Al tratarse de una asignatura de 4,5 créditos ECTS, los alumnos están obligados a acudir al laboratorio 3 horas a la semana. Durante ese tiempo todos los grupos y los profesores de la asignatura trabajan en el laboratorio resolviendo los problemas que van surgiendo a lo largo del proyecto. El resto del tiempo, siempre y cuando la ocupación del laboratorio lo permita, el alumno dispone de los equipos del laboratorio y del material que desee.

A lo largo del semestre, cada uno de los grupos estudiará, diseñará, desarrollará e implementará un proyecto relacionado con el mundo de la ingeniería aeroespacial. Para ello la asignatura se divide en dos partes:

Primera parte (4 semanas)

Consta de unas cuatro semanas donde el alumno define el proyecto a desarrollar y recibe los conocimientos necesarios para completar su formación teórica. Los conceptos y aplicaciones que se desarrollan en esta parte son los siguientes:

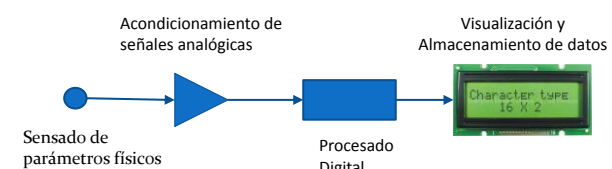


Fig. 1. Esquema de bloques de un sistema electrónico de medida

- Programación y depuración de programas del PIC en compilador C18 mediante el programa MPLAB.
- Visualización de datos por un panel de tipo LCD.
- Comunicaciones inalámbricas.
- Comunicaciones serie (UART e I2C).
- Control de servos y generación de señales PWM mediante la unidad funcional ECCP (*Enhanced Capture /Compare/ PWM*).
- Programación desde un PC mediante MATLAB.
- Soldadura de componentes en placa de circuito impreso para realizar un prototipo.

Durante estas 4 semanas los alumnos deciden o eligen el trabajo a realizar bien sea a partir de los proyectos propuestos por los profesores o de proyectos sugeridos por los propios alumnos. Al finalizar estas primeras 4 semanas el alumno ha de entregar un “informe de viabilidad” del proyecto con los siguientes contenidos: Título y autores, Descripción del proyecto, Diagrama de bloques, Presupuesto y Referencias

Segunda parte (12 semanas)

Una vez evaluada la memoria por el profesorado de la asignatura y aceptada su viabilidad, el alumno comienza el desarrollo del proyecto. A lo largo de las siguientes semanas, y siempre supervisado por el profesorado de la asignatura, el alumno desarrolla e implementa las diferentes partes de las que consta el proyecto. Para el desarrollo de los proyectos se utiliza el microcontrolador PIC18F4520, que es un dispositivo ya estudiado en asignatura anterior y que permite el desarrollo de aplicaciones de nivel medio. Las tareas que se tienen que realizar son: diseño, simulación, hardware y mecánica para la fabricación del prototipo.

- **Simulación.** Mediante el paquete informático de desarrollo de circuitos electrónicos se realiza un esquema del circuito (Fig. 2) para su posterior simulación para así comprobar su correcto funcionamiento. Para ello, el microcontrolador PIC18F4520 ha de incluir el fichero del programa que va a ejecutar. En función de las características del proyecto, la programación comprende la lectura de sensores analógicos o digitales mediante protocolo I2C, procesado y filtrado de señales, visualización de parámetros en paneles de LCD, generación de señales sobre actuadores o comunicación inalámbrica con un ordenador portátil mediante una UART. También incluye la programación de la aplicación de usuario en ordenador portátil mediante MATLAB.
- **Hardware.** Es la parte donde los alumnos ensamblan los diferentes componentes de que consta el proyecto:
 - Microcontrolador PIC18F4520.
 - Bloque sensor, que varía según el proyecto (unidad de medida inercial IMU compuesto por acelerómetros y giróscopos, sensores de presión, sensores ópticos, GPS, temperatura, etc.).
 - Otros elementos como: display LCD, un módulo inalámbrico, servomotores y motores brushless y el sistema de alimentación autónoma compuesto por batería y elementos de regulación de voltaje y filtrado.

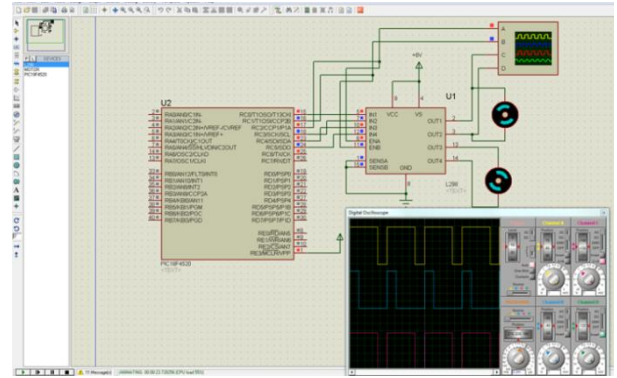


Fig. 2. Simulación del circuito con el programa ISIS Proteus

Para trabajar con el PIC los alumnos utilizan una placa de circuito impreso de diseño propio (Fig. 3), que incluye el PIC, la circuitería complementaria para su funcionamiento (reset, reloj, programación/depuración y conectores) y la conexión del dispositivo con el resto de periféricos del sistema.

- **Mecánica/Fabricación.** Los alumnos diseñan e implementan la estructura o armazón del sistema del proyecto que tengan que desarrollar. Estas tareas las realizan los alumnos en la asignatura “Fabricación Aeroespacial” que se imparte en el mismo semestre y, por lo tanto, paralelamente a la asignatura “Tecnología Electrónica”.

Exposición pública y memoria

Al finalizar el semestre, los alumnos realizan una exposición pública (Fig. 4) de sus proyectos en el hall de la ETSID acondicionado para el acto y además entregan una memoria del trabajo realizado. En dicha presentación, los alumnos exhiben sus trabajos ante la comunidad universitaria (profesores, alumnos, personal técnico, etc.) explicando los detalles del proyecto, contestando a las preguntas y resolviendo las dudas que pudieran surgir.

Evaluación

La evaluación de la asignatura se hace atendiendo al



Fig 3. PCB de diseño propio con el PIC18F4520



Fig. 4. Exposición pública de los proyectos

seguimiento continuo de la evolución del trabajo, a la implicación de los alumnos en el proyecto y a la calidad de la memoria presentada.

II. PROYECTOS

En este curso se han realizado 9 proyectos relacionados con la ingeniería aeroespacial, pero también algunos relacionados con motorización. Se realizará una breve descripción de ellos, destacando las partes del proyecto que corresponde a la ingeniería electrónica:

- Cuadricóptero
- Ala Volante
- Vehículo explorador
- Sistema de Recuperación de un Cohete
- Aerodeslizador
- Sistema de posicionamiento mediante GPS
- Robot Oruga
- Display Gráfico para coche competición
- Monitorización de la fuerza G

A. Cuadricóptero

Uno de los proyectos que más trabajo ha llevado es el cuadricóptero, que es una aeronave con cuatro rotores para su sustentación y propulsión. Los rotores están colocados en cada extremidad de una estructura mecánica en forma de cruz. El proyecto consistió básicamente en el diseño de la electrónica y el control para estabilizar la aeronave (Fig. 5). Las tareas a realizar por el PIC18F4520 son: lectura de los parámetros de la actitud de la aeronave por medio de una unidad de medida inercial (IMU), envío de los datos a un ordenador portátil mediante una comunicación inalámbrica y recepción de los coeficientes de estabilización calculados por el algoritmo de control para aplicarlos a los controladores brushless. Un algoritmo de control realizado en el entorno de MATLAB calcula los coeficientes de estabilización (PID) y envía las señales correspondientes al microcontrolador para que éste, a su vez, los reenvíe a los variadores de los motores compensando así los posibles desequilibrios de la aeronave.

Este proyecto ha sido uno de los proyectos más complejos debido a la dificultad de implementación del algoritmo de estabilización del sistema y la construcción de la estructura mecánica que acoge todo el sistema (Fig. 6).

B. Ala Volante

Un segundo proyecto realizado en la asignatura consistió en realizar un ala volante, que es un avión que se caracteriza por no presentar un fuselaje convencional sino que está

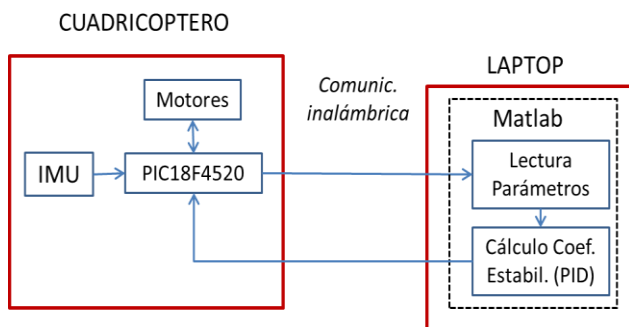


Fig. 5. Esquema de bloques de control del cuadricóptero

compuesto íntegramente por una estructura de perfil alar constante. Dicha propiedad conlleva una mayor fuerza de sustentación, al aumentar la superficie alar, pero también una mayor dificultad en el control de vuelo en el plano horizontal debido a la falta de superficies verticales en la mayoría de alas volantes.

La parte electrónica del proyecto consistió en realizar el sistema de movimiento de los alerones gobernado mediante servomotores y del diseño y construcción de los circuitos electrónicos necesarios para controlar las superficies de control y la propulsión de la aeronave (Fig. 7).

El sistema electrónico se compone de un microcontrolador que establece la posición de los alerones mediante dos servomotores y la velocidad de giro del motor brushless que propulsa la nave mediante un ESC (*Electronic Speed Controller*) (Fig. 8). Los comandos de movimiento del ala volante se realizan desde un mando de video juego conectado a una aplicación de MATLAB. La aplicación recoge la información del mando y transmite los comandos al microcontrolador mediante una conexión inalámbrica.

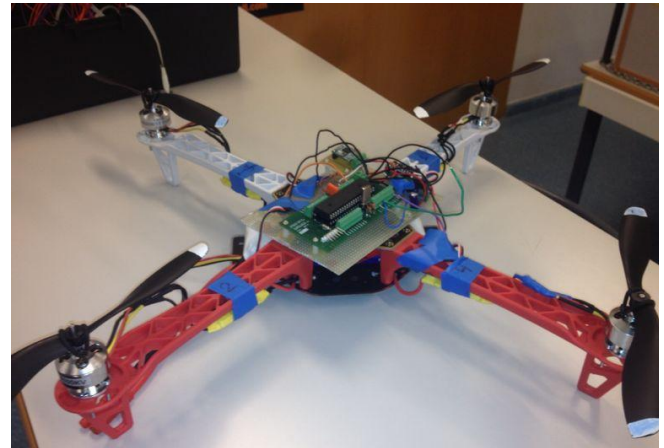


Fig. 6. Prototipo del cuadricóptero



Fig. 7. Diseño, construcción y ensayo de un ala volante

C. Vehículo Explorador

El tercer proyecto consistió en la construcción de un vehículo explorador capaz de obtener imágenes y visualizarlas en tiempo real en un ordenador portátil. La parte electrónica del proyecto consistió en el diseño del circuito para el movimiento y control del vehículo mediante una aplicación programada en MATLAB (Fig. 9). El movimiento del vehículo se controla mediante dos motores de corriente continua. El microcontrolador ajusta el ciclo de trabajo de la señal PWM que aplica a cada uno de ellos para establecer la dirección y la velocidad de movimiento.

El vehículo lleva incorporado una plataforma giratoria en su parte superior en la que se ha ubicado una cámara IP (Smartphone) que transmite el vídeo mediante Wi-Fi utilizando la red del edificio de la Escuela (Fig. 10).

El movimiento de la plataforma giratoria se realiza mediante un servomotor controlado por el microcontrolador. Todas las acciones del vehículo se coordinan desde una aplicación de MATLAB que se comunica con el microcontrolador a través de una conexión inalámbrica (Fig. 11). De esta forma, se puede dar órdenes del movimiento del vehículo a través de la superficie táctil del ordenador portátil a modo de un joystick.

D. Sistema de Recuperación de un Cohete

El proyecto consistió en realizar un sistema de apertura de un paracaídas para la recuperación de un cohete en el momento que se detecta pérdida de altura. La parte electrónica del proyecto consistió en el diseño de los circuitos que realiza la lectura de un sensor barométrico

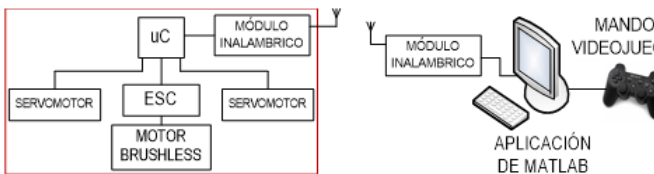


Fig. 8. Esquema bloques circuito electrónico del ala volante

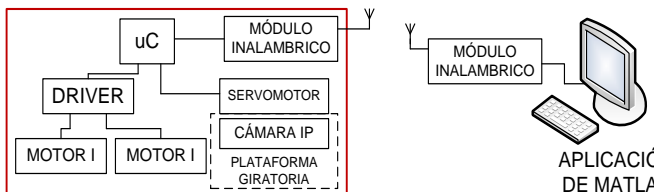


Fig. 9. Esquema bloques circuito electrónico del vehículo explorador

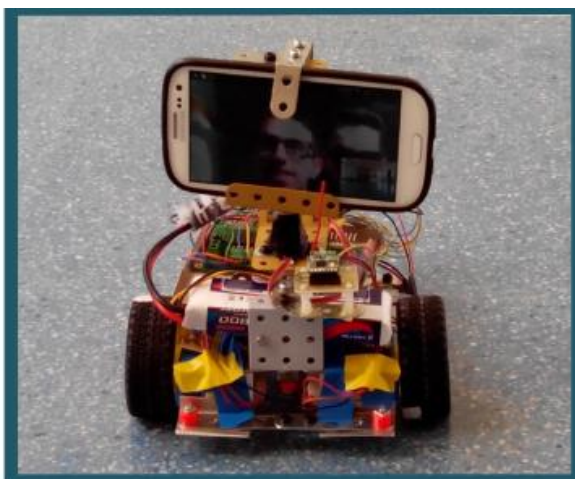


Fig. 10. Construcción del vehículo explorador

(Fig. 12) para así determinar la altura y del sistema de apertura de un paracaídas para la recuperación de un cohete en el momento que se detecta pérdida de altura.

Por medio de la medida de la presión atmosférica se realiza una monitorización de la altura del cohete cada 20 ms y cuando detecta una variación súbita de la presión lo interpreta como una variación de altura realizando entonces la apertura automática del paracaídas (Fig. 13).

E. Aerodeslizador

El aerodeslizador o hovercraft es un vehículo que se desliza al lanzar un chorro de aire contra una superficie que se encuentra debajo de él. Esto genera un colchón de aire que le permite, en principio, moverse sobre cualquier superficie horizontal lo suficientemente regular sin estar propiamente en contacto con ella. El proyecto consistió en el diseño de un aerodeslizador, desarrollando el sistema de sustentación, propulsión y dirección mediante motores sin escobillas y servomotores (Fig. 14).

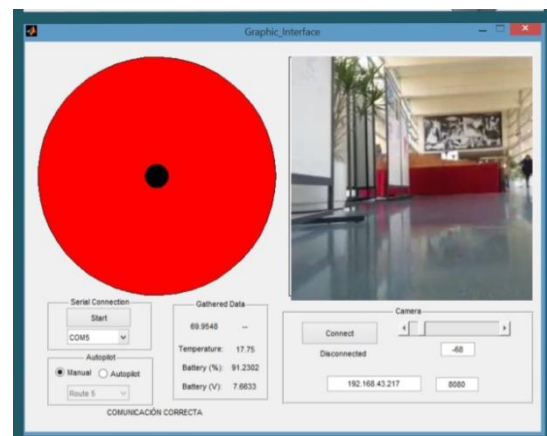


Fig. 11. Control de vehículo explorador

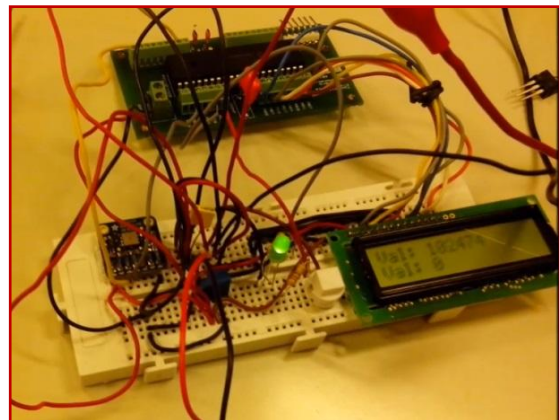


Fig. 12. Circuito de lectura de sensor barométrico



Fig. 13. Ensayo del sistema de recuperación de un cohete

El control de la dirección se realiza de forma inalámbrica a través de una aplicación desarrollada en MATLAB que lee los valores de un mando. El vehículo dispone de dos motores brushless, uno para la sustentación del vehículo y otro para la propulsión del mismo, cuya velocidad se controla desde el microcontrolador a través de unos ESC's. Para dirigir el hovercraft se utiliza un timón colocado detrás del motor de propulsión cuyo movimiento está gobernado por un servomotor. El control del vehículo se realiza a través de un mando de videojuego conectado a una aplicación de MATLAB. Dicha aplicación recoge los comandos del mando y los transmite vía inalámbrica al microcontrolador.

F. Sistema de Posicionamiento mediante GPS

Diseño del sistema electrónico que realiza la lectura de la posición espacial de un sensor GPS y envía de forma inalámbrica las coordenadas latitud y longitud a la aplicación informática Google Earth (Fig. 16).

H. Robot Oruga

Vehículo controlado de forma inalámbrica mediante un ordenador portátil con el fin de emular a pequeña escala los conocidos robots de exploración tipo Rover que fueron utilizados en la misión espacial *Mars Science Laboratory* (Curiosity) en el planeta Marte por parte de la NASA (Fig. 17).

El proyecto consistió en una aplicación en MATLAB que le envía al robot oruga los parámetros leídos de un joystick para realizar el control de la dirección y avance del vehículo.

H. Proyectos para el Diseño de un Coche de Competición

Además de proyectos específicamente aeroespaciales se han realizado otros trabajos dentro del proyecto "Formula Student UPV", que es una competición automovilística que reúne a estudiantes de universidades de todo el mundo para diseñar y construir un vehículo monoplaza similar al de un Formula 3. En nuestro caso, se han llevado a cabo dos proyectos:



Fig. 16. Diseño del sistema de posicionamiento mediante GPS

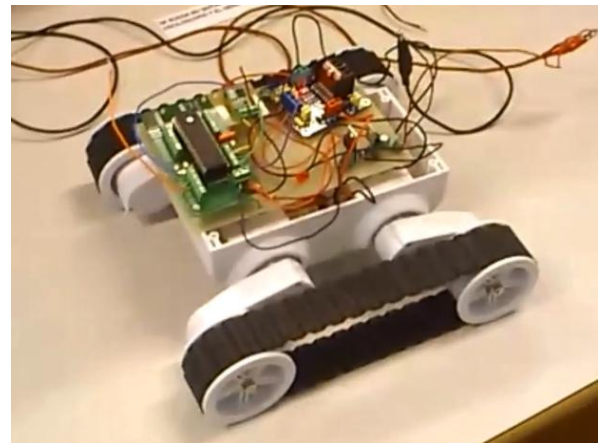


Fig. 17. Prototipo del robot oruga

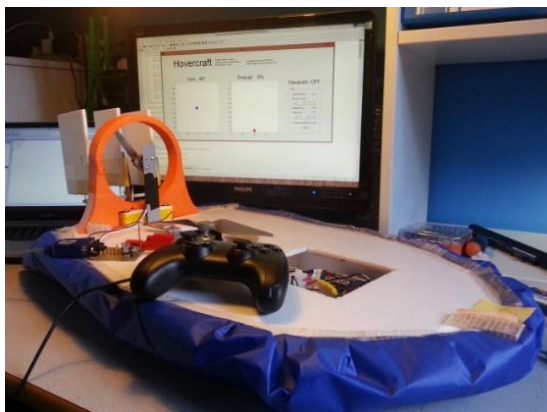


Fig. 14. Diseño de un aerodeslizador (hovercraft)

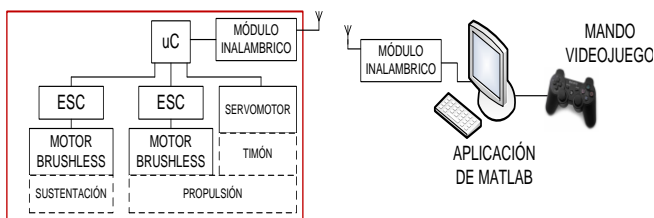


Fig. 15. Esquema bloques circuito electrónico aerodeslizador

Proyecto 1: Display Gráfico para Coche Competición

El proyecto consiste en construir un sistema electrónico para la monitorización de diversos parámetros de la conducción de automóviles mediante un panel indicador formado por varias barras de LEDs de diferentes colores y formas (Fig. 18).

Proyecto 2: Monitorización de la fuerza G

El proyecto consistió en el diseño de un sistema de medida de la fuerza de gravedad G, que es un parámetro de interés en el mundo de la competición automovilística. Para ello se realizó un sistema electrónico utilizando como sensor un acelerómetro (Fig. 19).

III. MATERIAL Y HERRAMIENTAS DE DESARROLLO

Para realizar los proyectos planteados los alumnos disponen de un laboratorio de electrónica bien equipado, con material básico de laboratorio de electrónica y un ordenador PC dotado con el software necesario para realizar las prácticas: simulación de circuitos electrónicos PROTEUS, herramienta de desarrollo de programación de dispositivos programables MPLAB y la herramienta de software

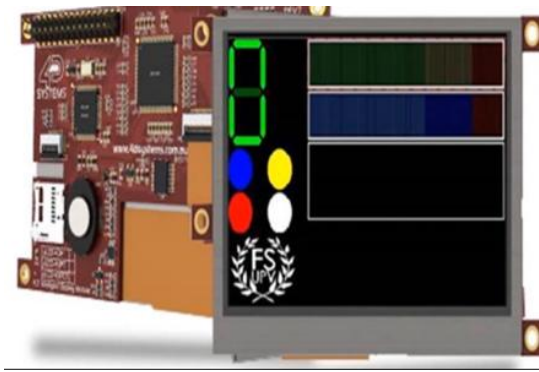


Fig. 18. Display gráfico para coche competición

matemático MATLAB para la creación de interfaces usuario (GUI).

Anexo al laboratorio de electrónica hay un laboratorio/taller equipado con varias estaciones de soldadura, revelado de placas para diseños de PCB's, taladros, herramientas de corte, etc. donde los alumnos pueden realizar montajes básicos.

Uno de los objetivos fundamentales de la asignatura es potenciar la capacidad de los alumnos para resolver los problemas que surgen en el desarrollo de un proyecto de ingeniería. Por ello, las herramientas disponibles deben permitir el desarrollo de los proyectos planteados por los alumnos, pero al mismo tiempo, deben tener ciertas limitaciones para potenciar su capacidad creativa y obligarles a enfrentarse a las dificultades que surgen en el desarrollo de sistemas reales. En este sentido, se descartaron herramientas como las plataformas basadas en Arduino en las que el trabajo de diseño se reduce a ensamblar módulos hardware prefabricado y programar el sistema utilizando librerías sin que el alumno sepa exactamente cómo funcionan los elementos que está utilizando.

IV. REPERCUSIÓN DE LOS PROYECTOS

A lo largo de todos los procesos para la realización de estos proyectos los alumnos consiguen una buena destreza en el diseño, desarrollo, materialización y ensayo de sistemas electrónicos, alcanzando un nivel de conocimientos y de aptitudes que la mayoría de los alumnos no se imaginaban al principio del curso. Es de señalar que como estas asignaturas están incluidas en una carrera que no tiene como fin máximo el diseño de circuitos electrónicos los alumnos no estaban inicialmente concienciado en las tareas

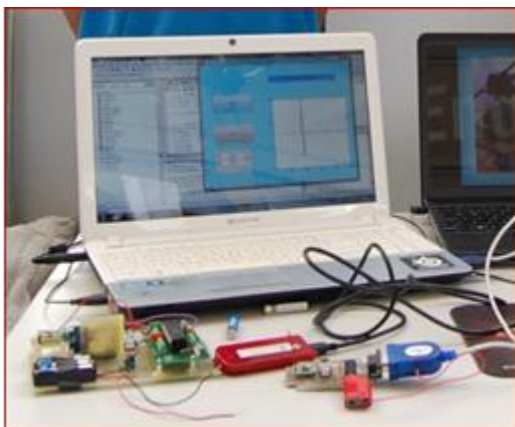


Fig. 19. Monitorización de la fuerza G

que iban a realizar, ni tampoco tenían conocimientos de esta disciplina. Hoy en día, casi todos los alumnos que empiezan una carrera técnica universitaria suelen tener buenos conocimientos de informática y telecomunicaciones a nivel de usuario, también suelen tener conocimientos básicos de electricidad aplicados al ámbito doméstico, pero, justamente, la electrónica es un campo bastante desconocido para ellos. Hoy en día no es fácil para el usuario tener acceso a la información de los equipos electrónicos donde los dispositivos están cada vez más miniaturizados y sus características están más ocultas. Y ese ha sido el gran objetivo que se han propuesto los profesores que imparten las asignaturas de esta comunicación: descubrir la electrónica a estudiantes de una carrera técnica no especializada en electrónica, en nuestro caso el ingeniero aeroespacial.

V. CONCLUSIONES

En las dos asignaturas de electrónica del grado de Ingeniería Aeroespacial de la UPV los profesores que las han impartido (Departamento de Ingeniería Electrónica) han realizado un gran esfuerzo por desarrollar un temario y una metodología docente cuyo objetivo es que los alumnos que asisten a ambas asignaturas obtengan los conocimientos, capacidades y habilidades en el campo de la electrónica suficientes como para desenvolverse de forma adecuada en el difícil mundo laboral de un ingeniero aeronáutico. La metodología elegida es la del aprendizaje basado en proyectos porque se ha comprobado suficientemente sus ventajas docentes.

Los resultados académicos alcanzados por el alumno que ha cursado la asignatura "Tecnología Electrónica" en el año 2012-2013 y 2013-2014 se pueden considerar como un gran éxito. La satisfacción de los alumnos se ve reflejada en las encuestas de opinión del alumnado, donde en el apartado correspondiente al desarrollo y metodología docente obtiene una valoración dos puntos por encima de la media de las asignaturas departamentales (Fig. 20), Además es de destacar el entusiasmo y compromiso de los alumnos para desarrollar los proyectos, que alcanzó su cenit el día de la presentación pública de los mismos. Los alumnos mostraron un gran interés en la tarea, ocupando muchas más horas de las que se establecen en los créditos ECTS, desarrollando proyectos complejos y sofisticados y demostrando una gran creatividad, motivación y capacidad de trabajo. En la referencia [13] puede verse un video-resumen de los proyectos y de la exposición pública que se desarrolló en la asignatura "Tecnología Electrónica" del año 2012-2013.

En la encuesta de evaluación que realizan los alumnos al profesorado, concretamente en el apartado donde se valora si la metodología empleada y las actividades realizadas le ayudan a aprender, la valoración conseguida es de 8.91 sobre un total de 10.

También cabe destacar que no todos los alumnos que desean matricularse pueden hacerlo, ya que al existir un límite de 25 alumnos solo los que tienen mejores calificaciones pueden realizarlo con lo cual se consigue un grupo de alto rendimiento.

Al finalizar la asignatura los alumnos han desarrollado, no solo las capacidades curriculares inherentes a la asignatura, sino multitud de habilidades sociales entre las que cabe



Fig. 20. Valoración de los alumnos sobre la metodología empleada en la asignatura "Tecnología Electrónica"

destacar, cooperación, coordinación, organización multidisciplinar, que completan y complementan su formación universitaria como ingenieros, preparándoles mejor para el mundo laboral. Esta metodología estimula e incrementa la competitividad entre los diferentes grupos, aumentando el nivel de compromiso y exigencia con ellos mismos.

Prácticamente la totalidad de los alumnos coinciden en sus testimonios. "El esfuerzo que ha supuesto la asignatura merece la pena comparado con el nivel de conocimientos y competencias adquiridas", nos dicen al finalizar el semestre. La asignatura ha fomentado un mayor interés del alumno por la electrónica. Esta metodología transmite más confianza y refuerza la autoestima del alumno, que se siente preparado y capaz de abordar nuevos y mayores retos en el futuro.

AGRADECIMIENTOS

Los responsables de las asignaturas de electrónica del grado Ingeniería Aeroespacial deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Dirección de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño (ETSID) de la UPV por acondicionar el lugar donde se han realizado las exposiciones para mostrar los proyectos realizados por los alumnos.

Y también agradecer a los alumnos el entusiasmo, la implicación y la ilusión con la que han desarrollado los proyectos demostrando una vez más su nivel de compromiso, responsabilidad y madurez.



Luis Gil-Sánchez es ingeniero electrónico por la Universitat de València, España (UV) en 1998, y concluyó el doctorado en 2007 por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Es profesor Titular de Universidad en el Departamento de Ingeniería Electrónica de la UPV impartiendo en la actualidad docencia en el Grado de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática en asignaturas de Electrónica

Digital e Instrumentación Electrónica

Es miembro del instituto de investigación Centro of Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM). Sus principales áreas de interés para la investigación son los sensores químicos, sistemas de instrumentación y técnicas de reconocimientos de patrones para lenguas electrónicas



Rafael Masot es licenciado en físicas por Universitat de València, España (UV) en 1991 e Ingeniero Electrónico por la UV en 1996. Concluyó el doctorado en 2010 por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Es profesor contratado en la (UPV) impartiendo en la actualidad docencia en el Grado de Ingeniería Aeroespacial en asignatura de Tecnología Electrónica y en el Grado de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática en asignaturas de Electrónica Digital.

Automática en asignaturas de Electrónica Digital.

REFERENCIAS

- [1] G. Solomon, "Project-Based learning: A Primer," *Technology and Learning*, vol. 23, no. 6, pp. 20–30, Jan. 2003.
- [2] Jingxuan Wu ; Lei Fan, "Student experience in using Project-based Learning (PBL) in higher education ", 6th International Conference on Digital Content, Multimedia Technology and its Applications (IDC), 2010 pp: 273 - 277.
- [3] Markkanen, H., Donzellini, G. and Ponta, D., "NetPro: methodologies and tools for Project Based Learning in Internet," *World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications (ED-MEDIA 2001)*, Chesapeake, VA, pp. 1230-1235. 2001.
- [4] Ponta, D., Donzellini, G. and Markkanen, H., "NetPro: Network Based Project Learning in Internet," *European Symposium on Intelligent Technologies, Hybrid Systems and their implementation on Smart Adaptive Systems 2002*, Albufeira, Portugal, pp.703-708. 2002.
- [5] R. Graham, "UK Approaches to Engineering Project-Based Learning" *Bernard M. Gordon MIT Engineering Leadership Program*. 2010.
- [6] J. Macías-Guarasa, J. M. Montero, R. San-Segundo, Á. Araujo, and O. Nieto-Taladriz, "A project-based learning approach to design electronic systems curricula," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 49, no. 3, pp. 389–397, Aug. 2006.
- [7] Arias-Pérez-de-Azpeitia, M., Fernández-Linera, F., González-Lamar, D., Hernando, M., Rodríguez, A., "Influencia del aprendizaje basado en proyectos en asignaturas de diseño de sistemas basados en microcontrolador.," *TAEE*, 2010.
- [8] R. Hong Chu, D. D. C. Lu, and S. Sathiakumar, "Project-Based Lab Teaching for Power Electronics and Drives," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 51, pp. 108-113, 2008.
- [9] Andernach, T., Saunders-Smits, G.N., "The Use of Teaching Assistants in Project Based Learning at Aerospace Engineering," *Proceedings of the 36th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, San Diego, 2006.
- [10] Dabipi, I.K., Hartman, C.E., Burrows-McElwain, J.B., Mohseni, S., "Design and Construction of A Stereoscopic Aerial Imaging Platform: A Project-Based Platform for Teaching Freshman Engineering Students", *38th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, Session F4C, 2008.
- [11] Loubach, D.S., Nobre, J.C.S., da Cunha, A.M., Dias, L.A.V., Nascimento, M.R., Dos Santos, W.A. "Testing Critical Software: A Case Study for an Aerospace Application". *25th Digital Avionics Systems Conference*, 2006 IEEE/AIAA.
- [12] Gonzalez-V, J.L., Loya-Hernandez, J.E., Project-based learning of reconfigurable high-density digital systems design: An interdisciplinary context based approach". *Frontiers In Education Conference - Global Engineering: Knowledge Without Borders, Opportunities Without Passports*, 2007. FIE '07. 37th Annual
- [13] Video-resumen de los proyectos y de la exposición pública que se desarrolló en la asignatura "Tecnología Electrónica" del año 2012-2013 <http://politube.upv.es/play.php?vid=57840>

Es miembro del instituto de investigación Centro de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM). Sus principales áreas de interés para la investigación son los sensores físicos, diseño de sistemas de instrumentación y técnicas de reconocimientos de patrones para lenguas electrónicas.



Miguel Alcañiz es licenciado en físicas por Universitat de València, España (UV) en 1991. Concluyó el doctorado en 2011 por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Es profesor titular de universidad en la UPV impartiendo en la actualidad docencia en el Grado de Ingeniería Aeroespacial en asignatura de Tecnología Electrónica y en el Grado de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática en asignaturas de Electrónica Digital.

Es miembro del instituto de investigación Centro de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM). Sus principales áreas de interés para la investigación son los sensores químicos, diseño de sistemas electrónicos de instrumentación y técnicas de reconocimientos de patrones para lenguas electrónicas

Redescubrir la Enseñanza de la Electrónica

Gerardo Aranguren, Javier Ortiz, José Miguel Gil-García

Title—Rediscovering the teaching of electronics

Abstract—University professors in the electronics field are continuously adapting their teaching to the new technologies. But the focus on a specific aspect of the electronics can make lose the global view of the creation of an electronic system. This article proposes a global vision of the teaching of electronics in parallel with the work carried out by an electronic engineer to spot the main weaknesses of the university system. Justification is based on the undergraduate programs found in several universities, economic reports and observed trends in different publications and congresses.

Index Terms—CDIO Approach, syllabus, Learning Methodologies, Manufacturing Systems.

I. INTRODUCCIÓN

EL mundo universitario siempre ha sentido la inquietud de adecuar los planes docentes a los conocimientos más recientes. Todavía es más patente en el ámbito tecnológico donde el conocimiento se renueva constantemente. Además en las dos últimas décadas hay un esfuerzo notable en modernizar la enseñanza universitaria mediante el uso de nuevas tecnologías y el empleo de metodologías activas. El objetivo de este esfuerzo se ha centrado en facilitar el acceso al conocimiento y mejorar los resultados académicos de los estudiantes. En paralelo se ha profesionalizado la actividad docente y se ha mejorado la labor investigadora en las universidades, profundizando en el conocimiento teórico y científico.

Pero todas estas mejoras han producido un alejamiento entre el mundo académico y el mundo profesional. Actualmente los estudiantes concluyen sus estudios con una buena preparación científica pero con pocos conocimientos prácticos para ejercer su profesión. Cuando se diseñan nuevos planes de estudios para adaptarse al avance de la tecnología normalmente se priman los aspectos científicos y los intereses de la investigación, en cambio se descuida analizar las tareas que deben desarrollar los ingenieros en su trabajo profesional o la demanda laboral.

No obstante han surgido algunos estudios e ideas tratando de redirigir la enseñanza a la totalidad del trabajo

del ingeniero. Hace algunos años la comunidad docente se planteaba un nuevo punto de vista de la enseñanza donde se potenciase el desarrollo de destrezas o competencias frente a la simple acumulación de conocimientos. Además, para el desarrollo de las competencias se promovía la utilización de metodologías activas frente a la clase magistral.

Los fundamentos de estas innovaciones los podemos encontrar descritos de distintas formas. Dror [1] considera que las diferencias entre personas se manifiestan en las distintas capacidades y modos de interiorizar el conocimiento. Concluye que las metodologías activas mejoran el aprendizaje individual de los estudiantes.

La taxonomía de Bloom et al. [2] proporciona una serie de grados, definidos de manera cualitativa, para medir o definir el avance en el aprendizaje. Describe que el aprendizaje no se centra en la memoria sino en las capacidades adquiridas por el estudiante.

El aumento del conocimiento científico y tecnológico, la utilización de metodologías activas y el aprendizaje por competencias, a veces ha derivado en una pérdida de la visión global del trabajo en ingeniería. Muchas veces se ha confundido las mejoras con añadir más tareas a la labor del estudiante, como lo expresa Valero et al. [3]. Otras veces las nuevas tecnologías alejan de la realidad llevando a mundos virtuales.

Analizando la enseñanza en electrónica se ve que tradicionalmente se ha planteado la enseñanza dividida en los tipos de dispositivos existentes: Electrónica Analógica, Electrónica Digital, Diseño basado en Microprocesador, Electrónica de Potencia, Microelectrónica y algunas más. Estos conocimientos se han presentado como compartimentos estancos perfectamente definidos y suficientes por sí mismos.

Sin duda no se ha tenido en cuenta el trabajo en ingeniería electrónica que debe combinar todos los tipos de dispositivos electrónicos y debe cubrir todas las tareas desde la concepción de una idea hasta poner un producto en el mercado. Se ha primado la novedad y la ocasión frente a las necesidades de conocimiento. Para plantear un correcto análisis de las tareas de ingeniería en electrónica lo primero que es analizar la línea de desarrollo de un producto (apartado II). A continuación se debe considerar las diferencias globales con la enseñanza (apartado III). En IV se justifican algunas carencias en los planes de estudio de diversas universidades del mundo. En el apartado V se analizan y comparan las metodologías docentes.

II. DE LA IDEA AL PRODUCTO

La enseñanza de la ingeniería electrónica debe cubrir todos los pasos de la generación de un producto electrónico donde interviene un ingeniero, ya que los futuros ingenieros deberán realizar todas estas tareas. Podemos encontrar diversas formas de representar la línea de desarrollo de un

G. Aranguren, Catedrático de Tecnología Electrónica. Departamento de Tecnología Electrónica, E.T.S. Ingeniería de Bilbao, Universidad del País Vasco (UPV/EHU). E-mail: gerardo.aranguren@ehu.es.

J. Ortiz, Profesor Titular de Escuela Universitaria. Departamento de Tecnología Electrónica, E.U.I.T.I. de Bilbao, UPV/EHU. E-mail: javier.ortiza@ehu.es.

J. M. Gil-García, Profesor Titular de Escuela Universitaria. Departamento de Tecnología Electrónica, E.U. Ingeniería de Vitoria, UPV/EHU. E-mail: jm.gil-garcia@ehu.es.

producto, desde que se concibe una idea, o se acuerda un proyecto, hasta que el producto se encuentra a la venta.

La iniciativa CDIO [4] divide el desarrollo y la enseñanza de la electrónica en 4 fases: Concepción, Diseño, Implementación y Operación. En la fig. 1 se muestra la descripción de estas fases según la presentación de la “Technical University of Denmark” [5].

En una línea muy parecida se manifiestan algunos fabricantes. Por ejemplo “Texas Instruments” divide el proceso en 5 fases (fig. 2): definición, selección de componentes, diseño, pruebas y producción [6].

También se puede considerar el proceso completo donde se incluye como una parte la línea de desarrollo de un producto electrónico, como el presentado por “Valtronic” [7], fig. 3.

En estas figuras queda patente que la electrónica no se reduce al enunciado de unas leyes físicas soportadas por unos cálculos matemáticos.

III. LA CONEXIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LA ELECTRÓNICA

Si se analizan los planes de estudios referidos a la electrónica en diversas universidades se ve que no existe esa continuidad y paralelismo entre el proceso de desarrollo de un producto electrónico y el proceso de aprendizaje. Por una parte las materias se imparten de forma aislada con

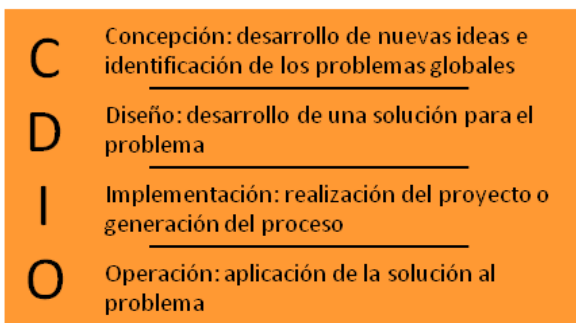


Fig. 1. Metodología y línea de desarrollo de la iniciativa CDIO.



Fig. 2. Descripción de la línea de desarrollo de un producto electrónico presentado por Texas Instruments.



Fig. 3. Proceso de desarrollo de un producto presentado por Valtronic.

poca conexión con el proceso electrónico. Se profundiza mucho en determinados aspectos técnicos pero los conocimientos quedan aislados. Por otra parte hay notables lagunas en la enseñanza de la electrónica. La enseñanza normalmente se centra en los aspectos técnicos del diseño olvidando otros aspectos igualmente importantes. Dicho de una manera plástica: un puente es un conjunto de piedras, pero un conjunto de piedras no es un puente. De la misma manera la electrónica se compone de una serie de materias, pero una serie de asignaturas no forman la electrónica. Es decir, la electrónica se debe aprender conectando los conocimientos desde la idea al producto. La figura 4 representa gráficamente el sistema de enseñanza de la electrónica basado en acumular conocimientos profundos sin conexión entre el origen (idea) y el objetivo final (producto electrónico).

El aislamiento entre asignaturas es patente y lo podemos reflejar en una serie de ejemplos que suelen repetirse en multitud de ocasiones.

En la impartición de asignaturas de VHDL o lenguajes semejantes se olvida la consideración de la necesidad de una FPGA, la selección de la misma, el diseño del circuito, la concepción de la aplicación, etc. Parten de una plataforma con FPGA y una herramienta informática para centrarse en la sintaxis del lenguaje.

Las asignaturas de microprocesadores o microcontroladores se centran habitualmente en la programación de alto nivel. Estas asignaturas suelen contener los mismos errores que las asignaturas de VHDL con un mayor agravamiento por el distanciamiento de la electrónica. Se elige una plataforma y una herramienta de programación y se centra el curso en la sintaxis del lenguaje y la realización de diversos ejercicios. Se olvida la selección del microprocesador o microcontrolador, el diseño del circuito, la concepción de la estructura del programa, etc.

Las asignaturas de radio se suelen centrar en diseñar o analizar cada uno de los elementos que componen un sistema de radiofrecuencia. Por desgracia descuidan habitualmente mostrar los circuitos existentes para sistemas de RF sencillos, de fácil aplicación y gran expansión. En este olvido quedan los circuitos integrados de frecuencias por debajo de 1 GHz, WiFi, Bluetooth, ZigBee,...

El diseño de fuentes de alimentación también se suele centrar en los componentes que la constituyen dejando de lado los productos existentes en el mercado. Actualmente los fabricantes proporcionan muchos dispositivos y herramientas para adecuar sus circuitos a las necesidades

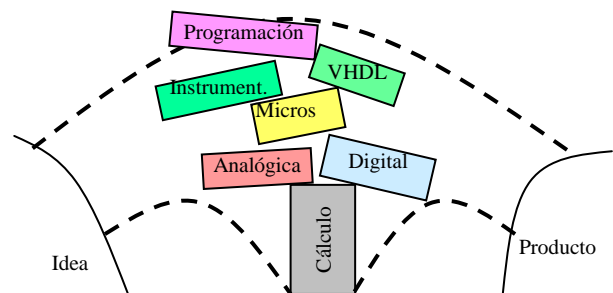


Fig. 4. En la enseñanza de electrónica, habitualmente, entre la idea y el producto se sitúan las materias sin continuidad ni conexión.

del diseño. En la mayor parte de los diseños basta con adaptar los reguladores o convertidores de un fabricante a las especificaciones del proyecto.

Se podrían decir cosas muy semejantes para cursos sobre amplificadores operacionales, convertidores analógicos, circuitos de potencia, etc. Saber emplear la documentación y las herramientas de los fabricantes adecuadamente permite diseñar rápido y con gran eficacia.

De manera genérica también se puede ver que la mayor parte de asignaturas no acaban en un esquema electrónico, que sería lo propio de una asignatura de electrónica. Normalmente acaban en unos cálculos, unas simulaciones, un esquema teórico con dispositivos ideales, etc. Estos resultados finales no permiten convertir las ideas en productos, ya que no conectan con asignaturas que puedan completar esos diseños (fig. 5).

Por el lado de las materias olvidadas o casi inexistentes en los planes de estudio podemos considerar tres ejemplos.

Normalmente la enseñanza de la electrónica se centra en el diseño de determinados circuitos o en la programación de dispositivos, olvidando la concepción de un producto. La concepción de un producto recoge el trabajo de ingeniería para buscar la mejor solución electrónica para resolver una necesidad, la selección de tecnologías, el diagrama del sistema, la consideración respecto del coste de producción, las posibilidades de comercialización del producto, etc. Sin estas conexiones con la idea y con el producto es imposible llevar adelante un diseño viable.

Todo circuito electrónico acaba materializándose sobre un circuito impreso. El circuito impreso es el componente más original de cualquier producto. En cambio en la mayor parte de universidades occidentales se olvida el diseño de los circuitos impresos de carácter industrial. En algunas universidades se diseñan y fabrican los circuitos impresos para circuitos sencillos con el fin de facilitar el conexionado de los componentes, pero que no podrían ser circuitos comerciales por no utilizar tecnologías de montaje superficial, no tener circuitos de protección, no tener consideraciones de integridad de señal, etc.

Los procesos de fabricación normalmente están ausentes en las universidades. En electrónica faltan en la mayor parte de universidades occidentales los procesos de fabricación de los circuitos impresos y el ensamblado de equipos electrónicos. Parte de este problema deriva de no considerar el producto electrónico en su conjunto y pensar que se completa la enseñanza con resultados parciales. En la figura 5 se representa qué es y qué no es un producto electrónico. Una titulación en electrónica debe aspirar a enseñar cómo realizar un sistema electrónico terminado.

IV. ENSEÑANZA DE LA ELECTRÓNICA EN DIVERSOS PAÍSES

Sería muy difícil constatar y justificar todas las afirmaciones del apartado anterior. Además, la deficiencia en la conexión entre materias y el olvido de determinados conocimientos son ausencias por lo que no se pueden constatar bibliográficamente. La mayor parte de lo afirmado proviene de la experiencia de los autores en numerosos encuentros con profesores universitarios del área electrónica. Sólo una parte de las anteriores afirmaciones se puede estudiar en base a algunos indicios: la ausencia de la

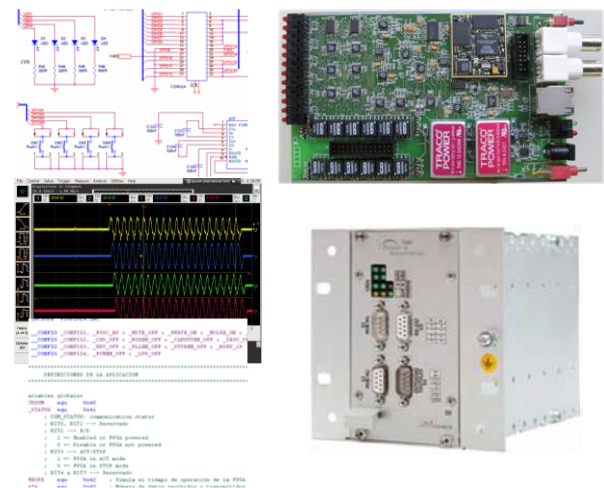


Fig. 5. Un producto electrónico no es un esquema, ni una simulación, ni un programa (izquierda). Un producto es una tarjeta con sus componentes ensamblados o un sistema electrónico finalizado (derecha).

enseñanza del diseño de los circuitos impresos y la ausencia de conocimientos sobre la fabricación de la electrónica.

El estudio se ha realizado en base a la documentación aportada en las páginas web de diversas universidades. Sólo se pretende evaluar si se cubren las etapas de enseñanza de la electrónica señaladas y no se centra en la metodología, ni en la calidad de la enseñanza. Como es evidente las titulaciones de los diversos países no son las mismas, ni la duración, ni muchos otros aspectos. Por tanto la comparación no es cuantitativa, sino descriptiva de la existencia de materias relacionadas con el diseño de circuitos impresos y los procesos de fabricación de equipos electrónicos. Estas tareas son fundamentales ya que todo ingeniero debe diseñar equipos que se puedan fabricar y vender para satisfacer las necesidades de los clientes.

La selección de países se ha establecido por la facilidad de acceso a la información, por cercanía y por el interés de sus universidades de referencia. En ningún caso se pretende considerar que este estudio es exhaustivo.

A. Gran Bretaña

En la “University of Manchester”, en la titulación “Electronic Engineering” (4 años), se imparten las asignaturas “Microcontroller Project” [8] y “Embedded Systems Project” [9] centradas en integrar conceptos descritos en otras materias. El objetivo de la asignatura es que cada grupo construya un robot capaz de navegar sobre una pista. La construcción del sistema completo incluye la fabricación de la electrónica. Este tipo de experiencia se repite en numerosas universidades asociado a metodologías de Aprendizaje Orientado a Proyectos (Project Oriented Learning, POL).

En la titulación “Computer Science” (4 años) de la “Oxford University”, se indica que en los tres últimos años se participa en un proyecto industrial [10]. También es una metodología POL con aprendizaje de las técnicas de implementación industrial asociadas a un proyecto. En “Engineering Science” de 4 años de duración hay una especialización en “Manufacturing and Management” aunque sin un enfoque electrónico.

El “Imperial College of London” ofrece una titulación de 4 años en “Electrical and Electronic Engineering” con

contenidos tradicionales. En primer curso se realiza un trabajo en grupo para establecer las bases de un proceso de diseño de ingeniería a partir de la 'deconstrucción' de un juguete electrónico [11]. En este trabajo hay consideraciones relativas a la fabricabilidad.

En la Universidad de Southampton se ofrece un "Master of Engineering" (MEng) de 4 años en "Electrical and Electronic Engineering" en el que se encuadra una asignatura de segundo año y primer trimestre de título "Electrical Engineering Design" que persigue desarrollar las habilidades de los estudiantes en la gestión de proyectos de diseño y la comunicación. Como parte de un trabajo en grupo se debe diseñar, construir y comprobar un vehículo autónomo [12].

B. Alemania

Se ha estudiado tres casos correspondientes a universidades alemanas. En los tres casos son titulaciones de tres años para lograr el nivel de grado.

En la "Technische Universität München", el título "Bachelor Elektrotechnik und Informationstechnik", en el 5º y 6º semestres tienen 12 créditos de "Ingenieur praxis" que en cierta manera se aproxima a definir el trabajo del ingeniero incluyendo alguna fase de producción (la información disponible es limitada) [13].

En "Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen", en las titulaciones de grado "Electrical Engineering", "Information Technology" y "Computer Engineering" no se ha encontrado nada relacionado con la implementación industrial [14].

Tampoco en "Karlsruhe Institute of Technology" en la titulación "Elektrotechnik und Informationstechnik Bachelor" [15] se ha encontrado información relativa a materias asociadas a la producción industrial. En su documentación muestran algunos módulos orientados a "Project Management" y la labor de los ingenieros en las empresas (soft skills) pero sin créditos que avalen este aprendizaje.

No obstante, en la preparación de los ingenieros en Alemania se exige la realización de prácticas en empresas durante unos meses y en esa fase pueden adquirir algunos estudiantes conocimientos relacionados con la implementación industrial de los sistemas electrónicos.

C. Países Escandinavos

En los países escandinavos se encuentran el mayor número de universidades acogidas a los estándares preconizados por CDIO. Son cuatro las universidades originalmente asociadas a la iniciativa CDIO. Además del MIT, las otras tres son suecas: la Universidad Tecnológica de Chalmers, la Universidad de Linköping y el Instituto Tecnológico Vetenskap de Estocolmo. Existe un reconocimiento contrastado del afán de estas universidades por estimular el ingenio productivo de sus estudiantes y por la creación de spin-offs.

La finlandesa "Laaperanta University of Technology" [16] ha sido reconocida como pionera en el uso de las metodologías de aprendizaje basado en proyectos. En sus laboratorios de electrónica los estudiantes han realizado multitud de productos electrónicos entre los que se destacan dispositivos portátiles MP3, equipos de radiofrecuencia y coches eléctricos de competición.

En las universidades danesas se han encontrado numerosos ejemplos de cursos y titulaciones orientados a la fabricación de productos y en concreto de electrónica. En concreto aparecen en "University of Copenhagen" [17], "Aarhus University" [18] y "VIA University College" [19].

En estas universidades está muy asentada la enseñanza orientada a proyectos y, por tanto, cubren todos los aspectos de la generación de un producto.

D. Estados Unidos

Un proceso similar al llamado proceso de Bolonia, que afecta a los estudios superiores en los países de la Comunidad Europea, tuvo lugar en la década de los noventa en los Estados Unidos. Las ideas de la organización ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) [20] se impusieron en las principales universidades del país. Como consecuencia, en la actualidad el diseño curricular de los planes de estudio de ingeniería está en la mayoría de los casos específicamente dirigido a dar cumplida respuesta a los criterios establecidos por ABET. Criterios que guardan cierta afinidad con la propuesta CDIO o con las tablas de competencias aplicadas en otras universidades.

Es una práctica generalizada durante el "freshman year", primer año, la presencia de cursos de introducción a la electrónica. Estos cursos siguen un modelo próximo a la metodología POL donde se examinan desde una perspectiva global casos de productos electrónicos que denominan ejemplares por su repercusión en la sociedad. Este es el caso, entre otros productos, de la guitarra electrónica Fender Stratocaster [21], del sistema electrónico de inyección de un automóvil, el ratón del PC, el teléfono celular, robots etc. que sirven para demostrar de un modo práctico (es habitual la práctica de demostraciones reales en el aula y el laboratorio) los principios fundamentales de la ingeniería electrónica.

En el curriculum de ingeniería eléctrica en el MIT [22] se incluyen una serie de cursos de laboratorio denominados genéricamente "Project Laboratory". Entre otros se mencionan los siguientes: Electronics project laboratory, Microcomputer Project Laboratory, Modern Optics project Laboratory. En estos cursos se incluyen una secuencia de proyectos definidos seguido por un proyecto final propuesto por los estudiantes. Los proyectos abarcan las fases de diseño, implementación, y presentación en un entorno de trabajo similar al de los grupos de diseño de ingeniería. En muchos casos estos proyectos suponen el primer paso para el desarrollo del "Undergraduate Advance Project" (UAP). En el caso de laboratorios con equipamientos más sofisticados sirven de introducción a futuros trabajos de investigación en los estudios de máster y doctorado.

En el curriculum de ingeniería eléctrica en Stanford [23] se ofertan varios cursos bajo el título: "Special Studies or Projects in Electrical Engineering" con un programa de actividades que incluye el diseño e implementación de dispositivos y sistemas electrónicos. En estos cursos se trabajan las competencias prácticas del diseño electrónico y fabricación de circuitos. El proceso es aprendido siguiendo las fases de propuesta, diseño, simulación, construcción y testeo demostrando durante el mismo la capacidad de trabajar en grupo. Al igual que otras muchas universidades en sus laboratorios de fabricación microelectrónica y

nanoelectrónica se enseña a diseñar y fabricar circuitos integrados, dispositivos MEMS, optoelectrónicos, etc.

Una práctica cada vez más extendida lo constituye la oferta de cursos consistentes en realizar una competición sobre un proyecto. El motivo más habitual suele ser el diseño de un robot autónomo. En esta línea de introducir el estímulo de la competición en el aprendizaje juega un papel importante el soporte de conocidas empresas fabricantes y distribuidoras de semiconductores [24, 25], así como el del instituto IEEE [26].

E. Países Orientales

Los países del este de Asia son mucho más conscientes de las necesidades. Basta con buscar bibliografía sobre fabricación de electrónica en educación superior y ver que la mayor parte de artículos proceden de universidades de Asia.

Por ejemplo, Yang et. al. [27] reconocen la importancia de la fabricación de electrónica y describen una experiencia desarrollada en la Guilin University of Electronic Technology en China. La experiencia se realiza tanto a nivel de grado como máster.

Respecto del diseño de un circuito completo, incluido el diseño del PCB, podemos fijarnos en la propuesta de una universidad de la India [28] donde se describe la herramienta utilizada y el uso dado en enseñanza universitaria.

Este impulso de los países orientales arrastra incluso a las empresas punteras occidentales. Chandran et. al. [29] describen la colaboración entre Intel y un grupo de investigación malasio para cooperar en nuevos sistemas de empaquetado de componentes.

F. España

La universidad española está muy marcada por la normativa y una concepción tradicional de la enseñanza. Las universidades sólo disponen de unos pocos créditos en cada titulación para las asignaturas optativas. En las normativas emanadas del gobierno de la nación no se ha encontrado alusiones específicas a la fabricación o implementación de la electrónica, salvo una alusión a la fabricación de circuitos integrados [30].

En la Universidad Politécnica de Cataluña [31] y en la Universidad Politécnica de Valencia [32] no se han encontrado asignaturas que estén directamente relacionadas con la implementación de la electrónica. En ambas universidades existen asignaturas de electrónica para aplicaciones específicas donde puede que se consideren algo las técnicas de implementación. Por ejemplo en asignaturas como Electrónica del Automóvil o Telemedicina necesariamente se deberán nombrar aspectos específicos de la producción para estos campos.

En la Universidad Politécnica de Madrid hay una asignatura denominada Fabricación de Equipos Electrónicos en la titulación de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación de 4 años [33]. En esta asignatura se ven todas las técnicas de fabricación de PCB y ensamblado. Es de las pocas asignaturas que se han encontrado centradas en la implementación de los sistemas electrónicos.

Dentro de algunas universidades, en paralelo a los estudios académicos, han surgido iniciativas promovidas

por estudiantes que reflejan un modelo de aprendizaje basado en la realización de proyectos. A modo de muestra, en la fig. 6, se presenta el prototipo del vehículo eléctrico de competición FSB2014 construido por el Formula Student Bizkaia de la Universidad del País Vasco [34] con motivo de uno de los concursos europeos organizados para canalizar el espíritu emprendedor hacia productos tecnológicos.

G. Países Iberoamericanos

Las universidades de los países iberoamericanos presentan unos planes de estudios estructurados en más años que las europeas en los que, sin embargo, no encuentran acomodo metodologías integradoras en un currículo de electrónica clásico.

En la Universidad de Sao Paulo de Brasil la titulación de Ingeniería Electrónica con sus diferentes especialidades tiene una duración de cinco cursos [35]. En el diseño del currículo se puede observar la correlación habitual entre las diferentes disciplinas electrónicas y sus correspondientes asignaturas, dejando para dos asignaturas de último curso la integración de todas ellas en lo que sería el equivalente al proyecto fin de grado: Proyecto de Formatura I y II.

En la Universidad de Buenos Aires los estudios se organizan en un primer año común (Ciclo Básico Común) al que deberán seguir otro ciclo de cinco años (Ciclo de Grado) [36]. Entre las asignaturas optativas aparece una de Diseño de Producto relacionada con Organización de la Producción y orientada al diseño industrial general y no tanto al puramente electrónico.

Por último en la Universidad Nacional Autónoma de México los estudios conducentes a la titulación Ingeniero Eléctrico Electrónico tienen una carga docente distribuida a lo largo de 9 semestres [37] en las que no se encuentra ninguna asignatura, aparte del Seminario de Titulación que servirá de base para la elaboración de la tesis profesional, en la que se persiga la integración de todos los pasos en el desarrollo de un producto.

V. REDESCUBRIR LA ELECTRÓNICA

Llegados a este punto sería conveniente redescubrir la electrónica en todo su alcance y en consecuencia su enseñanza.



Fig. 6. Imágen de un vehículo eléctrico construido por el equipo Formula Student Bizkaia.

El libro “Rethinking Engineering Education” [38] puede ser muy útil para descubrir las debilidades de un sistema de enseñanza y tratar de corregirlas con una visión global. En concreto es de gran interés los comentarios relativos a considerar la enseñanza de la ingeniería en su contexto. La división de la enseñanza en asignaturas no debe suponer una pérdida de visión del conjunto. Cada asignatura debe hacer referencia a sus conexiones con la concepción de un producto o proceso y con su producción.

También puede servir conocer la producción electrónica en nuestro entorno. Gasch en su informe “Market Trends and Outlook” [39] presenta los datos referidos a la producción mundial de circuitos impresos medida en dólares. Los circuitos impresos es el único elemento de medida global de la producción industrial de electrónica por estar centrado en unos medios de producción. El ensamblado y acabado de los equipos se realiza de manera más dispersa y por distintos medios. Este informe indica que la producción mundial se ha duplicado en los últimos diez años, mientras que en Europa se ha pasado a la mitad y en América (norte y sur) a un tercio. En 2012 la producción americana de circuitos impresos representaba el 5% mundial y la europea el 4,5%. De otros datos aportados en el informe se puede deducir que la producción de equipos finales en América podría rondar el 11% y en Europa el 5,7%. Aunque la globalización y los precios de producción son los principales factores de derivar el 90% de la producción mundial a Asia, también la falta de conocimientos de los ingenieros colabora en este desequilibrio. También es conveniente conocer que en Europa el 43,3% de la producción se dedica al ámbito industrial, mientras que la suma de la electrónica de consumo y computadores no alcanza el 4%. La enseñanza debe adaptarse a estos datos de producción de nuestro entorno, ya que los futuros ingenieros serán los encargados de diseñar y producir los nuevos sistemas electrónicos.

Del estudio realizado en el apartado anterior se puede extraer que en algunos países, hace algo más de diez años, comenzó un importante proceso de mejora de la enseñanza universitaria basada en la colaboración entre las materias de una titulación y la visión global del producto electrónico. Estados Unidos y los Países Escandinavos han apostado claramente por este medio de mejora de la enseñanza.

En estos países la iniciativa que surge con mayor asiduidad y pujanza es la metodología POL [40]. En esta metodología varios docentes plantean unas necesidades junto a unas especificaciones y los estudiantes trabajan para encontrar una adecuada respuesta tecnológica. En esta enseñanza el estudiante cobra mayor protagonismo y adquiere mejor sus conocimientos al utilizarlos de forma activa. Este conocimiento práctico en el desarrollo de un proyecto con metodología POL permite la participación en todas las fases de un desarrollo, aunque no asegura un conocimiento profundo de las técnicas de producción industrial, como lo indica Jing et al. [41]. Luego, podemos considerar que la metodología POL discurre por todas las fases de la idea al producto, pero queda en duda la existencia de un conocimiento de la producción industrial.

Por el contrario otros países realizan grandes esfuerzos en mejorar la enseñanza pero no cambian el modelo principal. Se mejora la didáctica, se introducen herramientas virtuales,

se facilita el acceso a las prácticas pero no se consigue un aprendizaje útil. Los cambios en la enseñanza mantienen el modelo de asignaturas compartimentadas y no se acomete un cambio estructural en la enseñanza universitaria. Es un modelo individualista y conservador en la enseñanza que lleva a prosperar de manera independiente a los profesores sin contar con el sistema universitario.

En estos países existen líneas de actuación parciales que se puede encontrar bajo la denominación de aprendizaje basado en proyectos interdisciplinares [42] o proyectos colaborativos [43]. Son experiencias limitadas donde una serie de profesores comparten experiencias docentes mediante la realización de proyectos entre varias asignatura. Estas experiencias incentivan el trabajo en grupo no sólo de los alumnos sino también de los profesores. Estos modelos podrían derivar en proyectos globales donde el diseño e implementación de productos electrónicos se aproxime más a la realidad de la ingeniería en electrónica. Al cobrar mayor relevancia este modelo de compartir proyectos multidisciplinares, dando un impulso al aspecto de implementación y construcción de prototipos electrónicos, se abre la opción de englobar las asignaturas de cada curso en la realización de proyectos mayores.

De nuevo estas experiencias mejoran la motivación y la adquisición de los conocimientos, pero siguen dejando al margen el mundo industrial. Es decir, se preparan ingenieros de diseño, de gestión de proyectos, de operación, pero de nuevo se relega la producción industrial tan necesaria para la creación de producto y riqueza. No hay que olvidar que el ingeniero no debe ser un científico, debe generar beneficios para su empresa y para la sociedad.

La tendencia creciente hacia la transferencia de los métodos o competencias del trabajo profesional del ingeniero a la enseñanza, declarados en la elaboración de nuevos planes de estudio, quedan relegados al determinar y fijar los contenidos docentes. No se debe olvidar que el intento progresivo por adecuarse a las exigencias formativas, requiere rediseñar no sólo la didáctica o las metodologías de enseñanza sino también los contenidos y sus conexiones.

En la fig. 7 se muestra un diagrama comparando la taxonomía de Bloom moderna con las metodologías docentes y los conocimientos técnicos adquiridos. En la base se asientan los fundamentos científicos y tecnológicos que constituyen el núcleo tradicional de la enseñanza. A partir de aquí se asciende en la escala de los conocimientos mediante actividades formativas de mayor amplitud en cada nivel de integración de competencias.

La adquisición de conceptos básicos, recordar o conocer, se encuentra en un nivel mínimo y se puede adquirir de un libro u otra fuente de documentación. Una asignatura puede llegar a la comprensión de circuitos. Si además se complementa con un laboratorio se puede alcanzar la comprensión total y comenzar a adquirir competencias sobre aplicaciones, muy limitadas por la limitación de la amplitud del objeto. La enseñanza basada en problemas (Problem-Based Learning, PBL) junto con los proyectos multidisciplinares constituyen el siguiente escalón.

Los últimos escalones están representados por las metodologías conducentes a implementar un producto tecnológico que implicaría la participación de mayor

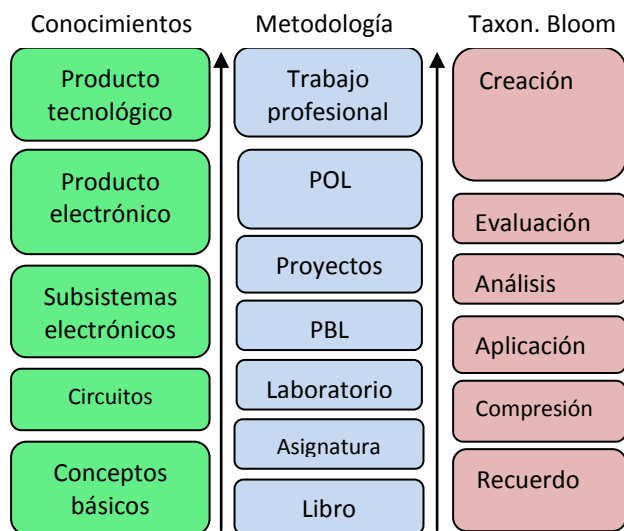


Fig. 7. Clasificación de materiales didácticos y actividades formativas en relación a la capacidad de incorporar e integrar mayor número de competencias en los planes de estudios de la ingeniería electrónica.

número de agentes educativos y profesionales. Estos escalones se consiguen con la enseñanza POL, pero de manera completa en el ejercicio profesional, verdadera escuela del aprendizaje.

VI. CONCLUSIONES

Aunque con las limitaciones propias de lo reducido de los medios para abarcar un estudio tan generalista, en este artículo se han considerado globalmente los conocimientos de electrónica enseñados en universidades europeas y americanas en comparación con el trabajo del ingeniero en electrónica. Se constata que hay una necesidad de preparar a los futuros ingenieros para ejercer su profesión en todos los aspectos de su trabajo desde la idea al sistema electrónico. Se debe huir de los destellos de conocimientos científicos en aspectos puntuales desligados del trabajo habitual de la ingeniería.

La enseñanza debe ser más práctica y útil con una clara orientación al ejercicio de la ingeniería y a la generación de equipos electrónicos. Los estudiantes deben construir su propio conocimiento a partir de asignaturas que conecten desde la concepción del proyecto hasta la operación final del equipo o proceso. Las metodologías asociadas a realización de proyectos construyen un conocimiento más sólido y cercano a la realidad.

No se deben olvidar las fases de construcción o implementación de los equipos electrónicos. Hay muchas fases del diseño que están condicionadas por el proceso de fabricación. Tampoco se debe olvidar el diseño del circuito impreso ya que recoge todo el trabajo del ingeniero en electrónica: las decisiones, los cálculos, las simulaciones, los circuitos, etc.

Estas consideraciones no son sólo para una materia o asignatura. Deben considerarse globalmente y deben servir para replantear o revisar los estudios actuales de la ingeniería en el campo de la electrónica.

REFERENCIAS

[1] I. Dror, "Technology enhanced learning: the good, the bad, and the ugly", *Pragmatics & Cognition*, vol. 16, n° 2, pp. 215-223. 2008.

[2] B. S. Bloom, M. D. Engelhart, E. J. Furst, W. H. Hill, and D. R. Krathwohl, "Taxonomy of educational objectives: Handbook I: Cognitive domain", New York: David McKay, 1956.

[3] M. Valero, and J. J. Navarro. "Diez metáforas para entender (y explicar) el nuevo modelo docente para el EEES", @ *tic. revista d'innovació educativa*, n° 1, pp. 3-8. 2008.

[4] E. F. Crawley, J. Malmqvist, W. A. Lucas, and D. R. Brodeur, "The CDIO Syllabus", Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, January 2001. Available: <http://www.cdio.org>.

[5] Technical University of Denmark. Available: <http://www.dtu.dk/english/Education/Undergraduate/BEng/BEng-Lyngby>.

[6] TI RF Technology. Available: https://e2e.ti.com/.../Designers_5F00_Guide_5F00_to_5F00_LPRF.pdf.

[7] VALTRONIC. Available: <http://www.valtronic.com/segments/intelligent-orthopaedics>.

[8] University of Manchester. Available: <http://www.eee.manchester.ac.uk/study/undergraduate/courses/ee/electronic-engineering-4-years-meng/course-unit-spec/?code=&level=2&courseUnit=EEEN10034>.

[9] University of Manchester. Available: <http://www.eee.manchester.ac.uk/study/undergraduate/courses/ee/electronic-engineering-4-years-meng/course-unit-spec/?code=08586&level=2&courseUnit=EEEN21000>.

[10] Oxford University. Available: http://www.ox.ac.uk/admissions/undergraduate_courses/courses/computer_science/computer_science_.html.

[11] Imperial College of London. Available: <http://www3.imperial.ac.uk/ugprospectus/facultiesanddepartments/electricalengineering/eleceng>.

[12] Universidad de Southampton. Available: <http://www.ecs.soton.ac.uk/module/ELEC2209>.

[13] Technische Universität München. Available: <http://www.ei.tum.de/studienangebot/bachelor>.

[14] Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Available: http://www.elektrotechnik.rwth-aachen.de/cms/Elektrotechnik_und_Informationstechnik/Studium/Studiengaenge/Bachelor_Studiengaenge/ET_IT_TI_Bachelor/~bygr/Studienverlauf/lidx/1.

[15] Karlsruhe Institute of Technology. Available: http://www.kit.edu/studieren/downloads/studiengaenge/KIT_Elektrotechnik_und_Informationstechnik_BA_MA.pdf.

[16] Laaperanta University of Technology. Available: <http://www.lut.fi/web/en>.

[17] University of Copenhagen. Available: <http://studies.ku.dk/exchange/course-information/online-course-catalogue/>.

[18] Aarhus University. Available: <http://bachelor.au.dk/en/>.

[19] VIA University College. Available: <http://www.viauc.com/horsens/programmes/fulldegree/ict/programme/Pages/programme.aspx>.

[20] ABET. Available: <http://www.abet.org>.

[21] M. J. Joyce, "The Fender Stratocaster Electric Guitar: A Case Study for Both Nontransferable and Transferable Skills Learning in a Generalist Electronic Engineering Cohort", *IEEE Transactions on Education*, Vol. 53, N° 3, August 2010.

[22] Massachusetts Institute of Technology. Available: <http://www.eecs.mit.edu/academics-admissions/undergraduate-programs/course-6-1-electrical-science-and-engineering>.

[23] Stanford University. Available: <http://explorecourses.stanford.edu/search?sessionId=qfaxgb0zx9lx19n7ayi5z5rpy?view=catalog&academicYear=&page=0&q=EE&filter-departmentcode=EE=on&filter-coursestatus-Active=on&filter-term-Autumn=on>.

[24] Texas Instruments, "Analog Design Context". Available: <http://focus.ti.com/general/docs/video/Search.tsp?term=students>.

[25] Freescale, "Freescale Cup Challenge". Available: http://www.freescale.com/webapp/video_vault/videoSummary.sp?searchLabel=renderSearchPage&q=students.

[26] IEEE. Available: http://www.ieee.org/membership_services/membership/students/competitions/ieee_student_competitions.html.

- [27] D. G. Yang, N. Sun, N., and X. S. Ma, "Multi-level education curriculum of electronic manufacturing engineering in GUET", *Electronic Components and Technology Conference*, pp.: 1716 – 1719, Vol. 2. 2004.
- [28] Y. Dilip Save, R. Rakhi, N. D. Shambhulingayya, A. Srivastava, M. R. Das, S. Choudhary, and K. M. Moudgalya, "Oscad: An open source EDA tool for circuit design, simulation, analysis and PCB design". *IEEE International Conference on Electronics, Circuits, and Systems (ICECS)*, pp. 851-854, Abu Dhabi, UAE. 2013.
- [29] D. P. K. Chandran, Y. K. Sow, M. H. Mohd Harizan, C. C. Kooi, T. T. Hoy, and C. K. Foong, "Success story of collaboration between Intel and Malaysian universities to establish and enhance teaching and research in Electronic Packaging", *Electronic Manufacturing Technology Symposium (IEMT)*, pp.: 1 – 6, 2010.
- [30] Orden CIN/355/2009. Available: <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2009-2897>. BOE Sec. I. pp.: 18165, 9 feb. 2009.
- [31] Universidad Politécnica de Cataluña. Available: http://www.upc.edu/grau/fitxa_grau.php?id_estudi=247&lang=es
- [32] Universidad Politécnica de Valencia. Available: http://www.upv.es/titulaciones/GITTEL/menu_813596c.html
- [33] Universidad Politécnica de Madrid. Available: <http://www.etsit.upm.es/programas-y-titulaciones/grado-en-ingenieria-de-tecnologias-y-servicios-de-telecomunicacion/plan-de-estudios/listado-de-asignaturas-2013-14.html>
- [34] Formula Student Bizkaia. Available: <http://fsbizkaia.com>.
- [35] Universidad de Sao Paulo. Available: <http://www5.usp.br/ensino/graduacao/cursos-oferecidos/engenharia-eletrica>.
- [36] Universidad de Buenos Aires. Available: http://www.fi.uba.ar/sites/default/files/Plan%20de%20Estudios%20Electr%C3%B3nica%202009%20%28versi%C3%B3n%202014%29_0.pdf
- [37] Universidad Nacional Autónoma de México. Available: http://www.ingenieria.unam.mx/paginas/Carreras/planes2010/ingElectrica_Plan.htm.
- [38] E. F. Crawley, J. Malmqvist, S. Östlund, D. R. Brodeur, and K. Edström, *Rethinking Engineering Education*. Springer, 2014.
- [39] M. Gasch, "Market Trends and Outlook, Printed Circuit Boards". *ZVEI Productronica*, 2013 [Online]. Available: <http://www.zvei.org/Downloads/PCB-Electronic-Systems/ZVEI-productronica-Data4PCB-Gasch.pdf>.
- [40] X. G. Paneda, D. Melendi, S. Cabrero, R. Blanco, R. Garcia, A. R. Rodriguez, "Three Techniques for Competitive Lab Activities Based on Project-Oriented Learning in Information and Communication Technologies", *IEEE RITA*, Vol. 8, nº 1, pp. 39-46, 2013.
- [41] L. Jing, Z. Cheng, J. Wang, and Y. Zhou, "A Spiral Step-by-Step Educational Method for Cultivating Competent Embedded System Engineers to Meet Industry Demands". *IEEE Trans. on Education*, Vol. 54, Issue: 3, pp.: 356-365. 2011.
- [42] J.M. López, I. López, C. Bernal, and E. Manchado. "Aprendizaje basado en proyectos interdisciplinarios: Ingeniería Electrónica / Diseño Industrial", Zaragoza. TAE 2010.
- [43] A. Blanco, J. García Aznar, J. Ruiz, "Aprendizaje colaborativo interdisciplinar a través de proyectos de modelado/simulación. Memoria de las actividades desarrolladas en proyectos de innovación educativa curso académico 2012-2013". *Escuela Politécnica Superior de Córdoba*, 2013.



Gerardo Aranguren nació en Pamplona en 1960. Ingeniero Industrial 1984, Doctor Ingeniero Industrial 1989, Profesor Titular de Universidad 1991, Catedrático de Tecnología Electrónica 1997. Universidad del País Vasco (UPV/EHU), E. T. S. de Ingeniería, Departamento de Tecnología Electrónica.

Desde 1990 investigador principal del Grupo de Diseño Electrónico dedicado a desarrollos electrónicos: comunicaciones ferroviarias, aviónica, comunicaciones inalámbricas, sensores industriales, etc. Importantes colaboraciones con empresas del sector ferroviario y aeronáutico. Desde 1984 vinculado a la enseñanza. Interesado en innovación educativa, metodologías activas, desarrollo de planes de estudio y en procedimientos de mejora de los sistemas de enseñanza. Considera la necesidad de vincular fuertemente la enseñanza con el ejercicio de la ingeniería como medio para preparar a los futuros profesionales.



Javier Ortiz, Profesor titular de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Bilbao perteneciente al Departamento de Tecnología Electrónica. Entre otros proyectos, ha trabajado en el Grupo de Diseño Electrónico en proyectos de diseño electrónico aplicado a la aeronáutica y transporte ferroviario. En el ámbito educativo,

dirige diversos proyectos de innovación, en colaboración con grupos de alumnos, orientados a la robótica, las maquetas educativas y en general a elaborar diseños electrónicos aptos para integrar a las prácticas de laboratorio.



José Miguel Gil-García es Ingeniero Técnico Industrial por la Universidad del País Vasco (1994) e Ingeniero en Automática y Electrónica Industrial por la Universidad de Mondragón (1999). En la actualidad es profesor Titular de Escuela Universitaria en el Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad del País Vasco.

Su docencia gira alrededor del diseño de sistemas electrónicos programables basados tanto en microcontroladores como en dispositivos lógicos programables. Su actividad investigadora se centra en diseño de sistemas para la medición de parámetros de funcionamiento de motores a reacción mediante el uso de sensores ópticos.

Resultados Docentes Usando una Metodología Basada en PBL en una Asignatura Troncal de Electrónica General

Manuel A. Perales Esteve, Federico J. Barrero García, *Senior Member, IEEE*, and Sergio L. Toral Marín, *Senior Member, IEEE*

Title— Learning achievements using a pbl-based methodology in an introductory electronic course.

Abstract— Teaching electronics in an introductory course is classically implemented by means of theoretical classes to settle the basics of analog and digital electronics. This approach has shown not to be much attractive, especially on a global course targeted for many different students, not specifically interested in electronics. A new course has been developed, based on a top-down learning strategy and the implementation of a pbl-based experience. This course has been held since 2011, with very good results, in terms of academic achievement and interest shown by the students. Results are presented, showing the success obtained with this methodology.

Index Terms— Problem-based learning, basic electronics, analog electronics, digital electronics.

I. INTRODUCCIÓN

EL nuevo marco legislativo en materia de educación superior en la Unión Europea representa una oportunidad muy interesante a la hora de plantear nuevas estrategias docentes que intenten superar algunos de los problemas detectados en los anteriores planes de estudio. La Declaración de La Sorbona reafirma el compromiso de las universidades en la creación de un espacio cultural común, centrado en Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), lo que se espera lleve a una mayor movilidad de ciudadanos europeos [1]. Un factor importante de este nuevo marco hacia el que convergen en la actualidad las universidades europeas es el aprendizaje para toda la vida, concepto relacionado con metodologías docentes tales como “aprender a aprender” o “aprender realizando” [2]. Estos cambios, que afectan a todas las Universidades Europeas, están afectando igualmente al planteamiento de los nuevos planes de estudio que se están terminando de implantar en las Escuelas de Ingeniería de España en las que se ha producido un importante cambio en la metodología docente, traducido, entre otros aspectos, en el mayor peso de las clases de tipo práctico frente a las clases teóricas, al fomentarse el concepto de aprender-realizando. Una de las

metodologías más utilizada y con grandes resultados en la ingeniería es la denominada Problem Based Learning (PBL) [3]-[5]

Este concepto es especialmente difícil de trasladar a asignaturas obligatorias, como es el caso de “Electrónica General” de 4,5 créditos, 2º curso y 2º cuatrimestre del nuevo grado de Ingeniería en Tecnología Industrial, debido al elevado número de alumnos inscritos (unos 400 alumnos matriculados en cada año académico celebrado desde su impartición por primera vez en el curso 2011-2012).

La asignatura en la que se centra este trabajo de mejora e innovación docente es la primera asignatura del área de conocimiento “tecnología electrónica” que ven los alumnos del grado. Muchos de estos alumnos (la gran mayoría de los 400 matriculados por curso académico) no escogen una especialidad que les permita profundizar el conocimiento adquirido en la asignatura y relacionado con la tecnología electrónica. Este hecho hace que los profesores de la asignatura se hayan replanteado la metodología docente empleada hasta la fecha, basada en el método de enseñanza tradicional y la clase magistral. El objetivo perseguido pasa por un cambio en el contenido y continente de la materia a impartir, tal y como se describe en [6]-[7]. Así, la materia se aborda de forma completamente diferente a como se hacía anteriormente. En lugar de introducir al alumno en la electrónica a partir de los conceptos más elementales (física de semiconductores y componentes o dispositivos elementales), la metodología docente empleada en la nueva asignatura parte de la descripción de sistemas reales, centrándose en cómo la electrónica ayuda y se integra en el desarrollo de dichos sistemas, con el objetivo de abordar la electrónica desde el punto de vista de las aplicaciones finales y del desarrollo de un sistema electrónico práctico. Los conceptos básicos relacionados con la tecnología electrónica, tanto analógica como digital, no se han descartado totalmente, pero se han simplificado notablemente en su exposición a los alumnos, primando la aplicación final y el interés industrial de los sistemas electrónicos. La materia se complementa con una experiencia PBL que representa aproximadamente el 30% del total lectivo asignado a la asignatura y que intercala clases magistrales con el desarrollo y análisis de un sencillo sistema electrónico que incorpora componentes de las diferentes ramas de la electrónica. Durante la experiencia PBL los alumnos son guiados en el análisis de las diferentes

M.A. Perales, F.J. Barrero, S.L. Toral son miembros del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Sevilla, impartiendo clases en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla, e-mail: {mperales, fbarrero, storl}@us.es

etapas de diseño, fabricación, construcción y programación de un sistema electrónico real, con aplicación industrial.

En este trabajo se analizan los resultados obtenidos con la aplicación de la nueva metodología docente, toda vez que se ha impartido ya a lo largo de tres cursos académicos. Se mostrarán los resultados académicos de los tres cursos en los que se ha impartido la asignatura, así como la evolución de la misma al cabo de este tiempo. Se presentan igualmente los resultados de dos encuestas diferentes pasadas a los alumnos. La primera de ellas fue contestada por alumnos de esta asignatura así como de la asignatura equivalente del anterior plan de estudios. La segunda fue respondida por alumnos del plan actual, de distintas intensificaciones, tratando de ver con un poco más de detalle el impacto de la asignatura en la elección de intensificación.

II. CONTEXTO DOCENTE

La experiencia docente que se presenta en este trabajo se refiere a la asignatura Electrónica General, asignatura adscrita al segundo curso de la titulación de Grado de Ingeniero en Tecnologías Industriales, e impartida durante el segundo cuatrimestre en la Escuela Técnica Superior de Ingenierías de la Universidad de Sevilla. Esta asignatura es troncal, obligatoria para todos los alumnos, y es el primer acercamiento a la tecnología electrónica que tienen los alumnos en el grado. Antes de cursarla, la única base teórico-práctica previa con cierta relación a los estudios que se impartían en la asignatura con la que cuentan los alumnos es la de una asignatura denominada Circuitos Eléctricos en la que estudian las leyes básicas de los circuitos eléctricos (Ohm, Kirchhoff, etc.). Más significativo resulta el hecho de que el grado cuenta con un total de 11 intensificaciones diferentes, siendo la asignatura Electrónica General la única en la que se estudia algún temario relacionado con la Tecnología Electrónica para 8 de estas intensificaciones. Es necesario, por tanto, abarcar una cantidad ingente de contenidos para que los alumnos perciban el interés y utilidad industrial de esta área, algo que resulta materialmente imposible en una asignatura que el plan de estudios determina de tipo cuatrimestral con únicamente 4,5 créditos.

Algo similar ocurría en el plan de estudios anterior, presentado en el año 1998, en el que una única asignatura común de electrónica, denominada Sistemas Electrónicos, era impartida a todos los alumnos de la titulación, ocurriendo también que la mayoría de los alumnos no volvían a ver ninguna asignatura de electrónica en la carrera. De hecho, en el plan antiguo la intensificación de electrónica contó desde el principio con un número muy reducido de alumnos, no llegando nunca a ser ni el 2% de los alumnos que cursaban Ingeniería Industrial. Evidentemente, hay múltiples factores que explican esta tendencia, como la existencia de otras titulaciones que podríamos considerar como más afines al área de Tecnología Electrónica, como es el caso de la titulación de Ingeniería de Telecomunicaciones, o la propia inercia existente en muchas Escuelas de Ingeniería que asocian la Ingeniería Industrial con Ingeniería Mecánica o de Organización. En cualquier caso, el hecho de que la asignatura común de electrónica tuviese tan poca

aceptación entre los alumnos se piensa que también pudo influir en esta tendencia. Por ello, en el diseño de la nueva asignatura se ha tenido especial cuidado en tratar de hacer la materia más interesante para todos los alumnos, acercando a estos un conocimiento más general y práctico sobre la Tecnología Electrónica, aún a costa de perder profundidad teórica y de conceptos.

III. LA ASIGNATURA ELECTRÓNICA GENERAL

La asignatura se ha estructurado, tal y como se describe en detalle en [6]-[7], en las siguientes partes:

- 1ª parte. Introducción (1 semana). Esta parte incluye los siguientes contenidos: presentación de la asignatura, definición de la electrónica, su utilidad e historia, introducción de electrónica analógica y digital así como de áreas de la electrónica (potencia, control, comunicaciones, cálculo, sensores e instrumentación, entre otras).
- 2ª parte. Electrónica analógica (4 semanas). En esta parte se describen contenidos relacionados con los elementos básicos de la electrónica analógica (la unión PN y el diodo, los transistores BJT y MOSFET, el amplificador operacional, así como aplicaciones basadas en componentes analógicos tales como los rectificadores y filtros, interruptores y drivers y otros sistemas electrónicos analógicos lineales como el amplificador de audio o circuitos de adaptación de señales y no lineales relacionados con la electrónica de potencia).
- 3ª parte. Sistemas Electrónicos Digitales (3 semanas). En este caso los contenidos se detallan partiendo del sistema microprocesador y sistemas electrónicos digitales de aplicación industrial, su funcionamiento, componentes y utilidad, para llegar al planteamiento de los dispositivos elementales (codificadores y decodificadores, multiplexores y demultiplexores, latches y biestables, y finalmente puertas básicas) que permitan enlazar y relacionar la electrónica analógica y digital.
- 4ª parte. Diseño de un sistema electrónico utilizando un método basado en "Problem Based Learning (PBL)" (4 semanas de teoría + 2 prácticas en paralelo). Consiste en definir un problema, analizarlo, proponer una solución basada en una estructura y dispositivos definidos por el profesor, para llevarla a cabo posteriormente en el laboratorio. En nuestro caso, y para los primeros cursos académicos de la nueva asignatura, se realiza un sistema microprocesador para el control de la temperatura de un habitáculo.

La asignatura se completa con 4 prácticas de laboratorio, en las que se presentan los métodos de uso de un laboratorio, y se realizan experimentos con sistemas diseñados ex profeso: un preamplificador de audio, un puente en H y un dado electrónico. El material lectivo del curso está disponible en [8]

IV. EXPERIENCIA BASADA EN PBL

La técnica del Problem Based Learning intenta un enfoque de la docencia en la que el alumnado, tutorado por

el profesor, va desarrollando un problema a partir de los conocimientos previos, y va descubriendo y supliendo las carencias o necesidades formativas, papel en el que el profesor prestará su ayuda. A principio del curso, el profesorado enuncia un problema o proyecto a realizar, y son los alumnos, formando grupos, los que tienen que resolverlo, basándose para ello en los conocimientos que posean y buscando ayuda en aquello que no dominen. Esta técnica es bien conocida y empleada desde hace bastante tiempo[3], pero requiere de una serie de premisas para su correcto desarrollo[9]:

- El PBL debe ser el centro del método docente, no un añadido al mismo.
- Los proyectos estarán enfocados a problemas que interesen a los estudiantes para que trabajen con los conceptos fundamentales de una disciplina.
- Los proyectos deben involucrar a los estudiantes en una investigación de una cierta entidad.
- Los proyectos deben ser conducidos fundamentalmente por los estudiantes, no guiados por los profesores.
- Los proyectos deben ser realistas en la medida de lo posible, y no meramente académicos.

Para que una experiencia PBL se pueda llevar a cabo, los alumnos deben trabajar en grupos, de no más de 4 ó 5 individuos, y ser coordinados por algún docente. Este tipo de metodología docente, tal cual, no resulta operativa para asignaturas masificadas como la que nos ocupa. Por lo tanto, se ha realizado una experiencia que, si bien está basada en la idea de fondo del PBL, está adaptada al caso de asignaturas numerosas y con alumnado diverso. En [8] se describe con detalle el diseño y puesta en marcha de dicha experiencia.

Interesa que los alumnos puedan ver el proceso completo que va desde la idea inicial al prototipo final, incluyendo el mayor número posible de tareas de ingeniería. Con este método docente, se pretenden desarrollar una serie de competencias muy importantes dentro del desempeño de la labor de un ingeniero industrial, como son:

- la búsqueda de información y soluciones,
- la capacidad de selección de soluciones entre distintas tecnologías con criterio,
- la valoración económica de los diseños electrónicos,
- el conocimiento de las distintas tecnologías de fabricación de circuitos,
- el manejo de las herramientas básicas del diseño electrónico (simulador, programa de diseño de placas, entorno de desarrollo...).

El curso 2011-12 fue el primero en el que se impartió la asignatura, aunque la programación docente planteada inicialmente no pudo completarse a causa de una huelga de alumnos realizada al final del cuatrimestre. Este primer curso se matricularon en la asignatura un total de 395 alumnos. A pesar de la falta de tiempo y el excesivo número de alumnos, la asignatura se desarrolló de manera bastante

satisfactoria, tanto en lo referido a resultados académicos, tal y como se verá a continuación, como en satisfacción del alumnado, a tenor de los resultados de la encuesta que se incluyen en este documento.

Para la experiencia PBL se diseñó una placa que utiliza un microprocesador MSP430G2231 para la implementación de un termostato con histéresis, varios displays de 7 segmentos para visualización de la temperatura, pulsadores para el control de la referencia, así como un circuito de adaptación analógico para usar un dispositivo de tipo NTC (*Negative Temperature Coefficient thermistors*) para la medida de la temperatura ambiente. Aunque el diseño que se les presenta a los alumnos sería mejorable en varios aspectos, cubre bastante bien todas las parcelas que se quieren desarrollar en la asignatura, como son:

- Selección de tecnologías: el diseño se puede atacar como un circuito puramente analógico (con amplificadores operacionales, comparadores y potenciómetros), como un circuito digital discreto (basado en elementos de baja escala de integración) o bien como un diseño basado en microprocesador. En clase se discuten las posibilidades, viendo que la tercera es la que presenta mayores ventajas.
- Selección de componentes. Se estudian los distintos sensores de temperatura del mercado y se elige uno en función de sus características de precisión, rango y precio.
- Diseño de una etapa de adaptación analógica. Se muestra cómo se haría una etapa de adaptación, para conseguir que el fondo de escala del sensor coincida con el del convertidor analógico-digital. Se parametriza el diseño por si hay cambios al final, y se les muestra cómo optimizar un diseño en función de los valores de resistencias disponibles en el mercado.
- Diseño de la etapa de interfaz. Se analizan distintas opciones para visualizar la temperatura real y la consigna, comprobando que la única viable, por precio, es usar displays led de 7 segmentos. Se les expone el problema del alto número de pines necesarios y las soluciones posibles (uso de registros de desplazamiento, multiplexión de los dígitos en el tiempo, etc.).
- Diseño del bloque de control. Deben aprender a seleccionar un microcontrolador que cumpla con unas especificaciones dadas, y se les muestra cómo acotar dichas características (memoria, canales A/D, comunicaciones, velocidad, consumo, etc.).
- Diseño del software de control. Una vez cerrado el capítulo del hardware, se les muestran las tareas de control que debe llevar a cabo el microcontrolador, distinguiendo entre las prioritarias y las secundarias, y se les introduce a la programación de sistemas digitales.

En la Fig. 1 se muestra una fotografía del sistema desarrollado para esta experiencia., en la que se han señalado los elementos fundamentales en el diseño, como son el microcontrolador utilizado, el sensor de temperatura con su circuito de adaptación, o el display de 3 dígitos con el registro de desplazamiento para conectarlo al puerto spi.

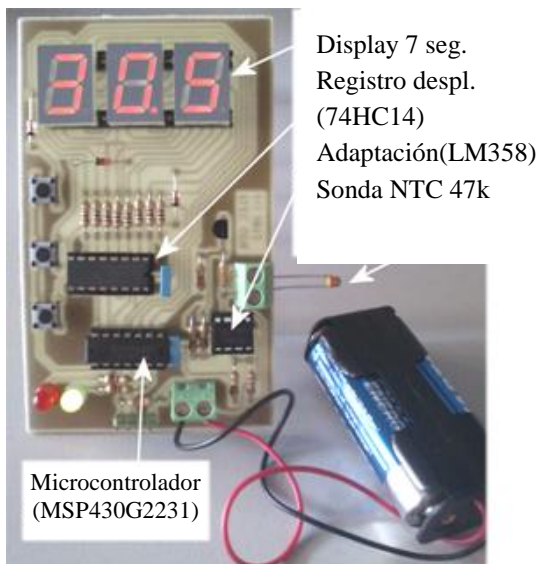


Fig. 1. Placa desarrollada en la experiencia PBL

V. RESULTADOS OBTENIDOS EL PRIMER CURSO

A. Resultados Académicos

Aunque no es una medida fiable del éxito de una asignatura, es importante saber el índice de aprobados sobre matriculados y sobre presentados. En el primer curso de impartición de la asignatura, sobre el total de 395 alumnos matriculados, 311 (79%) superaron la asignatura, con la siguiente distribución de notas:

- 142 aprobados.
- 166 notables.
- 3 sobresalientes.

Al ser el primer año que se cursó la asignatura, puede existir un cierto sesgo en cuanto a que los alumnos no conocían cómo se iba a desarrollar la evaluación, lo que juega en principio en su contra. Este factor parece que, no obstante, no ha tenido mucho peso a tenor de los resultados obtenidos en los siguientes cursos.

Conviene destacar también el dato de asistencia a las clases de la parte 4, aquella en la que se desarrolla el PBL. Un 88% de los alumnos matriculados, 348 en total, asistieron a las clases durante el primer curso y entregaron las tareas. Sobre los alumnos que siguieron la parte 4 de la asignatura, 310 aprobaron esta parte antes de la evaluación final con las entregas de los trabajos planteados. La gran mayoría de los que no lo consiguieron fue por entregarlas fuera de plazo. Estos datos merecen ser destacados, por cuanto se puede concluir que la realización de la experiencia PBL ha contribuido positivamente a que los alumnos no abandonen la materia, hagan un seguimiento semanal de la misma y la aprueben en la primera convocatoria oficial.

Como ya se ha comentado anteriormente, el primer curso en el que se impartió la asignatura terminó de manera abrupta, no pudiéndose realizar la última práctica del PBL. En ella, los alumnos terminaban de montar y programaban el microcontrolador del sistema. Aún así, muchos alumnos lo hicieron de manera voluntaria,

montándose unas 50 placas en el laboratorio (el 80% del total de placas encargadas por los alumnos a principios de curso).

Se observó un problema importante a la hora de corregir las tareas, dado que las cuatro clases dedicadas al PBL estaban juntas y al final en la planificación lectiva que se planteó para la asignatura. Esto llevó a que en un plazo muy corto los alumnos tenían que entregar muchos trabajos, coincidiendo además con el final del curso.

B. Encuesta Comparativa con Sistemas Electrónicos

Aprovechando el hecho de que aún coexisten en la Escuela Técnica Superior de Ingenierías de la Universidad de Sevilla alumnos del plan antiguo, que habían cursado la asignatura de Sistemas Electrónicos, y del plan nuevo, se diseñó una encuesta de valoración de la actividad docente para ser respondida por los dos grupos de alumnos independientemente: por un lado los alumnos que cursaron en su día la asignatura de Sistemas Electrónicos del plan de 1998, y por otro los que cursaron la nueva asignatura, Electrónica General. La encuesta consta de un total de 37 ítems, referidos a los diversos métodos y materiales docentes, así como al papel del alumno en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

En la Tabla I se citan los ítems más significativos de la encuesta, que los alumnos tenían que evaluar de 1 a 5 puntos.

Los resultados de la encuesta muestran de forma general una excelente valoración de la asignatura, significativamente mejor que la valoración que los alumnos hacen de la asignatura correspondiente del plan de estudios anterior, sobre todo en las preguntas que inciden en la percepción que los alumnos tienen de su propio aprendizaje. En la Fig. 2 se muestran los resultados obtenidos por una y otra asignatura. Observando los resultados es evidente la mejoría obtenida en general, siendo muy notable, por ejemplo, el incremento experimentado en el interés de los temas (de 2,6 a 4,1) o en la valoración global de la satisfacción (de 1,8 a 3,8). También es fácil ver que ninguno de los ítems valorados por los alumnos de la asignatura de Sistemas Electrónicos llega al valor intermedio, 3, mientras que casi todos los resultados de la nueva asignatura están por encima de 3,5, y bastantes por encima de 4.

VI. RESULTADOS EN EL CURSO 2012-13

A pesar de los buenos resultados obtenidos, comparando con la asignatura precedente en el antiguo plan de estudios, el segundo año en el que se impartió la asignatura se llevaron a cabo algunos pequeños cambios, principalmente en su organización y planificación. Entre estos cambios destaca que las clases de la parte 4, dedicada a la experiencia PBL, se distribuyeron durante el curso de la siguiente manera:

- La primera clase (en la que se expone el proyecto a realizar, se debaten los diferentes métodos disponibles para hacerlo -analógico, digital, programable, etc.-, se elige el sensor de temperatura a usar -dispositivo NTC- y se llega a la conclusión de que será necesario un circuito de adaptación que todavía no pueden diseñar por no haber estudiado

TABLA I
ENCUESTA DE VALORACIÓN (VALORES SELECCIONADOS)

Nº	Item	Sist. Elec.	Elec. Gen
1	Interés de los temas impartidos	2,56	4,07
4	Globalmente estoy satisfecho con la formación recibida	1,67	3,43
5	La materia se entiende fácilmente	1,22	3,50
8	El nivel de comprensión tras asistir al curso es aceptable	2,00	3,54
9	Durante el tema se muestran ejemplos reales	2,89	4,07
10	Las herramientas y medios con los que se imparte el tema se adecúan a su explicación	2,33	3,61
14	El profesorado es accesible y dispuesto a resolver las dudas que surgen	2,89	4,14
16	Valore el grado en el que el curso permite la participación del alumno	2,13	3,89
18	La materia es fácil de seguir	1,44	3,71
20	El material usado en el curso se adecúa a las explicaciones teóricas	2,56	3,64
21	El entorno de clase es amigable	2,89	4,43
23	Los profesores de la asignatura motivan a los alumnos	2,00	4,04
25	Asistir al curso me resulta una actividad motivante	1,78	3,68
29	Los profesores de la asignatura fomentan la participación en clase	1,78	3,61
32	Encuentro que la asistencia a clase mejora mi aprendizaje	2,11	3,96
34	Valore en qué medida considera la asistencia a este curso supone una actividad positiva en la que ha aprendido algo	2,33	3,71
36	Valore globalmente los equipos didácticos	1,89	3,81
37	Valore globalmente su satisfacción	1,78	3,79

electrónica analógica de la asignatura) se impartió tras acabar la introducción y la definición de los componentes básicos de la electrónica (parte 1 de la asignatura).

- La segunda clase se impartió al finalizar la parte 2 de la asignatura, centrada en introducir al alumno la Electrónica Analógica. En esta segunda sesión, los alumnos, que ya son capaces de diseñar o al menos de entender el interés de la electrónica analógica, analizan el circuito de adaptación necesario para poder medir la temperatura en el rango que requiere el sistema electrónico estudiado.
- Las clases tercera y cuarta se imparten al final, cuando ya han estudiado los circuitos digitales, tanto discretos como programables. De esta manera, el alumno puede enfrentarse al análisis del diseño hardware del circuito (tercera clase), y a su programación (cuarta clase). Al alumno se le muestra cómo hacer el programa asociado al sistema microprocesador diseñado y qué deben tener en cuenta para ello, aparte de otra serie de consideraciones finales relacionadas con la experiencia, como son el uso de programas de diseño de circuitos impresos, simuladores, etc.

Con la nueva organización docente se han pretendido alcanzar varios objetivos. En primer lugar, repartir la docencia asociada al PBL para que los alumnos puedan ir asimilando el proceso poco a poco. En segundo lugar, conseguir despertar en los alumnos el interés por la electrónica durante la impartición de la asignatura, de

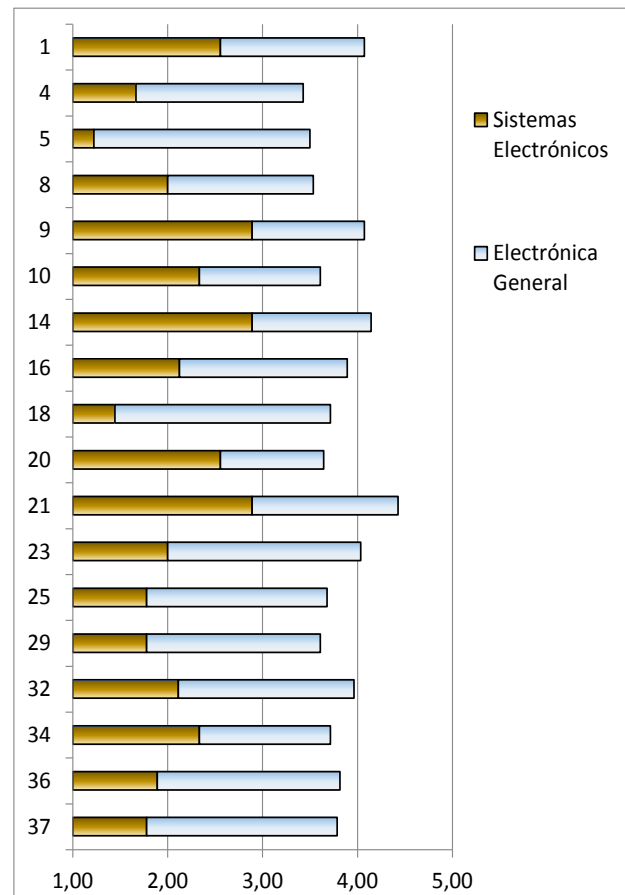


Fig. 2. Resultados comparativos de la encuesta

manera que al estudiar los diferentes campos de la electrónica tengan en mente para qué les puede servir en su diseño. Finalmente, también se pretende escalar el esfuerzo, tanto por parte del alumnado como por parte del profesorado en cuanto a la corrección, realizando las tareas de manera progresiva durante todo el cuatrimestre. En la Fig. 3 se muestra esta nueva organización docente de la asignatura.

En este segundo curso, el número de alumnos matriculados fue ligeramente inferior al anterior, 369 alumnos, aunque la asistencia fue mayor porcentualmente (95% de matriculados) por lo que el número de alumnos que siguió la experiencia fue prácticamente el mismo (343 este segundo curso frente a 348 del primero). Los resultados académicos cosechados este segundo curso fueron incluso mejores que los del primer año lectivo, obteniendo un 92% de éxito en primera convocatoria, con la siguiente distribución de notas:

- 198 aprobados.
- 115 notables.
- 24 sobresalientes.
- 2 matrículas de honor.

Se estima que estos resultados han sido tan positivos gracias, en parte, a la realización por parte de los alumnos de las tareas escalonadas durante todo el cuatrimestre. Esto ha favorecido aún más que la asignatura no haya sido abandonada o dejada para ser estudiada al final. Amén de estos buenos resultados académicos, las encuestas oficiales

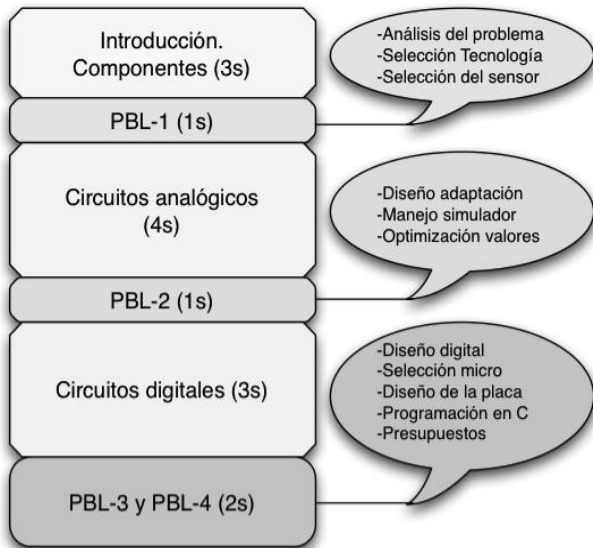


Fig. 3. Nueva organización docente de la asignatura

realizadas por la Universidad a los alumnos muestran una gran satisfacción por la docencia recibida, especialmente en lo referente a la experiencia PBL de la asignatura.

Para analizar el grado de satisfacción y de utilidad que los alumnos ven en la experiencia PBL se elaboró una pequeña encuesta (Tabla II), que se pasó a los alumnos de la asignatura *Sistemas Electrónicos Digitales*, de tercer curso del mismo grado. Esta asignatura sólo la cursan aquellos que eligen las intensificaciones de electrónica, automática o electricidad (3 de las 11 intensificaciones del grado). En todo caso, es importante tener en cuenta que existe un cierto sesgo positivo en la población a la que se somete la encuesta, habida cuenta que sólo se ofrece a alumnos a los que en principio les interesa la electrónica y áreas afines. Las preguntas hacen referencia, como se ha comentado, a las tareas y el desarrollo de la experiencia PBL. Los resultados, que se muestran en la Fig. 4 se han segmentado por especialidad, separando los alumnos que han elegido ya entre las tres especialidades comentadas.

Como era de esperar, los alumnos que han elegido la especialidad de electrónica otorgan mejores puntuaciones que los de las otras dos especialidades en prácticamente todas las cuestiones, excepto en la primera pregunta, acerca de la dificultad de la asignatura. Esto se puede deber a que estos alumnos, al estar más motivados por la electrónica, han profundizado más en la asignatura, viendo la dificultad intrínseca de los procesos de diseño y realización de un sistema electrónico, aspectos que pueden haber pasado desapercibidos para los demás alumnos. La percepción que tienen los alumnos es que la asignatura ha sido útil, que han aprendido y que la experiencia PBL es interesante. Los resultados son en general bastante buenos, si bien se observa que para muchos alumnos las tareas que se han realizado han sido más fáciles que instructivas. Esto nos llevó a reflexionar sobre la necesidad de rediseñar las tareas, que fueron cambiadas para el siguiente curso.

TABLA II
ENCUESTA DE VALORACIÓN CURSO 2012-13

ITEM	A*	B*	C*
1 La asignatura me ha parecido fácil	3,62	4,00	3,35
2 La asignatura me ha parecido interesante	4,38	3,92	3,65
3 Pienso que he aprendido con la asignatura	3,69	3,20	3,17
4 El diseño realizado en el PBL me ha resultado interesante	4,46	3,80	3,78
5 Las tareas realizadas eran fáciles	3,77	3,76	3,70
6 Las tareas eran útiles y con ellas aprendí	3,46	3,32	3,22
7 Las prácticas me han resultado interesantes	4,00	3,68	3,61
8 El montaje de la placa es instructivo	4,23	4,04	3,74

*A: Especialidad Electrónica; B: Especialidad Automática; C: especialidad Eléctrica

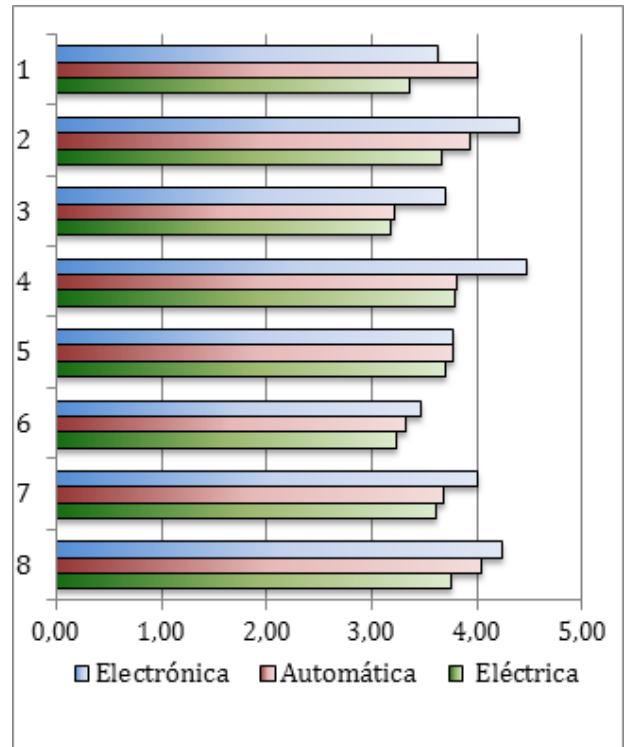


Fig 4. Encuesta de satisfacción segmentada por especialidades

VII. RESULTADOS PRELIMINARES DEL CURSO 2013-14

Aunque aún no haya acabado el curso académico 2013-14, se dispone ya de los resultados de la primera convocatoria, que pueden servir para confirmar la tendencia de las calificaciones obtenidas en años anteriores.

Los resultados de esta primera convocatoria han sido:

- 172 aprobados.
- 90 notables.
- 2 sobresalientes.

De nuevo los resultados académicos son bastante buenos, con números muy similares a los de cursos anteriores. En la siguiente tabla se comparan los diferentes índices de éxito de la asignatura. Se puede comprobar que tanto el porcentaje de aprobados sobre presentados como el de aprobados sobre matriculados son muy altos, siempre por encima del 75%. También es de destacar cómo el porcentaje de presentados

sobre matriculados ha ido subiendo de manera continua, situándose ya en el 95%.

En la Tabla III se muestran algunos indicadores de los resultados académicos obtenidos en estos tres cursos. Se puede ver que el porcentaje de aprobados sobre presentados siempre ha sido superior al 90%. Más importante, a nuestro juicio, es el porcentaje de presentados sobre matriculados, que ha ido subiendo año tras año, situándose actualmente en un 95%. Estos números son poco frecuentes en una Escuela Técnica Superior de Ingeniería, pero tienen fácil explicación en el tipo de docencia que se lleva a cabo, la evaluación con trabajos de parte de la asignatura, y el nivel de implicación que se logra por parte de los alumnos. Es también digno de destacar que los resultados de las encuestas de valoración que realiza la universidad son tremendamente positivos, estando los tres cursos por encima del 4, y cercano al 4,5. Como comparación, la media del área de conocimiento ha estado en torno a 3,4. Estas cifras son un indicativo bastante fiable de que la asignatura es valorada por los alumnos de una forma muy positiva, siendo esto realmente novedoso respecto a lo que ocurría con la anterior

VIII. CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta y analiza la metodología docente empleada en una asignatura troncal de electrónica general y 2º curso en el grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales, impartida en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla. La metodología docente empleada potencia la descripción del interés, la utilidad y el uso de sistemas electrónicos reales, simplificando notablemente la exposición al alumnado de conceptos elementales como la física de semiconductores y componentes o dispositivos básicos. La nueva metodología se ha analizado después de impartirse tres cursos académicos (dos de ellos completos).

Del análisis de los resultados obtenidos se puede deducir que el método propuesto es efectivo, lográndose una importante motivación en el alumnado y un notable aumento en el seguimiento de la asignatura (altos niveles de alumnos aprobados y de presentados sobre matriculados). Aparte de los resultados meramente académicos, la opinión de los alumnos sobre la nueva metodología ha sido analizada, comparando los resultados con los obtenidos en asignaturas equivalentes en planes de estudio en extinción. Los resultados confirman la utilidad de la nueva metodología docente, al valorar los alumnos la asignatura como interesante e instructiva. Una parte importante de este cambio de valoración subyace sobre la inclusión de una experiencia de tipo PBL en la metodología docente, como se deduce también de la encuesta realizada a los alumnos que cursaron la asignatura el curso académico 2012-13, donde se confirma el interés que despierta en el alumnado el montaje, manejo y programación de un sistema electrónico real.

TABLA III
RESULTADOS ACADÉMICOS EN LOS TRES CURSOS IMPARTIDOS

Item	11-12	12-13	13-14
Aprobados sobre matriculados (%)	79	92	91
Aprobados sobre presentados (%)	93	98	95
Presentados sobre matriculados (%)	88	93	95
Nota media (0-10)	6	6,4	6,2
Encuesta de satisfacción (0-5)	4,45	4,61	4,45

Uno de los objetivos que se persigue con este cambio metodológico es presentar la electrónica como una rama de la ingeniería industrial, con entidad propia, aparte de una disciplina de gran ayuda para las demás especialidades de la misma. Aunque los datos de los que se dispone de momento son muy preliminares, el incremento de matriculación en la especialidad de electrónica (14 alumnos en el primer curso académico en que se ha impartido la especialidad), en comparación con el número de alumnos de esta especialidad en el anterior plan de estudios (2 alumnos en el último curso), parece confirmar que se ha conseguido el objetivo propuesto.

REFERENCIAS

- [1] Musselini, C. "Towards a European academic labour market: Some lessons drawn from empirical studies on academic mobility", *Higher Education*, vol. 48, pp. 55-78, 2004.
- [2] Suárez, B. "La sociedad del conocimiento: una revolución en marcha", Seminario REBIUN. Palma de Mallorca, 2003. J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.
- [3] Barrows, H. S. *Problem-Based Learning (PBL)*, 2001
- [4] Hosseinzadeh, N.; Hesamzadeh, M.R., "Application of Project-Based Learning (PBL) to the Teaching of Electrical Power Systems Engineering," *Education, IEEE Transactions on*, vol.55, no.4, pp.495,501, Nov. 2012
- [5] dos Santos, S.C.; Figueredo, C.O.; Wanderley, F., "PBL-Test: A model to evaluate the maturity of teaching processes in a PBL approach," *Frontiers in Education Conference, 2013 IEEE*, vol., no., pp.595,601, 23-26 Oct. 2013
- [6] Perales, M., Barrero, F., Toral, S. "Experiencia PBL en una Asignatura Troncal de Electrónica General", 11º Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (TAEE'2012), Vigo, España, Junio de 2012. Premio al mejor artículo en el área de metodologías docentes.
- [7] Perales, M., Barrero, F., Toral, S., Durán, M.J. "Experiencia PBL en una Asignatura básica de Electrónica", *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, Vol. 7, No. 4, pp. 223-230, 2012.
- [8] <http://www.dinel.us.es/docencia/index.php?c=3&d=1&titulacion=11&asignatura=61>.
- [9] John W. Thomas. A review of research on project-based learning. Technical report, The Autodesk Foundation, San Rafael, California 94903, 2000.



Manuel Perales es Ingeniero Industrial (1995) y Dr. Ingeniero Industrial (2002) por la Universidad de Sevilla. En 1996 ingresa como investigador en el Grupo de Tecnología Electrónica de la Universidad de Sevilla, y posteriormente en 1998 como docente en el Dpto. de Ingeniería Electrónica, donde continúa en la actualidad como Profesor Contratado Doctor.



Federico Barrero (M'04–SM'05) es Ingeniero Industrial (1992) y Dr. Ingeniero Industrial (1998) por la Universidad de Sevilla. En 1992 ingresa como docente en el Dpto. de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Sevilla, donde continúa en la actualidad como Profesor Titular, acreditado para Catedrático desde 2012.



Sergio Luis Toral (M'01–SM'06) es Ingeniero Industrial (1995) y Dr. Ingeniero Industrial (1999) por la Universidad de Sevilla. En 1995 ingresa como docente en el Dpto. de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Sevilla, donde continúa en la actualidad como Catedrático desde 2012.

Experiência de Aprendizagem Baseada em Projetos no Ensino de Robótica

José Alberto Naves Cocota Júnior, *Member, IEEE*, Thiago D'Angelo, e Paulo Marcos de Barros Monteiro

Title—Project-Based Learning Experience in Education on Robotics.

Abstract—With the teaching of robotics it is possible to explore the multidisciplinary formation of the engineering student. The use of an appropriate learning methodology enables the development of transversal skills in this educational formation. In this paper we discuss a new experience with Project-Based Learning (PBL) involving the design and development of a low-cost robot manipulator with six degrees of freedom, to motivate the undergraduate students studying Robotics Elements discipline in Control and Automation Engineering and Mechanical Engineering courses of the Escola de Minas at the Universidade Federal de Ouro Preto, carried out during two years (from 2012 to 2014). The key learning objectives and the tools used to implement this project will be detailed. Evaluation results show that this project was effective in engaging the students.

Index Terms—educational robots, active learning, CAE.

I. INTRODUÇÃO

NO cenário de ensino superior Europeu, a educação tradicional de aprendizagem passiva tem perdido a cada dia espaço para os métodos de aprendizagem ativa, nos quais o elemento central no aprendizado deixa de ser o docente e passa a ser o aluno [1] e [2]. No Brasil, as experiências mais remotas de aprendizagem ativa datam de 1876, ano de fundação da Escola de Minas pelo professor Claude Henri Gorceix, que propôs a pedagogia de aliar a teoria com o saber prático no ensino de engenharia [3].

Dentre os métodos de aprendizagem ativa utilizados no ensino de engenharia, pode-se destacar os métodos de aprendizagem baseada em problemas e de aprendizagem baseada em projeto, que possuem nomes muito semelhantes e são referenciados na literatura pelo mesmo acrônimo em inglês (PBL). A aprendizagem baseada em problemas tem como base introduzir um problema real de engenharia para os alunos, geralmente dentro de um cenário. Em um primeiro estágio os estudantes são convidados a definir o problema e, em seguida, são orientados a apresentar soluções alternativas por meio de uma tempestade de ideias em seções estruturadas de aprendizagem baseada em

problemas, de forma que venham a convergir em uma solução a partir da obtenção de novas informações e na condução de análise e/ou experimentação. Na aprendizagem baseada em projeto, um problema real também é dado aos alunos, mas com um cenário reduzido, em que são definidas as metas de um projeto que devem ser cumpridas dentro de limitações técnicas e econômicas [4].

Neste contexto, pode-se citar que uma dificuldade no ensino de robótica é associar os conceitos teóricos a experimentos tangíveis, em função da natureza multidisciplinar deste campo. Compreender a complexidade dos robôs e sua aplicação requer conhecimento em engenharia elétrica, engenharia mecânica, engenharia industrial e de sistemas, ciência da computação, economia e matemática [5]. Fazer com que a associação entre teoria e prática torne-se efetiva requer uma maneira pragmática de aplicação do material tradicional de robótica em trabalhos de laboratórios motivadores [6].

Outro fator que dificulta explorar o conteúdo teórico de robótica por meio de práticas com os alunos é que existem poucas empresas que desenvolvem robôs manipuladores para cursos de robótica fixa. Além disso, a maioria dessas plataformas são muito caras ou têm uma arquitetura de *hardware* e de *software* fechada. A Quanser possui em seu catálogo quatro modelos de robôs, sendo dois em cadeia cinemática fechada (o Hexapod e o robô planar de 2 graus de liberdade – GDL) e dois em cadeia cinemática aberta (OmniBundle e CRS CataLyst-5 da Thermo Fisher Scientific Inc.) [7]. Outro robô conhecido na área acadêmica é o ED-7220, de 5 GDL, fabricado pela ED Corporation [8].

Para superar o alto custo destes equipamentos para as universidades, bem como as restrições impostas pela arquitetura fechada, foi proposto aos alunos de graduação o desenvolvimento de um robô manipulador de baixo custo, com 4 GDL, na disciplina de Elementos de Robótica [9]. Neste trabalho foi possível explorar os conteúdos da disciplina, e.g., o estudo das forças envolvidas; a determinação da cinemática direta, cinemática inversa de posição e do espaço de trabalho do robô; e o planejamento de trajetória pelo método de aprendizagem por movimento ponto-a-ponto. Posteriormente, foi desenvolvido um robô manipulador com 6 GDL, que possibilitou explorar com os alunos, além dos tópicos supracitados, o controle em malha aberta da velocidade angular de cada junta, a implementação da cinemática inversa de orientação, e a identificação da precisão e repetibilidade do robô [10].

Neste artigo apresenta-se o aprimoramento dos trabalhos anteriores [9] e [10], destacando-se a melhoria da interface com o usuário em MATLAB®, e o controle cinemático de

Os docentes José Alberto Naves Cocota Júnior e Paulo Marcos de Barros Monteiro encontram-se no Departamento de Engenharia de Controle e Automação (DECAT) da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Brasil (e-mails: {cocota,paulo}@em.ufop.br).

Thiago D'Angelo é Engenheiro de Controle e Automação, graduado pela Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Brasil (e-mail: thiago.d.angelo@hotmail.com).

posição para trajetórias. Será explicado como esses projetos têm contribuído na motivação dos alunos, no desenvolvimento dos trabalhos de fim de curso, bem como, na melhoria das competências transversais dos discentes, a partir dos resultados da avaliação dessa experiência pelos alunos de graduação em Engenharia de Controle e Automação e Engenharia Mecânica da Escola de Minas.

II. OBJETIVOS

O principal objetivo de inserir a metodologia de aprendizagem baseada em projeto (PBL) na disciplina de Elementos de Robótica da Escola de Minas foi motivar os alunos por meio projeto e implementação de um robô manipulador de baixo custo que permitisse demonstrar conceitos básicos de robótica, tais como: cinemática direta, cinemática inversa, cinemática diferencial, espaço de trabalho, singularidades, planejamento de trajetória, controle cinemático, e engenharia auxiliada por computador (CAE). Os outros objetivos específicos foram os seguintes:

- Desenvolver trabalhos interdisciplinares, promovendo a integração de conceitos das áreas de matemática, física, eletrônica, programação, mecânica e controle.
- Desenvolver competências transversais, tais como: análise crítica, aprendizagem autônoma, resolução de problemas, trabalho em equipe, gestão de conflitos, tomada de decisão, avaliação, e planejamento.
- Motivar o estudo teórico dos conteúdos da disciplina.
- Efetuar um levantamento das dificuldades dos alunos para identificar as áreas do curso que devem ser aprimoradas.
- Aprimorar o conhecimento técnico dos alunos, de modo que possa contribuir no desenvolvimento do trabalho final de curso do discente.
- Contribuir na redução da evasão do curso de Engenharia de Controle e Automação da Escola de Minas.

Acredita-se que esses objetivos podem ser alcançados por meio de uma experiência de graduação baseada em projeto-execução-teste [11].

III. DISCIPLINA DE ELEMENTOS DE ROBÓTICA

A disciplina de Elementos de Robótica possui um conteúdo amplo e uma carga horária limitada a 60 horas/semestre, sendo obrigatória para os estudantes de Engenharia de Controle e Automação, e eletiva para os estudantes de Engenharia Mecânica. O conteúdo da disciplina foi distribuído de forma a cobrir os aspectos mais importantes de robótica ao longo de um semestre, conforme apresentado na Tabela I.

Esta disciplina é oferecida no oitavo período do curso de Engenharia de Controle e Automação, sendo para a maioria dos estudantes o primeiro contato com a robótica.

O trabalho proposto aos alunos ajudou no aprendizado da disciplina, suprimindo o tempo limitado do curso, facilitando a fixação de conceitos fundamentais de robótica relacionados a cinemática direta e inversa, cinemática diferencial, espaço de trabalho, geração de trajetória, controle ponto-a-ponto,

controle cinemático de trajetória, e ao ensaio de precisão e repetibilidade do robô manipulador. Assim, boa parte do conteúdo da disciplina foi abordado no projeto que foi proposto aos estudantes de graduação.

TABELA I.
CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

Semana	Conteúdo
1	Introdução à disciplina e apresentação da proposta de trabalho aos alunos
2-3	Descrições espaciais de um corpo rígido
4-6	Cinemática direta
7-8	Cinemática inversa
9	Primeira avaliação teórica e apresentação dos trabalhos
10-11	Cinemática diferencial
12-13	Dinâmica de robôs manipuladores
14	Geração de trajetórias
15-16	Controle de robôs manipuladores
17	Aplicações com inteligência artificial
18	Segunda avaliação teórica e apresentação dos trabalhos
19	Avaliação especial

Ao todo, 107 estudantes cursaram a disciplina no período do segundo semestre de 2012 ao primeiro semestre de 2014. Desses, 103 estudantes (96%) concluíram com êxito a disciplina. Convém destacar que o alto índice de aprovação também está relacionado com a prorrogação da segunda apresentação dos trabalhos em até duas semanas, já que a maioria dos trabalhos foram entregues fora do prazo. Outra questão importante a ser registrada, que do total de alunos que cursaram a disciplina, apenas 65 desenvolveram o robô manipulador, sendo que os demais estudantes desenvolveram outros trabalhos que foram propostos na disciplina a partir do segundo semestre de 2013, e.g., desenvolvimento de uma mesa X-Y, do pêndulo invertido do tipo carro e do Segway.

IV. METODOLOGIA

Para a execução deste projeto com os alunos de graduação foi utilizado a metodologia de aprendizagem baseada em projeto (PBL), na qual o aprendizado é centrado no aluno, que deixa de ser o receptor passivo, para ser o principal responsável pelo seu aprendizado.

As atividades relacionadas ao projeto e a implementação do robô foram realizadas durante quatro semestres por estudantes de graduação da disciplina de Elementos de Robótica da Escola de Minas (UFOP), que iniciaram as atividades no final de 2012 com o trabalho [10]. Os alunos de Engenharia Mecânica realizaram atividades relacionadas ao projeto dos mecanismos que compõe o robô, ensaios para caracterização dos materiais utilizados no robô, bem como a análise estática do robô quando submetido a esforços. As atividades dos estudantes de Engenharia de Controle e Automação, foram voltadas para a eletrônica, programação, modelagem cinemática do robô, simulação e implementação do controle cinemático de posição.

Ao longo de dois anos em que foi ofertada a disciplina de Elementos de Robótica com o uso da metodologia PBL, o sistema de avaliação da disciplina passou por mudanças, com o objetivo de fomentar maior participação dos estudantes no projeto, tendo se consolidado no seguinte formato: 2 pontos para a primeira avaliação teórica, 2 pontos para a primeira etapa do trabalho, 2 pontos para a segunda avaliação teórica, e 4 pontos para a segunda etapa do

trabalho, totalizando 10 pontos no semestre. O grande triunfo dessa distribuição de notas foi a valorização da segunda etapa do trabalho. Assim, como a nota mínima para aprovação na disciplina são 6 pontos, os estudantes, em sua grande maioria, necessitam consolidar o projeto para serem aprovados.

V. PROJETO

Para estimular a criatividade dos alunos, foi dada a liberdade de escolha dos materiais, dos componentes e da linguagem de programação a serem utilizados no desenvolvimento do robô.

A. Projeto Mecânico

Ao longo de quatro semestres, foram desenvolvidas quatro estruturas para o robô manipulador. A primeira versão do robô foi confeccionada com placas de PVC rígido com espessura de 2 [mm] (Fig. 1). Na fase de projeto foram realizados ensaios de tração, compressão, flexão e torção de PVC, para a caracterização do material empregado. Os dados obtidos nesses ensaios subsidiaram a análise estática do robô quando submetido a uma carga em seu último elo. Na Fig. 2 apresenta-se o modelo em CAD do braço do robô que foi utilizado na análise CAE por meio do software SolidWorks (Fig. 3).

Na fase de análise CAE, observou-se que os elementos sujeitos a maiores esforços eram os eixos de levantamento do braço (Fig. 4) e de giro do corpo do robô (Fig. 5).

No entanto, a estrutura em PVC não se demonstrou satisfatória durante o uso do robô. Com frequência, ocorreram fissuras nas uniões das placas que formavam os elos do robô.

Um segundo protótipo foi confeccionado (Fig. 6), com o uso do Depron. Esse material é comumente utilizado em aeromodelos e apresenta a densidade nominal de 40

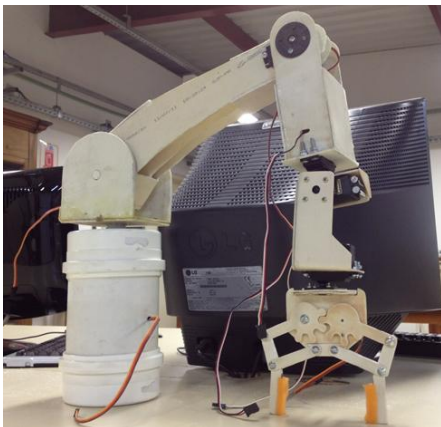


Fig. 1. Primeiro protótipo do robô com o punho e a garra em PVC.

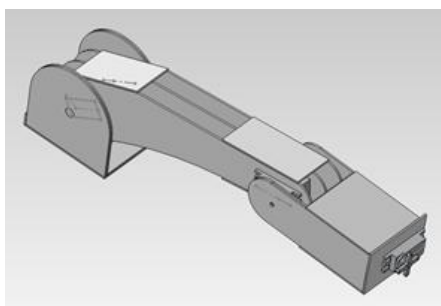


Fig. 2. Modelo em CAD do robô em PVC.

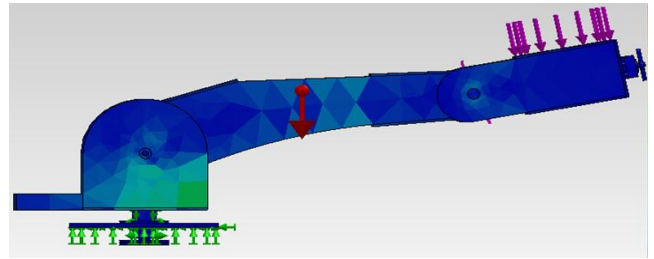


Fig. 3. Análise CAE do robô em PVC.

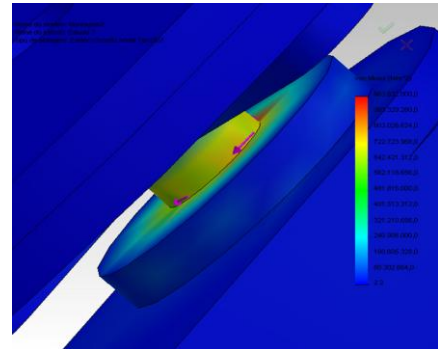


Fig. 4. Eixo de levantamento do braço do robô.

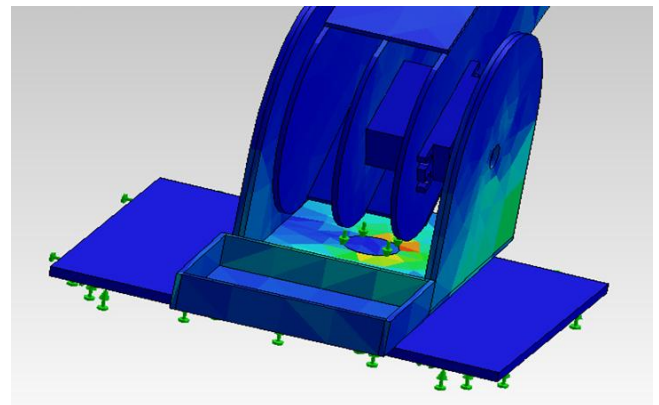


Fig. 5. Eixo de giro do corpo do robô.

[kg/m^3]. Para a análise CAE foi elaborado um novo modelo em CAD (Fig. 7). Nessa análise, também foram observados que os elementos sujeitos a maiores tensões eram os eixos de levantamento do braço e de giro do corpo do robô.

A estrutura em Depron possibilitou utilizar servomotores de menor torque para o levantamento do braço e giro do corpo, em comparação com a estrutura anterior em PVC. Durante o uso do robô, observou-se um rápido desgaste nos pontos de apoio do levantamento do braço, como foi previsto na análise CAE.

Para solucionar esse problema, o elo do giro do corpo em Depron foi substituído por um elo em MDF com espessura de 5 [mm] (Fig. 8). Além disso, reduziu-se a dimensão e o peso do punho esférico ao substituir a estrutura anterior, composta por Depron e três servomotores Futaba S3003, pelo kit SPT50 da ServoCity e três servomotores HS-5055MG [12]. Essa última estrutura também apresentou melhorias na junta de união do elo do braço com o antebraço, com a substituição de uma bucha por um rolamento para o apoio do eixo dessa junta. Outra alteração de destaque foi a substituição do servomotor responsável pelo levantamento do braço do modelo TowerPro MG995

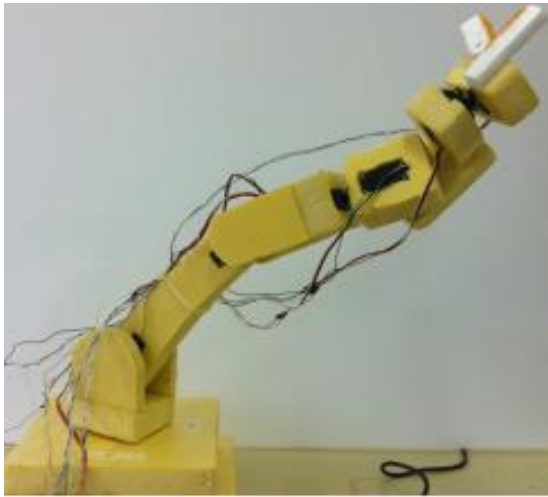


Fig. 6. Segundo protótipo do robô com o punho e a garra em Depron (versão 2012).

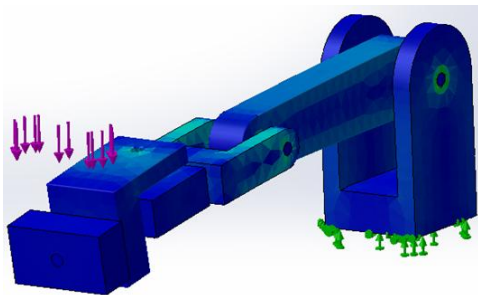


Fig. 7. Análise CAE do robô em Depron.

para HD-1501MG, que permitiu aumentar o torque dessa junta de 13 [kg/cm] para 17 [kg/cm].

A versão de 2014 do protótipo do robô contou com melhorias significativas no projeto mecânico, e.g., desacoplamento da carga sobre o eixo do servomotor do giro do corpo, que foi efetuada por meio do uso de um rolamento e de um acoplamento elástico, reconstrução do elo do antebraço por elementos e acoplamentos que possibilitassem a desmontagem do robô, a substituição do servomotor TowerPro MG995 responsável pelo giro do corpo pelo modelo HD-1501MG, e dos servomotores HS-5055MG do punho esférico pelos servomotores TowerPro MG90S.

B. Hardware e Softwares

Para o acionamento das juntas do robô e a leitura de suas respectivas posições angulares foi utilizado a plataforma Arduino MEGA 2560. As posições angulares de cada junta do robô foram amostradas por meio dos sinais analógicos dos potenciômetros dos servomotores. Os alunos desenvolveram um protocolo próprio de comunicação que possibilitou a troca de dados entre a plataforma Arduino e o microcomputador pela porta USB.

O protocolo possibilitou ao usuário, por uma interface em MATLAB, enviar à plataforma Arduino a referência da posição angular e a velocidade angular de cada junta durante uma trajetória, bem como permitiu a leitura da posição angular e a velocidade angular média de cada junta. A identificação da velocidade média de cada junta foi necessária para o projeto de controle cinemático do robô.

A interface gráfica do usuário (GUI) em MATLAB permitiu realizar práticas de cinemática direta, cinemática inversa e controle por ponto-a-ponto (Fig. 10). A GUI foi



Fig. 8. Terceiro protótipo do robô em MDF e Depron (versão 2013).

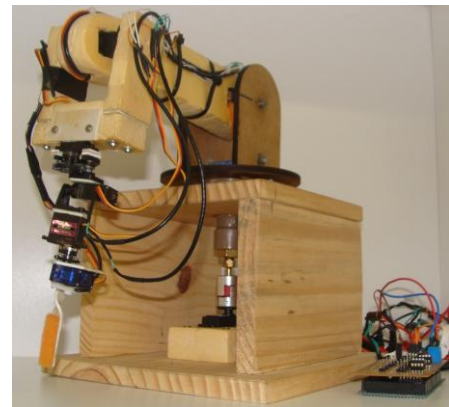


Fig. 9. Quarto protótipo do robô em MDF, Depron e madeira (versão 2014).

desenvolvida por meio do Toolbox GUIDE do MATLAB, e utilizou-se o Toolbox de Robótica [13] para plotar a trajetória do robô durante o movimento do protótipo. A arquitetura do software do microcomputador, bem como suas interfaces de comunicação com a plataforma Arduino MEGA 2560 está representada na Fig. 11.

Para as práticas de controle cinemático de posição, o software de controle foi embarcado na plataforma Arduino, uma vez que se observou que o controle cinemático pelo MATLAB por meio de um microcomputador não seria possível, dado que o tempo para comunicação serial entre o Arduino e o MATLAB era maior do que o intervalo de amostragem estipulado. Assim, durante as práticas de

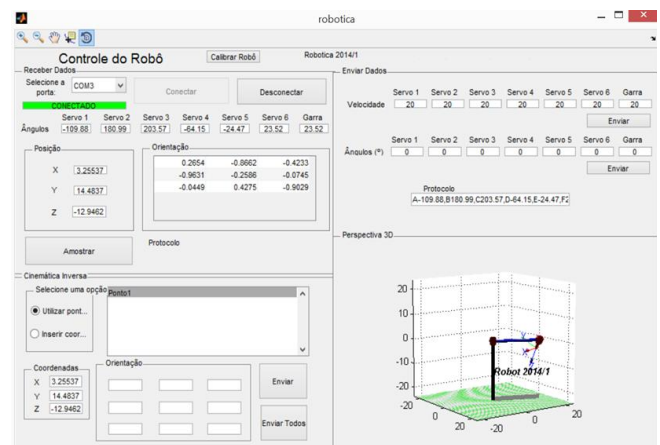


Fig. 10. GUI em MATLAB.

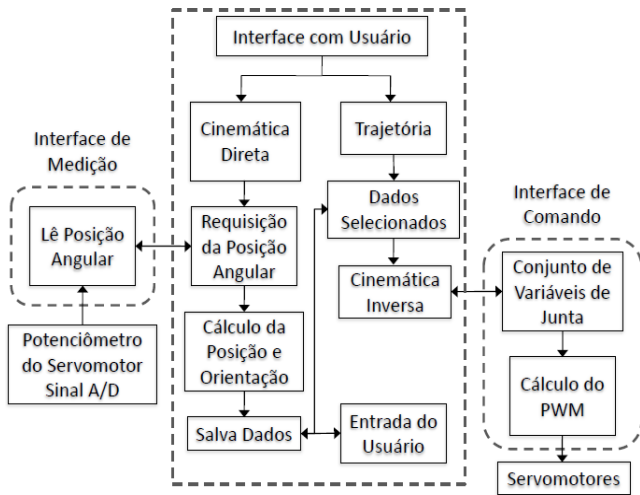


Fig. 11. A arquitetura do software.

controle cinemático as posições angulares eram armazenadas na memória do Arduino, sendo transmitidas ao microcomputador após a conclusão da trajetória. Esses resultados experimentais foram comparados com os resultados de simulação do controle cinemático por *feedforward*.

C. Espaço de Trabalho

A determinação do espaço de trabalho foi necessária para a escolha das trajetórias a serem realizadas pelo robô. Com base nos limites máximo e mínimo de cada junta da estrutura do robô da Fig. 9 (ver Tab. II) e nas dimensões dos elos do robô, os alunos implementaram um script em MATLAB para plotar os gráficos da visão lateral (Fig. 12) e visão superior (Fig. 13) do espaço de trabalho. Eles posicionaram o robô em diferentes configurações, nas quais se alterava uma variável de junta por vez, gerando trajetórias que representavam o volume total coberto pelo efetuator, de acordo com o algoritmo apresentado para a projeção do espaço de trabalho do robô planar de dois elos em [14].

D. Controle Cinemático

Nesse trabalho foi implementado pelos alunos uma estrutura de controle cinemático de posição por *feedforward*. O controle cinemático de orientação não foi implementado, por questão de simplificação. O desenvolvimento do programa para o controle cinemático foi realizado em duas etapas: (1) no primeiro semestre de 2013 foi proposto aos alunos o projeto de controle cinemático de uma trajetória planar, no qual apenas os elos do braço e do antebraço se movimentariam; (2) com base no conhecimento adquirido pelos discentes, no segundo semestre de 2013 foi proposto aos alunos o projeto de controle cinemático para uma trajetória no espaço, movimentando assim as três primeiras juntas do robô.

O controle cinemático de posição resulta em uma malha de controle de velocidades em nível de juntas (Fig. 14), onde u_i é o sinal de controle de velocidade aplicado ao motor da i -ésima junta. O motor, por sua vez, tem a ação de um integrador, no qual dada uma entrada em velocidade angular, apresenta em sua saída a posição angular da junta associada ao motor. Sendo K_p uma matriz positiva definida e o ponto de equilíbrio $e = 0$ assintoticamente estável.

TABELA II. LIMITES DAS JUNTAS DO ROBÔ

Junta	ÂnguloMínimo	ÂnguloMáximo
θ_1	-90°	$+90^\circ$
θ_2	0°	165°
θ_3	-25°	$+90^\circ$
θ_4	-90°	$+90^\circ$
θ_5	-55°	$+90^\circ$
θ_6	-90°	$+90^\circ$

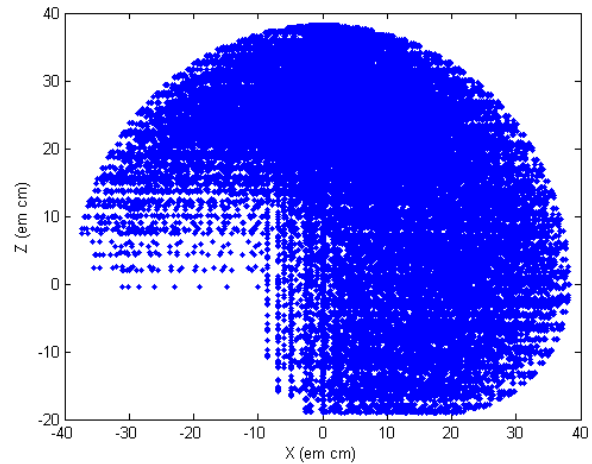


Fig. 12. Vista lateral do espaço de trabalho.

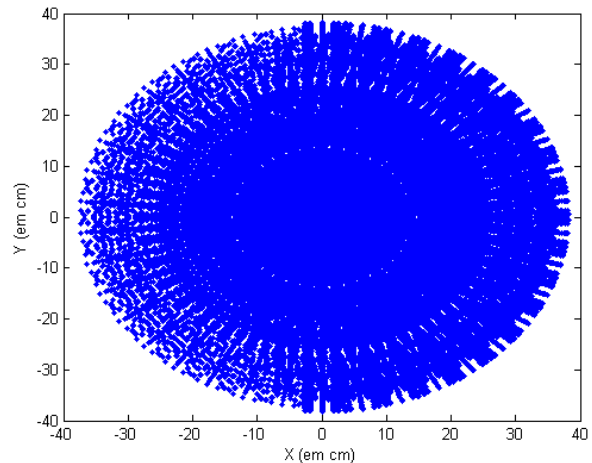


Fig. 13. Vista superior do espaço de trabalho.

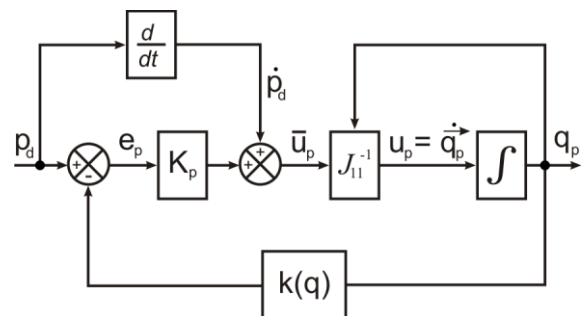


Fig. 14. Diagrama de blocos para o controle cinemático de posição do robô.

A implementação de uma estrutura de controle cinemático foi possível, pois pode-se desprezar a dinâmica do manipulador. Esta hipótese pode ser realizada, uma vez que as juntas, que são acionadas por servomotores, apresentam elevados fatores de redução nas engrenagens, bem como foram utilizadas baixas velocidades angulares durante a realização das trajetórias.

VI. RESULTADOS

Nesta seção apresenta-se os resultados experimentais que foram alcançados com a plataforma robótica que foi desenvolvida pelos alunos, bem como divulgam-se os resultados da avaliação pelos discentes do uso da metodologia de PBL na disciplina Elementos de Robótica.

A. Resultados Experimentais

Para a análise de precisão e repetibilidade da plataforma de robótica que foi desenvolvida, foram realizados dez ensaios de posicionamento do robô para o mesmo ponto e orientação no espaço. Para a realização dessa tarefa utilizou-se a estrutura de controle por ponto-a-ponto. O robô do presente trabalho apresentou melhor repetibilidade e precisão (Fig. 15 e 16) em relação aos trabalhos anteriores [10] e [15].

Embora o ponto programado para a avaliação da repetibilidade e precisão dos robôs não tenha sido o mesmo, notou-se uma significativa melhora na repetibilidade do robô, quando observou-se a redução na dispersão dos pontos que foram alcançados pelo robô nos ensaios de controle por ponto-a-ponto (Fig. 15). Além disso, o robô do presente trabalho apresentou a precisão de 0,26 [cm] contra as precisões de 1,09 [cm] do robô de 2013, e de 3,00 [cm] do robô de 2012 (Fig. 16). Esses resultados foram alcançados, após efetuado melhorias no projeto mecânico do robô, conforme descrito na seção do Projeto Mecânico.

Os resultados experimentais e de simulação para a execução de trajetória linear e de trajetória circular no

espaço estão apresentados nas Figuras 17 e 18. As trajetórias foram divididas em 80 pontos, com intervalo de amostragem de 30 [ms]. As velocidades angulares das juntas ficaram abaixo de 80°/s na simulação do controle cinemático. O erro médio dos resultados experimentais para a trajetória retilínea foi de 0,79[cm], e para a trajetória circular foi de 0,99[cm]. A matriz K_p utilizada, possuía uma diagonal com o ganho dado por 10.

B. Resultados da Avaliação da Metodologia do Curso pelos Discentes

O principal resultado deste trabalho foi a motivação dos alunos, uma vez que o desenvolvimento do robô manipulador contemplou atividades interdisciplinares na área de formação dos discentes, contribuindo para a fixação do conteúdo teórico ministrado em sala de aula. Para a avaliação da metodologia proposta à disciplina e de suas possíveis contribuições, uma pesquisa com 8 questões foi respondida por 43 dos 65 alunos que desenvolveram o robô na disciplina de Elementos de Robótica no período de 2012 a 2014. O questionário foi respondido voluntariamente pelos discentes, e de forma anônima.

Quando questionou-se aos alunos se participaram ativamente na execução do trabalho, a maioria (93%) afirmou que sim. De acordo com os alunos, as tarefas mais difíceis estavam relacionadas à programação (34,9%) e ao controle (32,6%), seguida pela eletrônica (18,6%). Esse resultado nos sinalizou que é necessário o aprimoramento das disciplinas que abordam esses conteúdos na matriz

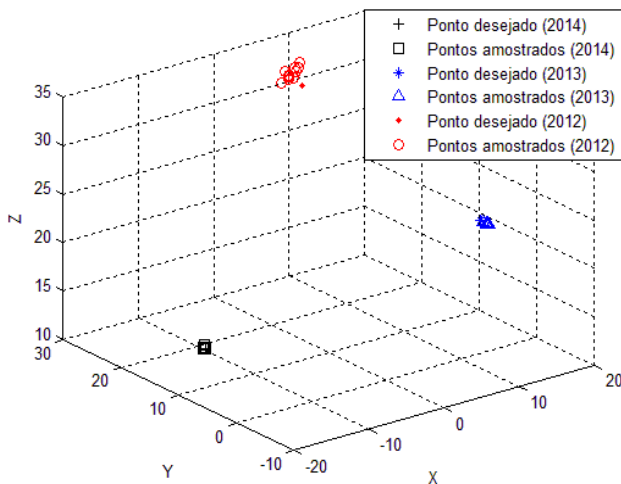


Fig. 15. Repetibilidade do robô para as versões de 2012 a 2014.

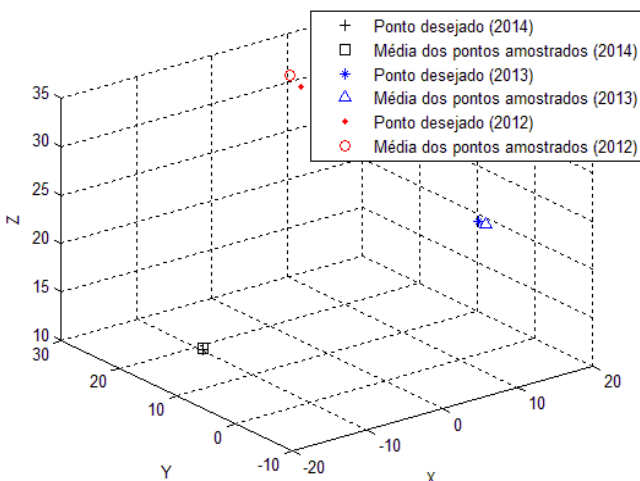


Fig. 16. Precisão do robô para as versões de 2012 a 2014.

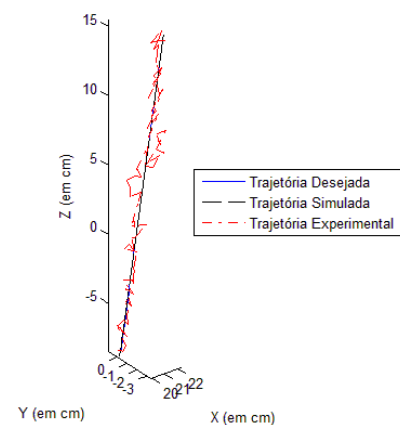


Fig. 17. Resultado experimental e de simulação para controle cinemático de posição para a trajetória linear.

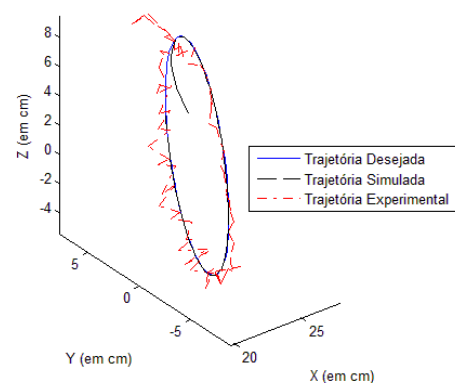


Fig. 18. Resultado experimental e de simulação para controle cinemático de posição para a trajetória circular.

curricular. Além disso, a maioria dos discentes (67,3%) responderam que o período para a execução dos trabalhos foi adequado, embora que 21,1% dos alunos tenham discordado dessa afirmativa. As demais respostas ao questionário estão agrupadas na Tabela III.

No formulário do questionário também havia um campo disponível para eventuais comentários. Alguns discentes relataram que foi a primeira experiência prática de controle, outros sugeriram que a metodologia de aprendizagem ativa fosse adotada nas demais disciplinas do curso, em especial nas disciplinas de teoria de controle.

VII. CONCLUSÕES

Neste trabalho relatamos a experiência do emprego da metodologia de aprendizagem baseada em projetos (PBL) para o desenvolvimento de um robô antropomórfico com punho esférico de baixo custo na disciplina de Elementos de Robótica. A execução desse trabalho possibilitou explorar conceitos básicos de robótica com os alunos de graduação, e.g., cinemática direta, cinemática inversa, programação de trajetória por ponto-a-ponto, controle cinemático, precisão e repetibilidade de manipulador. O conteúdo teórico da disciplina foi explorado em conjunto com o projeto que foi desenvolvido ao longo de quatro semestres. Os conceitos básicos relacionados ao controle cinemático, e.g., a análise de singularidades por meio do Jacobiano no planejamento de uma trajetória a ser efetuada pelo robô, e a estrutura de controle por *feedforward*, foram explorados pelos discentes.

Os alunos se sentiram motivados com a experiência que tiveram. Além disso, a maioria dos discentes (95,3%) acreditam que o projeto contribuiu no desenvolvimento de competências transversais. Este resultado pode ser explicado pelo conteúdo multidisciplinar que foi explorado pelos grupos de estudantes que desenvolveram o trabalho ao longo de quatro semestres. Cada grupo desenvolveu atividades em determinadas áreas do conhecimento, e necessitaram trabalhar de forma conjunta, com o intercâmbio do conhecimento, para concluir as metas que foram estabelecidas em cada semestre. Este cenário foi semelhante ao do mercado de trabalho, o que possibilitou desenvolver

TABELA III
RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO

Respostas	A%	B%	C%	D%	E%
A execução do projeto contribuiu em minha motivação para a conclusão do curso.	48,8	51,2	0	0	0
O trabalho possui vínculo com o conteúdo teórico da disciplina.	41,9	39,5	13,9	4,7	0
A execução do trabalho me motivou no estudo da disciplina.	44,2	46,5	9,3	0	0
Eu recomendaria a outros discentes cursar a disciplina com a metodologia adotada.	46,5	48,7	2,4	2,4	0
O período para a execução dos trabalhos foi adequado.	32,5	34,8	11,6	21,1	0
O trabalho contribuiu no desenvolvimento de habilidades para minha formação profissional.	65,1	30,2	4,7	0	0

A = Concordo Plenamente, B = Concordo, C = Neutro, D = Discordo, e E = Discordo Totalmente

competências transversais com os estudantes. Em relação às contribuições da experiência com o projeto no trabalho de fim de curso, observou-se que esse indicador não era adequado, uma vez que a disciplina de Elementos de Robótica era ofertada no período inicial das atividades do trabalho de fim de curso. Dessa forma, a partir do primeiro semestre de 2014, a pergunta referente às contribuições da experiência com o projeto no trabalho de fim de curso foi excluída da pesquisa realizada com os estudantes.

Outro resultado relevante do uso da metodologia PBL na disciplina de Elementos de Robótica, em conjunto com outras ações que foram desenvolvidas, foi a contribuição no combate à evasão do curso de Engenharia de Controle e Automação. No segundo semestre de 2012 existiam 23 vagas ociosas, o que representava 6,4% do total de vagas do curso, e ao término do 1º semestre de 2014 não existiam vagas ociosas no curso de Engenharia de Controle e Automação da Escola de Minas.

Acredita-se que os objetivos foram alcançados e que o sucesso foi possível graças ao envolvimento dos alunos. Espera-se que essas experiências possam ser úteis a outros grupos de estudantes de graduação.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a todos os alunos que se dedicaram ao desenvolvimento do projeto, bem como à Fundação Gorceix que apoiou este projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Perales, F. Barrero, S. Toral, "Análisis de una Experiencia PBL en una Asignatura Troncal de Electrónica General," *IEEE-TAEE*, Jun. 2014, pp. 377-382.
- [2] R. M.Peris, M. A.Fillo, L. G.Sánchez, "Descubriendo la electrónica a los ingenieros aeroespaciales," *IEEE-TAEE*, Jun. 2014, pp. 363-369.
- [3] P. Lemos, A História da Escola de Minas. Ouro Preto: Editora Graphar, 2nd ed., 2013.
- [4] C. Guzelis, "Problem based learning versus project based learning in electrical-electronics engineering programs," in *IEEE-ELECO*, Dec. 2011, pp. II-40.
- [5] M. W. Spong, S. Hutchinson, and M. Vidyasagar, *Robot Modeling and Control*. USA: John Wiley & Sons, 2005.
- [6] R. J. Wood, "Robotic manipulation using an open-architecture industrial arm: A pedagogical overview," *IEEE Robot. Autom. Mag.*, pp. 17-18, Sep. 2008.
- [7] Quanser Consulting Inc. (2014, March). *Mechatronics Controls Collection* [Online]. Available: <http://www.quanser.com/>.
- [8] ED Corporation(2014, March). *Educational Trainer* [Online]. Available: <http://www.ed.co.kr/>.
- [9] J. A. N. J. Cocota, H. S. Fujita, and I. J. Silva, "A low-cost robot manipulator for education," *IEEE-TAEE*, Jun. 2012, pp. 164-169.
- [10] J. A. N. J. Cocota, R. C. Barbosa, A. D. Moreira, and V. Lage, "Desenvolvimento de um robô antropomórfico com punho esférico para práticas de robótica com alunos de graduação," *SBAI/DINCON*, Oct. 2013.
- [11] C. L. R. McGhan, and E. M. Atkins, "A Low-Cost Manipulator for Space Research and Undergraduate Engineering Education," *AIAA Infotech@Aerospace*, Apr. 2010, pp. 1-17.
- [12] ServoCity(2014, March).Pan & Tilt Kits [Online]. Available: <http://www.servocity.com/>.
- [13] P. Corke. (2013, Feb.). *Robotics Toolbox* [Online]. Available: <http://www.petercorke.com/>
- [14] L. Siavico and B. Siciliano, *Modelling and Control of Robot Manipulators*. Great Britain: Springer, 2000.
- [15] J. A. N. J. Cocota, T. D'Angelo, P. M. B. Monteiro, and P. H. V. Magalhães, "Projeto e Implementação de um Robô Manipulador para a Educação", *IEEE-TAEE*, Jun. 2014, pp. 29-35.



José Alberto Naves Cocota Júnior (M'13) possui graduação em Engenharia de Controle e Automação (2005) pela Escola de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto e mestrado em Engenharia Elétrica (2009), na área de Controle, Automação e Robótica pela COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tem experiência na área de Engenharia de Controle e Automação, com ênfase em controle de processos contínuos e robótica. Os trabalhos realizados são focados

em modelagem, controle de processos, robótica e instrumentação. Cocota foi premiado com o primeiro lugar na classificação de trabalhos científicos no 4º Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia de Controle e Automação - ENECA (Brasil, 2004).



Thiago D'Angelo é graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade Federal de Ouro Preto (2014), e atualmente cursa mestrado no PPGEE da UFMG na área de Controle, Automação e Robótica.



Paulo Marcos de Barros Monteiro é Engenheiro Eletrônico pela PUC MG (1978), mestre em engenharia mecânica na área de simulação de processos pela UFU (1994) e doutor em engenharia agrícola na área de controle de processos agrícolas pela UFV (2002). É professor da Escola de Minas da UFOP desde 1979 e tem experiência nas áreas de automação e controle de processos, projetos elétricos e de iluminação.

Experimentación Online en la Plataforma VISIR con Convertidores CC/CC

Mohamed Tawfik, *Member, IEEE*, Santiago Monteso, Félix García Loro, *Member, IEEE*, Pablo Losada, Juan Antonio-Barba, Elena Ruiz, Elio San Cristóbal, *Member, IEEE*, Gabriel Díaz, *Senior Member, IEEE*, Juan Peire, *Senior Member, IEEE*, Manuel Castro, *Fellow, IEEE*

Title— Online Experimentation with DC/DC Converters Using the VISIR Platform.

Abstract—This article shows the development of two practical experimental exercises that are the top of the state-of-the-art platform for setup, wiring and measuring electronic circuits online, Virtual Instrument Systems in Reality (VISIR): 1) non-isolated linear regulated DC/DC Converter; and 2) non-isolated switching regulated DC/DC converter. The development of the two experiments is explained along with the necessary configuration to the core-platform VISIR. This is preceded by a brief overview on VISIR including its hardware and software components. Finally, the remote experimental results obtained are presented.

Index Terms— industrial electronics; remote laboratory; DC/DC converter; practical competences; VISIR.

I. INTRODUCCIÓN

LA época reciente del desarrollo en laboratorios remotos [1-3] para electrónica analógica ha concentrado la mayoría de esfuerzos dirigidos a los planes de estudio de grado en relación con cuestiones tales como medición de parámetros, características E/S y la adquisición de conocimientos básicos en teoría de circuitos. En gran medida, muchas de este tipo de soluciones han alcanzado con éxito sus objetivos.

Por ejemplo, en [4], se desarrolló un laboratorio remoto para el estudio de las características en corriente continua de diferentes tipos de diodos (emisores de luz, silicio y germanio). En [5], se desarrolló un laboratorio remoto para estudiar las características de E/S de filtros elimina-banda o filtros T-notch, transistores PNP y NPN y amplificadores de clase A y B, filtros RC y amplificadores operacionales (sumador y restador). En [6] se desarrolló un laboratorio remoto para el estudio de características de E/S de un circuito amplificador de emisor común BJT. En [7] se desarrolló un laboratorio remoto para el estudio de las características de E/S del amplificador operacional no

F. M. Tawfik, S. Monteso, F. Garcia-Loro, P. Losada, J. Antonio-Barba, E. San Cristóbal, G. Díaz, J. Peire, y M. Castro pertenecen al Departamento de Eléctrica, Electrónica y Control Industrial (DIEEC), Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII), Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Calle Juan del Rosal, 12, Madrid 28040, España. E-mail: {mtawfik, smonteso, fgarcialoro, plosada, jabarba, gdiaz, jpeire, mcastro}@ieec.uned.es.

E. Ruiz pertenece al Departamento de Ingeniería de Software y Sistemas Informáticos (DSSI), Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Calle Juan del Rosal, 16, Madrid 28040, España. E-mail: elena@issi.uned.es.

inversor, integrador y derivador, y rectificadores de media y onda completa. Ninguna de las soluciones existentes, sin embargo, va más allá de los planes de estudios de grado o contempla temas relacionados con la industria. Por lo tanto, se ha prestado poca atención a los componentes y circuitos avanzados de electrónica, por lo que los laboratorios remotos para la comprensión de su comportamiento no han sido reportados. La razón es doble: (1) la falta de interacción entre el mundo académico y la industria, así como la falta de experiencia industrial en el perfil de los profesores académicos; y (2) la complejidad de la implementación de este tipo de experimentos en un entorno remoto, ya que requieren un alto nivel de manipulación y precisión.

En respuesta a estas necesidades, en este artículo se muestra el desarrollo de este tipo de experimentación remota, la primera de su clase. Los experimentos son: 1) Convertidor CC/CC lineal regulado; y 2) Convertidor CC/CC conmutado regulado. Los experimentos están orientados al mercado laboral y a las necesidades industriales y permiten: el estudio del comportamiento de componentes electrónicos y circuitos integrados comerciales (CI); el empleo de hojas de datos del fabricante de los componentes y su comparación con las medidas obtenidas en el laboratorio; el cálculo de la disipación de calor en componentes electrónicos, tanto en estado transitorio como en estado estacionario, así como el efecto de la temperatura ambiente y el empleo de disipadores de calor. Además, los experimentos tienen en cuenta cuestiones tales como la seguridad y la protección de los componentes, la configuración para la medición de alta precisión con la mínima distorsión posible y mecanismos de automatización.

El laboratorio remoto —*Virtual Instrument Systems in Reality (VISIR)* [8, 9]- ha sido la plataforma empleada para la experimentación con los circuitos diseñados. VISIR es una combinación de paquetes de software de código abierto y equipo comercial de National Instruments (NI) para la creación, cableado y medición de circuitos electrónicos online. El proyecto fue iniciado por el Instituto de Tecnología de Blekinge (BTH) y contó con el apoyo de varios socios [10]. Hasta el momento, tres universidades han diseñado y construido prácticas remotas de electrónica básica mediante la plataforma VISIR y estas han sido empleadas para la experimentación por estudiantes de asignaturas de grado de ingeniería con resultados satisfactorios [11, 12].

Hasta ahora era posible construir circuitos electrónicos básicos: circuitos resistivos básicos, divisores de voltaje, amplificadores operacionales como inversor, derivador o

integrador, rectificadores de media onda, reguladores de tensión mediante diodos Zener y amplificadores BJT. En esta contribución, se amplía el campo de aplicación de VISIR añadiendo circuitos electrónicos avanzados para convertidores CC/CC. Con este fin, el hardware y software de VISIR han sido adaptados a nuevos tipos de componentes como inductores, termistores, y puentes rectificadores (por ejemplo, CIs). Por otro lado, distintos circuitos externos han sido conectados a la matriz de componentes con el fin de ampliar la gama de aplicaciones.

El resto del trabajo está estructurado de la siguiente forma: la Sección II presenta una breve presentación sobre la plataforma, VISIR, definiendo cada uno de sus componentes de hardware y software. La sección III describe el diseño y desarrollo de los experimentos de los convertidores CC/CC. La sección IV resume las configuraciones y modificaciones necesarias realizadas en VISIR para introducir los nuevos experimentos. La sección V ofrece los resultados obtenidos de forma remota de los nuevos circuitos experimentales. Finalmente se muestran las conclusiones en la Sección VI.

II. DESCRIPCIÓN DE VISIR

En esta sección se ofrece una breve descripción sobre VISIR que será importante para las discusiones posteriores.

1. Descripción del Hardware

La plataforma de instrumentación de VISIR se basa en extensiones PCI para Instrumentación (PXI) de NI. La plataforma NI PXI consiste en una tarjeta controladora (es decir, un PC embebido), tarjetas de instrumentos (la fuente de alimentación de CC, multímetro digital, osciloscopio y generador de funciones) y un chasis al que todas las tarjetas se conectan. Los terminales de los módulos NI-PXI están a su vez interconectados a la matriz de componentes. La matriz de componentes se comunica con el controlador a través de un cable USB.

La matriz de conmutación de relé es un apilamiento de tarjetas PCI/104. Los circuitos se generan mediante la manipulación—apertura y cierre de los distintos relés de acuerdo al diseño de circuito recibido desde el controlador—y la interconexión entre los terminales de los

módulos NI-PXI y los componentes empleados se genera mediante los 10 nodos comunes (A-I, 0) de las tarjetas PCI/104 de la matriz.

La matriz cuenta con tres tarjetas de instrumentos y con hasta 16 tarjetas de componentes. Cada tarjeta de componentes dispone de 10 tomas para componentes y cada toma está conectada a un interruptor de doble polo y tiro simple (DPST, *Double-Pole Single-Throw*); 4 de estas tomas pueden sustituir el DPST por dos interruptores de polo simple y tiro simple (SPST, *Single-Pole Single-Throw*).

Por lo tanto, la matriz de componentes puede contener un máximo de 16×10 relés DPST. Los componentes de dos terminales ocupan un zócalo, mientras que los componentes con más terminales ocupan más de un zócalo. De acuerdo con la hoja de datos del fabricante, la corriente máxima de transporte de los relés es de 2 A y la esperanza de vida mínima es de 3×10^8 operaciones (aproximadamente dos operaciones por segundo de forma continua durante cinco años). La matriz cuenta con un controlador de interfaz periférico (PIC18F4550), además de un controlador para cada placa (PIC16F767), que se encarga de enviar los comandos a los relés de abrirse o cerrarse.

2. Descripción del Software y Ciclo de Operación

El software de VISIR es de código abierto distribuido bajo Licencia Pública General (*General Public License, GPL*) de GNU. El código puede ser descargado en [13], incluye:

- Sistema de Gestión de Aprendizaje (SGA): Es el portal de VISIR y se encarga de todos los procesos relativos a la administración, acceso, autenticación y reserva. Está escrito en PHP y alojado en un servidor Web Apache HTTP con una base de datos MySQL. Proporciona a los usuarios el acceso al "Experimento Cliente" (*Experiment Client*) una vez que se autentican (*Web Server*).
- Experimento Cliente (*User*): Es la interfaz gráfica de usuario (*Graphical User Interface, GUI*) y, como se muestra en la Figura 1, el banco de trabajo simulado de VISIR. Es un applet escrito en Action Script para Adobe Flash que también está alojado en el servidor Web. Mediante el ratón el usuario selecciona y arrastra

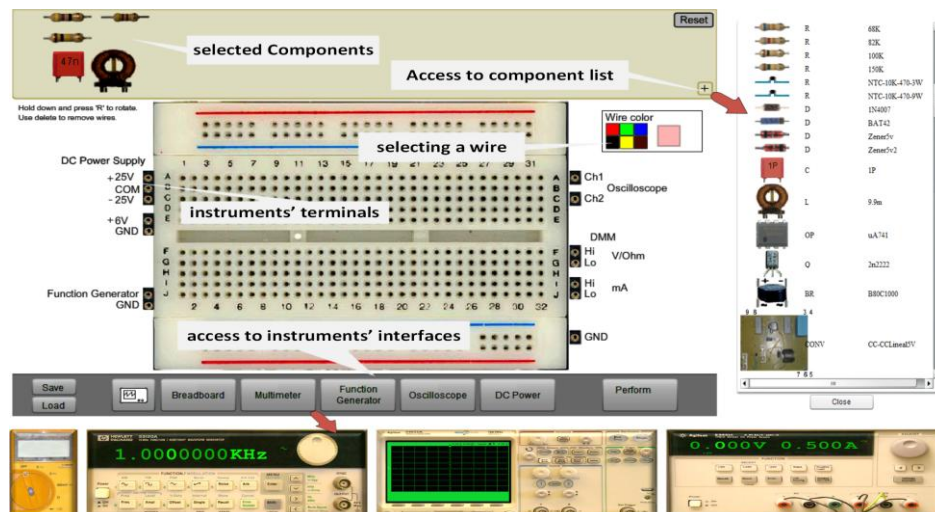


Figura. 1. Banco de trabajo simulado de VISIR.

los componentes a la protoboard simulada, cablea su circuito y configura los instrumentos; a continuación pulsa el botón "Realizar Experimento" (*Perform Experiment*) para recibir los resultados de los equipos físicos. El circuito diseñado por el usuario se transfiere al "Servidor de Medida" (*Measurement Server*) como un protocolo XML, llamado "Protocolo de Experimentación" (*Experiment Protocol*), que utiliza Socket XML o el protocolo TCP sobre TCP/IP para transportar los datos necesarios.

- **Servidor de Medida (*Measurement Server*):** Es una aplicación software, escrita en Microsoft Visual C++, que se ejecuta en un PC independiente (es decir, como un servidor). Es responsable de comprobar periódicamente la autenticación de los usuarios durante las sesiones, de gestionar la cola de peticiones simultáneas y de la verificación de los circuitos diseñados por los usuarios y de los valores máximos permitidos para los instrumentos según ha establecido previamente el profesor en los "maxlist" (listas con la especificación de los componentes e instrumentos disponibles y los valores admitidos para la experimentación) a fin de evitar circuitos peligrosos. Después de validar y gestionar la cola de peticiones, el servidor de medida las envía de forma secuencial al "Servidor de Equipos" (*Equipment Server*).
- **Servidor de Equipos:** Es una aplicación de software para el control de la instrumentación desarrollada por LabVIEW y alojada en el controlador PXI de NI (por ejemplo el servidor incorporado en el chasis PXI). Recibe las peticiones de acceso a los equipos de los circuitos diseñados por el usuario y verificados por el "Servidor de Medida" en el formato de "Protocolo de Experimentación" y las ejecuta. Acabando el ciclo de operación, los resultados se muestran en la pantalla del PC de los usuarios. Todos los drivers de los instrumentos son IVI (Instrumentos Virtuales Intercambiables). Los IVI son capaces de soportar otras plataformas con extensiones LAN para Instrumentación (*LAN eXtensions for Instrumentation, LXI*) o mediante Bus de Datos de Propósito General o IEEE-488.2 (*General Purpose Interface Bus, GPIB*). La "lista de componentes" se inserta en el "Servidor de Equipos" para identificar todos los componentes montados e instrumentos conectados.

Los principales componentes y el ciclo de operación global de VISIR se muestran en la Figura 2.

III. DISEÑO Y DESARROLLO DE LOS NUEVOS CONVERTIDORES CC/CC

De cada circuito diseñado para la experimentación se derivan numerosos ejercicios, como por ejemplo: la comparación entre las simulaciones, cálculos teóricos y las mediciones obtenidas o la comparación entre los datos proporcionados por los fabricantes en las hojas de características de los distintos componentes y el comportamiento de dicho componente en el laboratorio remoto. Los nuevos circuitos diseñados son:

1. *Convertidor CC/CC Lineal Regulado sin Aislamiento*

El circuito se muestra en la Figura 3(a). El propósito del circuito es estudiar el efecto de la variación de la carga sobre las señales de entrada y de salida, el efecto de la variación de las señales de entrada en las señales de salida y el resultado térmico en el regulador IC debido a la disipación de energía. El circuito controla la cantidad de corriente que circula a través de la carga —a fin de mantener constante la tensión de salida— mediante la comparación de la tensión de salida de con un voltaje de referencia interna. Se ha empleado un regulador lineal LM7805 IC. Se ha utilizado un filtro LC para reducir los picos de tensión y eliminar las interferencias de radiofrecuencia (RFI) de la fuente de alimentación. El efecto del filtro de la corriente interna se monitoriza a través de Rsh2 (resistencia de medida) conectando una sonda del osciloscopio al terminal 3 del circuito. La entrada y la salida del CI están protegidas ante polaridad inversa y tensiones elevadas mediante un diodo supresor de voltaje transitorio unidireccional 1.5KE (Transient Voltage-Suppression, TVS).

Asimismo, los condensadores están también conectados a la entrada y la salida para eliminar picos de tensión y mantener la tensión de salida constante con las variaciones de carga. Para la descarga de los condensadores sin afectar el funcionamiento del circuito, se han añadido resistencias de alto valor óhmico. El valor máximo de corriente se ajusta mediante la fuente de alimentación y, como protección adicional, se han dispuesto fusibles a los terminales de entrada y salida de todo el circuito.

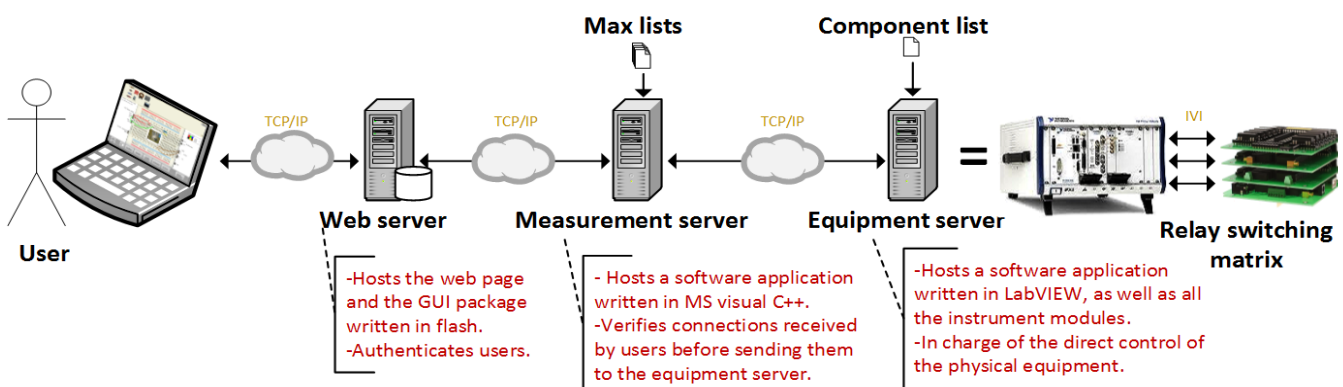


Figura. 2. Componentes de VISIR y ciclo de operación.

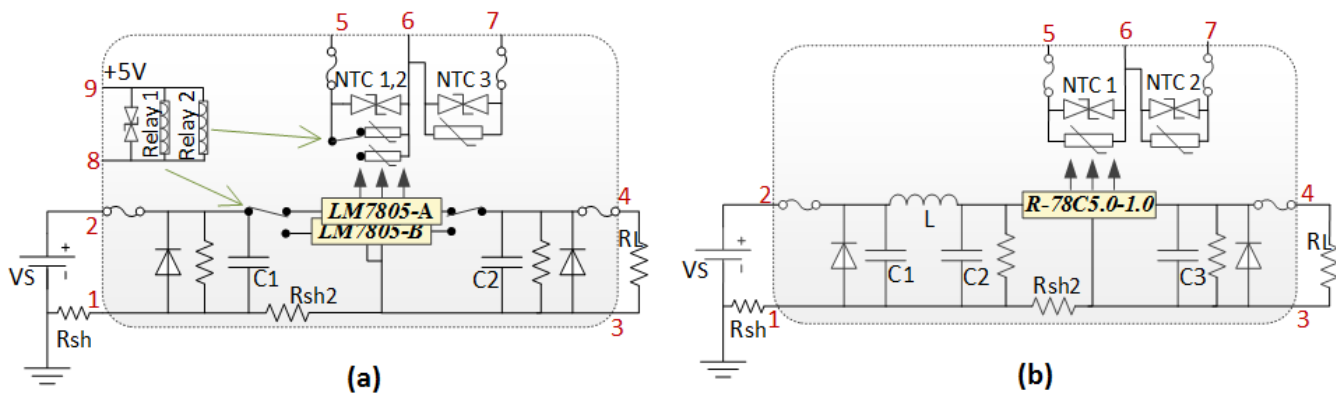


Figura 3. Convertidores CC/CC diseñados para la experimentación remota.

La principal desventaja de los reguladores lineales es que la energía extra se disipa en forma de calor, aumentando la temperatura de funcionamiento y reduciendo la eficiencia (P_{out}/P_{in}) a valores por debajo del 50%. El circuito diseñado incorpora dos CI, uno con disipador de calor (LM7805-A) y el otro sin disipador (LM7805-B). El objetivo es medir la temperatura de funcionamiento del regulador del IC en cada caso y ver el efecto del disipador de calor; dos termistores NTC (coeficiente de temperatura negativo) se emplean para cada CI y un tercero se ha dispuesto para medir la temperatura ambiente. Dos relés de tensión nominal de 5 V (uno para cada CI) son los encargados de alternar la conexión entre los CI del circuito, mientras que las bobinas son excitadas por la misma fuente de alimentación de VISIR (en circuito abierto, el CI LM7805-A es el que se encuentra conectado). Los relés están protegidos por diodos TVS 1.5KE de 6.8 V unidireccionales. Para calcular la temperatura de operación del CI, y una vez ha transcurrido un tiempo razonable para alcanzar el estado permanente (aproximadamente 5 a 10 minutos), se emplean las hojas de datos proporcionadas por el fabricante de los termistores.

Los estudiantes, por error, podrían aplicar un voltaje a los termistores conectándolos a la fuente de alimentación, lo que podría destruir los termistores. Por lo tanto, cada termistor está protegido por un diodo TVS de 15 V 1.5KE bidireccional limitando la corriente de sobrecarga (aproximadamente 1 mA) de modo que no afecta a las mediciones. Por lo tanto, en el peor de los casos donde la

temperatura de operación llega a 45° , la potencia disipada en los termistores es de 60 mW en régimen permanente (de acuerdo a la hoja de características del termistor, a esta temperatura el valor óhmico del termistor es de 4.369 k Ω). Para proteger los diodos TVS frente a sobrecargas de corriente se han empleado fusibles.

2. Convertidor CC/CC Conmutado Regulado sin Aislamiento

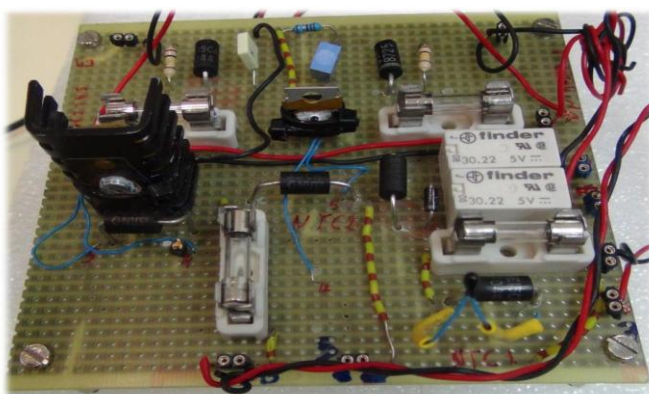
El circuito se muestra en la Figura 3(b). Tiene el mismo propósito que el circuito anterior, pero empleando un regulador conmutado R-78C5.0-1.0. El regulador conmutado empleado es reductor y por lo tanto su tensión de salida es menor que su voltaje de entrada. Los reguladores conmutados son mucho más eficientes que sus semejantes lineales; su eficiencia puede superar el 85%.

IV. CONFIGURACIÓN E INSTALACIÓN

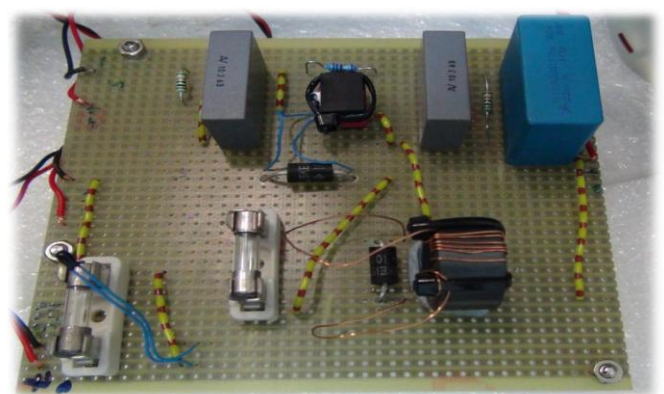
A fin de introducir los nuevos circuitos en VISIR, fueron necesarias las siguientes modificaciones:

1. Configuración del Hardware

Por motivos de espacio y para simplificar el montaje, las áreas sombreadas de la Figura 3(a) y Figura 3(b) se han montado en circuitos externos que se conectan a la matriz como una caja negra con terminales de entrada y salida, como se observa en la Figura 4(a) y Figura 4(b). Cada terminal de los circuitos externos está conectado a un relé de un único interruptor SPST (*Single Pole Single Throw*). De



(a)



(b)

Figura 4. Bloques externos para los convertidores CC/CC.

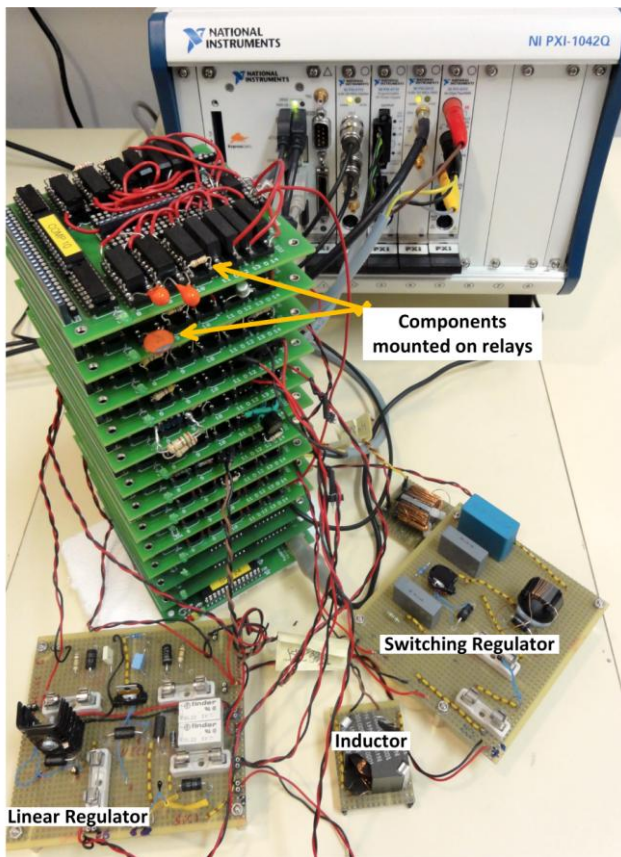


Figura 5. Bloques externos de los convertidores CC/CC conectados a la matriz de componentes.

esta forma, los estudiantes sólo tendrán que estar preocupados con las características específicas del circuito en lugar de perderse en el montaje y cableado. Por último, las protecciones necesarias para cada circuito y componente se ha realizado según se describe en la sección anterior. La conexión general de los circuitos diseñados en la matriz se muestra en la Figura 5.

2. Configuración del Software

Como se mencionó anteriormente, el software de VISIR [13] es de código abierto, lo que permite a los desarrolladores descargarlo y modificarlo para adaptarlo a sus aplicaciones. Las configuraciones de software se realizaron como se explica en los siguientes pasos:

- El código del "Servidor de Medida" se modificó para agregar nuevos tipos de clases de componentes junto con sus propiedades: caja negra de 9 terminales para el convertidor lineal (LinearConverter9), y caja negra de 7 terminales para el convertidor conmutado (SwitchingConverter7).
- Todos los componentes utilizados en los circuitos diseñados se encuentran enumerados en el archivo "component list", con su correspondiente valor y terminal de conexión en la matriz de componentes a fin de ser reconocidos por el "Servidor de Equipos". Los archivos "component list" y "max list" siguen el formato netlist de PSpice. Por ejemplo, el convertidor de conmutado se muestra como:

```
SwitchingConverter7_8_4:8_5:8_6:8_7:8_11:8_12:8_13 B H F E C
G A DC-DC Switching Converter 5V
```

Este código significa que el componente de la clase

"SwitchingConverter7" está conectado en la tarjeta de la matriz número 8 a través de los relés de 4, 5, 6, 7, 11, 12, y 13 a los nodos B, H, F, E, C, G, y A, respectivamente. El término "DC-DC Switching Converter 5V" es lo que les aparece a los usuarios en la interfaz gráfica de usuario.

- Para cada ejercicio creado por el profesor, se debe crear a su vez un archivo de "max list" en el que se enumeran las conexiones permitidas y los valores máximos permitidos para los instrumentos en dicho ejercicio. Por ejemplo, una fuente de alimentación de CC se puede definir como:

```
VDC+25V_4 B max: 20 imax: 0.5
```

Es decir, que el máximo valor permitido para la fuente de alimentación—situado en la "source board" de la matriz de componentes y conectada al nodo B a través del relé 4—son 20V y 0.5A, respectivamente.

- El último paso es modificar el paquete de la interfaz gráfica de usuario y añadir las nuevas clases de componentes en formato XML, de forma que se proporciona información acerca de la clase, valor, pins y posición con respecto al cursor del PC-ratón, posibles rotaciones y foto. Por ejemplo, el SwitchingConverter7 se añade como sigue:

```
<component type="SwitchingConverter7" value="DC-DC Switching Converter 5V" pins="9">
  <rotations>
    <rotation ox="-65" oy="-51.5" image="SwitchingConverter7.png" rot="0">
      <pins>
        <pin x="-65" y="-51.5"/>
        <pin x="-52" y="-51.5"/>
        <pin x="-39" y="-51.5"/>
        <pin x="-26" y="-51.5"/>
        <pin x="52" y="-51.5"/>
        <pin x="65" y="-51.5"/>
        <pin x="65" y="51.5"/>
        <pin x="52" y="51.5"/>
        <pin x="39" y="51.5"/>
      </pins>
    </rotation>
  </rotations>
</component>
```

V. RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN REMOTA

En la fase final, los circuitos desarrollados han sido probados de forma remota. Los circuitos diseñados fueron montados y cableados tal y como se muestra en la Figura 6, desde un equipo con acceso a internet. Una vez obtenidas las mediciones mediante el laboratorio remoto, se deben realizar distintos estudios. A modo de demostración, se van a mostrar determinadas mediciones en base a una configuración de parámetros determinados, sin embargo dichos parámetros se pueden variar de acuerdo a los propósitos de cada ejercicio dentro del experimento y circuito. Las medidas seleccionadas son las siguientes:

- 1) El circuito mostrado en la Figura 3(a) está montado con los siguientes valores: $R_L = 75 \Omega$, $V_s = 25 \text{ V}$, y $V_{\text{relays}} = 5 \text{ V DC}$ (para utilizar LM7805-B, en caso contrario se está utilizando LM7805-A); mientras que los siguientes componentes tienen valores fijos ya que se encuentran en la caja negra: $C_1 = 0.33 \mu\text{F}$, $C_2 = 0.1 \mu\text{F}$, $R_{sh2} = 10 \Omega$, and $NTC_1 = NTC_2 = NTC_3 = 10 \text{ k}\Omega$ ($25 \text{ }^\circ\text{C}$, 1%). Mediante la hoja de datos de las NTCs se

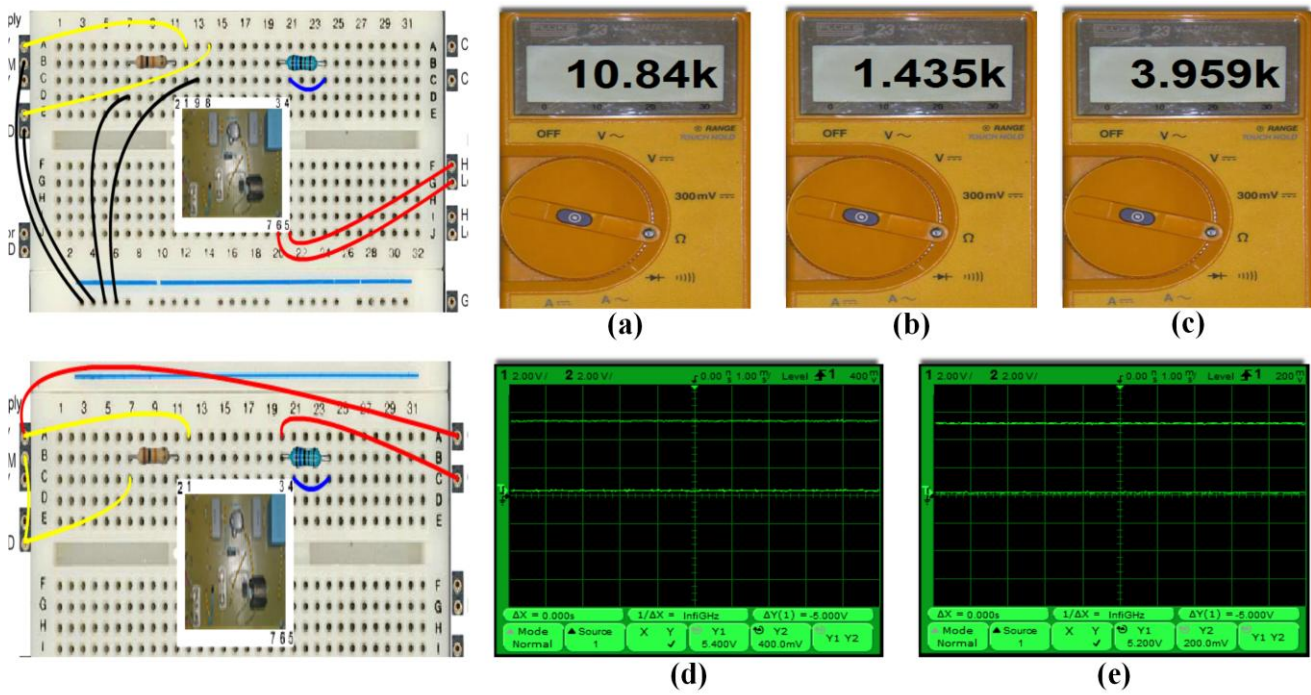


Figura 6. Cableado en la interfaz gráfica y resultados obtenidos online.

obtiene la temperatura ambiente (NTC3) de operación del circuito, como se muestra en la Figura 6 (a); la medición se corresponde a una temperatura ambiente aproximada de 25 °C. A continuación, y sin aplicar la tensión de 5 V a Vrelays para utilizar el regulador LM7805-A, se aplica la señal de entrada durante 5 minutos (a fin de alcanzar el régimen permanente). Transcurridos los 5 minutos, se mide la temperatura de operación del regulador LM7805-A mediante NTC1 como se muestra en la Figura 6(b), que corresponde a una temperatura aproximada de 75 °C. Restándole a este valor la temperatura ambiente (25 °C según se obtuvo con la NTC3), el incremento de temperatura en el regulador es de 50 °C. En teoría, la pérdida de potencia o la potencia disipada a través del regulador se puede aproximar mediante (1) dejando de lado los componentes de protección.

$$P_{loss} = V_{reg} \times I_L = V_s - V_L \times \left(\frac{V_L}{R_L} \right) = 20 - 5 \times \left(\frac{5}{75} \right) = 1W \quad (1)$$

La resistencia térmica del regulador es de 60 °C/W (resistencia térmica entre la unión y el aire – resistencia térmica entre carcasa y unión), por lo tanto, en el caso ideal, su temperatura en estado estacionario debe ser de 60 °C para una unidad de potencia disipada, lo que se encuentra muy cercano a las mediciones prácticas teniendo en cuenta las caídas entre el componente físico y el sensor y la tolerancia de los materiales. El regulador LM7805-B se encuentra conectado mediante la aplicación de una señal de entrada de 5 V a los relés. La temperatura del regulador LM7805-B se mide mediante el NTC2, como se muestra en la Figura 6(c), experimentando un aumento de aproximadamente 50 °C. Al restar la temperatura ambiente, el incremento en la temperatura del regulador será de 50 °C. La resistencia térmica total es de 21 °C/W, obtenida a través de la suma de las resistencias térmicas del disipador de calor (14 °C/W) y la resistencia térmica

entre la unión y carcasa del regulador, además de una resistencia térmica de 2 °C/W debido a la imperfecciones del contacto entre el regulador y el disipador de calor. Por lo tanto, teóricamente, en el caso ideal, su temperatura en estado estacionario debe ser 21 °C para una unidad de potencia disipada, valor que se aproxima a la medición práctica.

- 2) El circuito mostrado en la Figura 3(b) está constituido con los siguientes componentes: $R_L = 75 \Omega$ y $V_s = 25 V$; mientras que los siguientes componentes tienen valores fijos ya que se encuentran en la caja negra: $C_1 = 22 \mu F$, $C_2 = 10 \mu F$, $C_3 = 10 \mu F$, $L = 56 \mu H$, $R_{sh2} = 10 \Omega$, and $NTC_1 = NTC_2 = 10 k\Omega$ (25°, 1%). La Figura 6 (d) y la Figura 6(e) muestran como la tensión de salida (caída de tensión entre los puntos 4 y 3), para la tensión de entrada de 20 V y 10 V respectivamente, se fija a 5 V independientemente de la tensión aplicada.

VI. CONCLUSIÓN

En este artículo, una serie de nuevos experimentos de electrónica, orientados a las necesidades del mercado laboral, han sido diseñados e implementados para su experimentación en línea con éxito. Los experimentos abarcan 1) Convertidor CC/CC lineal regulado sin aislamiento; y 2) Convertidor CC/CC conmutado regulado sin aislamiento. Dichos experimentos aprovechan las ventajas de la plataforma en la que han sido diseñados: VISIR, convirtiéndola en una plataforma de aprendizaje única en su clase. Los experimentos permiten: el estudio del comportamiento de componentes electrónicos y circuitos integrados comerciales—mediante el empleo de las hojas de datos de los componentes y su comparación con las medidas obtenidas—y el cálculo de potencia disipada en los distintos componentes electrónicos, tanto en estado transitorio como en estado estacionario, así como estudiar el efecto de la temperatura ambiente y de los disipadores de calor aplicados

en los cálculos térmicos. Posteriormente, los experimentos fueron puestos a prueba y los resultados obtenidos de forma remota han sido recogidos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo de los siguientes proyectos: e-Madrid (S2009/TIC-1650 y S2013/ICE-2715), RIPLECS (517836-LLP-1-2011-1-ES-ERASMUS-ESMO) y Go-Lab (FP7-ICT-2011- 8/317601).

Asimismo, los autores desean agradecer el apoyo de la Comunidad VISIR, al grupo de trabajo IEEE P1876™ (Standard for Networked Smart Learning Objects for Online Laboratories), y al Global Online Laboratory Consortium (GOLC).

REFERENCIAS

- [1] M. Tawfik, E. Sancristobal, S. Martín, G. Díaz, and M. Castro, "State-of-the-art Remote Laboratories for Industrial Electronics Applications," presented at the Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE), 2012, pp. 359-364.
- [2] M. Tawfik, E. Sancristobal, S. Martín, R. Gil, G. Díaz, J. Peire, *et al.*, "On the Design of Remote Laboratories," presented at the IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Marrakesh, Morocco, 2012, pp. 311-316.
- [3] M. Tawfik, E. Sancristobal, S. Martín, G. Díaz, J. Peire, and M. Castro, "Expanding the Boundaries of the Classroom: Implementation of Remote Laboratories for Industrial Electronics Disciplines," *Industrial Electronics Magazine, IEEE*, vol. 7, no. 1, pp. 9, March 19, 2013.
- [4] S. Farah, A. Benachenhou, G. Neveux, and D. Barataud, "Design of a Flexible Hardware Interface for Multiple Remote Electronic Practical Experiments of Virtual Laboratory," *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, vol. 8, no. 2, pp. 6, March, 2012.



Mohamed Tawfik (M'09) PhD y M.Sc. en Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Madrid, España, y B.Sc. en Ingeniería Eléctrica de Universidad de Ain Shams, el Cairo, Egipto, en 2011 y 2008 respectivamente. Investigador en formación en el departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, y Control Industrial (DIEEC) de la UNED desde

Octubre 2009. Sus áreas de interés engloban los laboratorios remotos y su desarrollo e implementación.



Santiago Montes, Ingeniero Industrial en la especialidad Electrónica y Automática por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Diploma de Estudios Avanzados (DEA) en el área Tecnología Electrónica. Actualmente investiga sobre estabilizadores de múltiples tomas rápidos de CA y sobre técnicas de simulación aplicadas a la electrónica de potencia como parte de su tesis doctoral.

Coautor de los artículos Analysis of Fast Onload Multitap-Changing Clamped-Hard-Switching AC Stabilizers y Synthesis of Fast Onload Multitap-Changing Clamped-Hard-Switching AC Stabilizers publicados en Abril de 2006 en la revista IEEE Transactions on Power Delivery. Realización de la sección Refrigeración de semiconductores del libro Electrónica de Potencia escrito por S. Martínez y J. A. Gualda. Es jefe de Proyecto e Ingeniero de Diseño en la empresa Sistemas Electrónicos de Potencia S. A. desde 2002, habiendo participado en el diseño de convertidores estáticos para aplicaciones ferroviarias en proyectos para Metro de Nueva York, Metro México D. F. y Metro de Madrid entre otros. Ha tutorizado diversas asignaturas del Departamento en los últimos años.



Felix Garcia-Loro (StM'12) Master e Ingeniero Industrial por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) en la especialidad de Electrónica y Automática. Colaborador del curso Experto Profesional en Energía Eólica (Formación Continua, UNED). Gestor aulas AVIP (UNED) desde 2010 hasta 2012. Tutor y Tutor intercampus de varias asignaturas del Departamento durante los últimos años.

- [5] B. Popović, N. Popović, D. Mijić, S. Stankovski, and G. Ostojić, "Remote Control of Laboratory Equipment for Basic Electronics Courses: A LabVIEW-Based Implementation," *Computer Applications in Engineering Education* vol. 21, no. S1, pp. 11, August, 2013.
- [6] D. A. H. Samuelsen and O. H. Graven, "Low Cost Implementation of Remote Lab with Large Number of Configurations for a BJT Amplifier," *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, vol. 7, no. 1, pp. 6, September, 2011.
- [7] A. Taneja, A. Kushwah, A. Gupta, and V. B. Vats, "TeleLab—A Remote Monitoring and Control System," *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, vol. 3, no. 1, pp. 4, 2007.
- [8] M. Tawfik, E. Sancristobal, S. Martín, R. Gil, G. Díaz, J. Peire, *et al.*, "Virtual Instrument Systems in Reality (VISIR) for Remote Wiring and Measurement of Electronic Circuits on Breadboard," *Learning Technologies, IEEE Transactions on*, vol. 6, no. 1, pp. 13, March 12 (First Quarter) 2013.
- [9] I. Gustavsson, K. Nilsson, J. Zackrisson, J. Garcia-Zubia, U. Hernandez-Jayo, A. Nafalski, *et al.*, "On Objectives of Instructional Laboratories, Individual Assessment, and Use of Collaborative Remote Laboratories," *IEEE Transactions on Learning Technologies* vol. 2, no. 4, pp. 12, Oct.-Dec., 2009.
- [10] (2013, May). *Special Interest Group of VISIR (SIG VISIR)* Available: http://www.online-engineering.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=42&Itemid=74
- [11] G. R. Alves, M. A. Marques, C. Viegas, M. C. Costa Lobo, R. G. Barral, R. J. Couto, *et al.*, "Using VISIR in a large undergraduate course: Preliminary assessment results," in *IEEE Global Eng. Educ. Con. (EDUCON)* 2011, pp. 1125-1132.
- [12] M. Tawfik, E. Sancristobal, S. Martín, C. Gil, A. Pesquera, P. Losada, *et al.*, "VISIR: Experiences and Challenges," *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, vol. 8, no. 1, pp. 8, February 2012.
- [13] (2013). *VISIR Project: development page*. Available: <http://svn.openlabs.bth.se/trac>



Pablo Losada es Ingeniero Técnico de Telecomunicaciones por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) en la rama de Imagen y Sonido. Ha obtenido el premio a los mejores Materiales Didácticos en Ciencias Experimentales del Consejo Social de la UNED en 1998. Es experto en Desarrollo de Aplicaciones multimedia, Sistemas de gestión de base de datos y Comunicaciones Redes y Servicios por la UNED Trabajó en el Centro de Servicios informáticos de la UNED. En la actualidad posee la plaza de Ingeniero Técnico del Laboratorio del Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control de la ETSII de la UNED realizando, entre otras labores, soporte de Sistemas informáticos y Websmaster de los diversos servidores del Departamento. Colabora en numerosos proyectos multimedia para enseñanza a distancia y Laboratorios virtuales y realiza cursos de formación en nuevas tecnologías al personal de la UNED y de Formación Continua. Es coautor de varias publicaciones del entorno Multimedia y desarrollo de aplicaciones Web.



Juan Antonio Barba tiene el título de Técnico Especialista en Electrónica de Comunicaciones. Trabaja en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control de la UNED desde 1.990 colaborando de forma activa en los proyectos de investigación del Departamento.



Elena Ruiz es Doctora en Sistemas de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control Por la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la UNED, 2010. También posee el título de Ingeniera Informática por la Universidad Alfonso X "El Sabio" (UAX), Madrid. Desde 2003 trabaja como Profesora Colaboradora en el Departamento de Ingeniería del Software y Sistemas Informáticos de la UNED.



Elio San Cristóbal (GM'04) Doctor en sistemas de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control Por la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la UNED. También posee los títulos de Ingeniero Informático, especialidad en Ingeniería del Software, por la Universidad Pontificia de Salamanca (UPS) e Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas por la misma Universidad.



Gabriel Díaz (SM'04) Profesor del área de Ingeniería Telemática de la UNED. Es coordinador del Máster de Investigación en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Control Industrial de la UNED. Experto en Tecnologías aplicadas a la enseñanza de la Ingeniería y en Seguridad de la Información. Es Senior Member del IEEE y Presidente del Capítulo

Español de su Sociedad de la Educación, así como miembro de la ACM. Es también socio director de ADSO Consultoría y Formación, empresa dedicada a la formación en gestión de servicios TI y en seguridad en las comunicaciones.



Juan Peire (SM), Doctor Ingeniero Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid e Ingeniero Industrial, especialidad Electricidad por la misma Escuela. Licenciado en Derecho por la Universidad Complutense de Madrid. Actualmente es Catedrático de Universidad del área de Tecnología Electrónica en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y

de Control, ETSII de la UNED. Ha sido Director del Departamento. Ha obtenido el Premio a los mejores Materiales Didácticos en Ciencias Experimentales del Consejo Social de la UNED en los años 1997 y 1999. Ha recibido el premio a la "Innovative Excellence in Teaching, Learning & Technology" del "Center for the Advancement of Teaching and Learning" del año 1999. Ha trabajado varios años como Consultor especializado en la creación de Empresas Tecnológicas, así como ha dirigido y dirige diversos proyectos de investigación, tanto nacionales como internacionales.



Manuel Castro (M'87-SM'94-F'08) Catedrático de Tecnología Electrónica en la UNED. Experto en Aplicaciones de la Simulación y la Electrónica, y en Tecnología Aplicada en la Enseñanza de la Ingeniería. 4 Sexenios de Investigación, 5 Quinquenios de Docencia y 10 Trienios en la Universidad. Es miembro Fellow del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónica y Presidente de su Sociedad de Educación siendo en 2013-2014 el primer Presidente no Norteamericano. Ha recibido

diversos premios, entre otros el Premio al Miembro Distinguido de la Sociedad de Educación del IEEE en 2010, o el Premio al Mérito del Congreso IEEE Educon 2011 (Education Engineering). Es co-editor de la revista electrónica IEEE-RITA y será el co-organizador en 2014 del congreso Frontiers in Education en Madrid.

Pertenece al Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, siendo su Director actualmente, así como al Grupo de Investigación G-eLios, Grupo de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Tecnologías Avanzadas en Educación, Electrónica, Control, Computadores, Energías Renovables, Sostenibilidad, Movilidad y Comunicaciones, que estaría integrado en esta propuesta. El grupo tiene amplia experiencia en Technology Enhanced Learning desarrollando sistemas y entornos virtuales de soporte al aprendizaje, e integración de herramientas remotas como laboratorios reales/virtuales y sistemas de control, así como en el desarrollo de Cursos On-line Masivos y Abiertos (COMA o MOOC) como por ejemplo en el primer curso COMA con integración de un laboratorio remoto para la enseñanza de la electrónica, o en cursos COMA de aplicaciones móviles y realidad aumentada.

Experimentación Remota sobre Maqueta Industrial Basada en un Ascensor de Tres Plantas

I. Angulo, J. García-Zubía, *Member, IEEE*

Title - Remote Experimentation on industrial model based on a three floors elevator

Abstract— The use of didactic models in industrial oriented courses allows to provide a field of experimentation that approaches in terms of requirements to those deployed in actual installations. The high cost of industrial models used in education difficults the access by students. This paper presents a remote laboratory that allows real experimentation over the Internet on an industrial model that accurately simulates a three floors elevator.

Index Terms—remote lab; distance education; FPGA experimentation; embedded systems education.

I. INTRODUCCIÓN

EL empleo de sistemas de desarrollo educacionales y entrenadores didácticos permite llevar a cabo experimentación real con diferentes tecnologías en el ámbito de la microelectrónica y los sistemas embebidos. Sin embargo, el propio carácter didáctico y en ocasiones multidisciplinar de estos equipos conlleva una relajación en las especificaciones de los requisitos de los experimentos que se llevan a cabo. La simulación de los periféricos de entrada y salida mediante dispositivos de carácter general (diodos Led, potenciómetros, motores didácticos, pulsadores e interruptores, etc...) aleja al estudiante de las restricciones temporales exigidas por una instalación real [1]. En este sentido el empleo de maquetas industriales proporciona unos requerimientos idénticos a los existentes en ámbitos industriales generando idénticos problemas y errores a los que los ingenieros se enfrentan en su carrera profesional. El elevado coste de los modelos industriales, desarrollados con sistemas profesionales, dificulta la adquisición y mantenimiento de los mismos por los centros educativos así como el acceso regular de los estudiantes. Esta realidad proporciona un escenario idóneo para la utilización de laboratorios remotos que permiten a los alumnos llevar a cabo experimentación real sobre equipamiento didáctico de alto coste, de una forma similar a la que se emplea en laboratorios presenciales [2]. Los sistemas de gestión de laboratorios remotos (RLMS) se encargan de gestionar el acceso de los estudiantes al experimento y proporcionar el mayor nivel posible de inmersión en la experimentación [3].

II. DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO

Los avances llevados a cabo en laboratorios remotos en los últimos años [4] permiten a los estudiantes llevar a cabo experimentación real sobre equipamiento físico situado remotamente a través de Internet [5][6]. En el presente trabajo se describirá un laboratorio remoto desarrollado por la Universidad de Deusto que permite al estudiante gobernar,

mediante dispositivos lógicos programables, una maqueta que incluye todos los sistemas electromecánicos necesarios para la implementación de un ascensor.

La maqueta en la que se fundamenta este experimento remoto, desarrollada por la empresa Staudinger GMBH (Fig. 1), incluye una instalación miniaturizada de un ascensor de tres niveles que incluye todos los equipos de seguridad y funcionamiento esenciales: grupo tractor de dos velocidades, finales de carrera, sensores de aproximación y llegada a cada nivel, sensores de apertura de puertas, sistemas de emergencia, sistema neumático para la apertura de puertas, panel de control en cabina, pulsadores de llamada en cada nivel, indicadores luminosos de nivel, etc...

El control de todos los sistemas integrados en la maqueta se lleva a cabo mediante entradas (26) y salidas (24) digitales a 24V controlables desde sendos conectores SUB-DB37 incluidos en la maqueta.

La naturaleza digital de todos los sensores y actuadores incluidos en la maqueta, permite desarrollar la lógica que gobierna el sistema utilizando diferentes tecnologías: microcontroladores, CPLD, FPGA, PLC o software de control instrumental (LabView, etc.). Aunque el equipo que ha desarrollado el experimento pretende a corto plazo ofrecer al estudiante la posibilidad de seleccionar entre diferentes tecnologías para introducir la lógica que gobierna al ascensor, en el momento de la redacción de este artículo la maqueta está directamente conectada a un sistema de desarrollo Spartan-3 Starter Board popularmente utilizado en múltiples cursos de lógica programable [7].

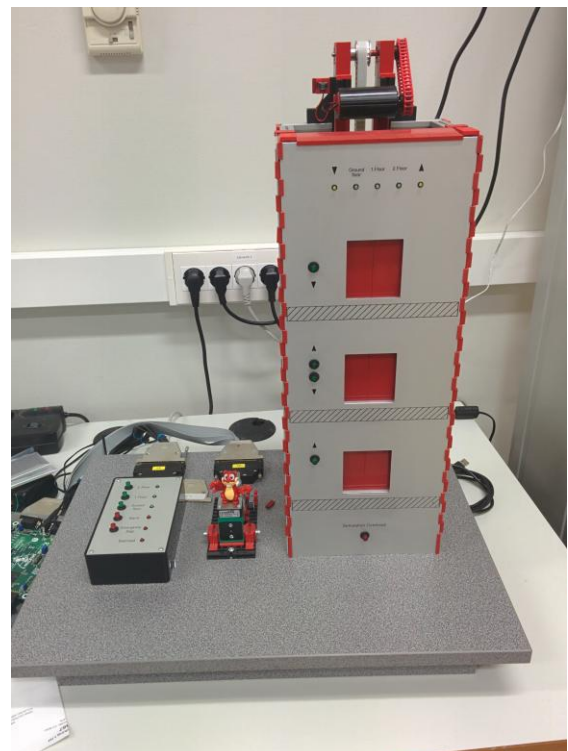


Fig. 1. Fotografía de la maqueta utilizada.

El laboratorio remoto permite al alumno desarrollar la lógica del experimento mediante un lenguaje de definición de hardware, sintetizar su diseño para la FPGA SPARTAN - 3 y a través de la plataforma para la gestión de laboratorios remotos WebLab-Deusto programar el dispositivo y verificar el correcto funcionamiento utilizando un interfaz gráfico que permite monitorizar el ascensor e interactuar con los diferentes sistemas de control incluidos desde un navegador Web.

III. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La interconexión de maqueta con el sistema de desarrollo escogido exige la adecuación de los niveles de tensión entre ambos subsistemas. El nivel de tensión de todos los sensores y actuadores de la maqueta es de 24V, mientras que el sistema de desarrollo trabaja con niveles TTL a 3.3V. Todas las salidas provenientes desde la maqueta han sido conectadas a la FPGA mediante el empleo de opto-acopladores que permiten aislar electrónicamente ambos sistemas y emplear dos fuentes de alimentación independientes. Para las entradas de la maqueta se han identificado dos grupos, utilizando opto-acopladores para los elementos con naturaleza lógica (diodos Led) y relés para los sistemas que requieren potencia (motor, válvulas, compresor, etc.).

Por otro lado la utilización remota del experimento implica la sustitución de todos los pulsadores e interruptores a gestionar por el estudiante por controles activos que se visualizarán en el interfaz gráfico del experimento. Esto implica incluir un sistema micro-servidor que se encargue de generar niveles lógicos ante comandos HTTP recibidos desde el sistema de gestión de laboratorios remotos.

La Fig. 2 muestra la arquitectura principal del sistema que integra los siguientes sistemas:

- Maqueta del ascensor de tres pisos.
- Sistema de desarrollo basado en FPGA.
- Tarjetas de adecuación de niveles.
- Microservidor de generación de niveles ante comandos Web.

En los siguientes sub-apartados se describen cada uno de los diferentes subsistemas indicando todas las características relevantes para la implementación del laboratorio remoto.

A. Maqueta Industrial

La maqueta correspondiente al ascensor de tres plantas simula una instalación de ascensor, equivalente a cualquier ascensor instalado en plantas industriales de varios niveles con todos los equipos de seguridad y de funcionamiento esenciales (Fig. 1).

El ascensor consta de una cabina de ascensor con accionamiento por correa, un sistema de elevación y tres unidades de planta. Cada planta dispone de un sistema neumático de deslizamiento de puertas alimentado por un compresor de miniatura, botones de llamada e indicadores luminosos de color para indicar la dirección del movimiento de la cabina. Interruptores mecánicos detectan la llegada de la cabina a cada planta permitiendo gestionar el movimiento lento-rápido de la cabina. Cada puerta dispone de una barrera luminosa de seguridad para la detección de elementos que puedan obstruir el cerrado. Además la maqueta dispone de un panel de control, desde el cual se pueden realizar las acciones de funcionamiento desde el interior de la cabina: pulsadores de selección para elegir un

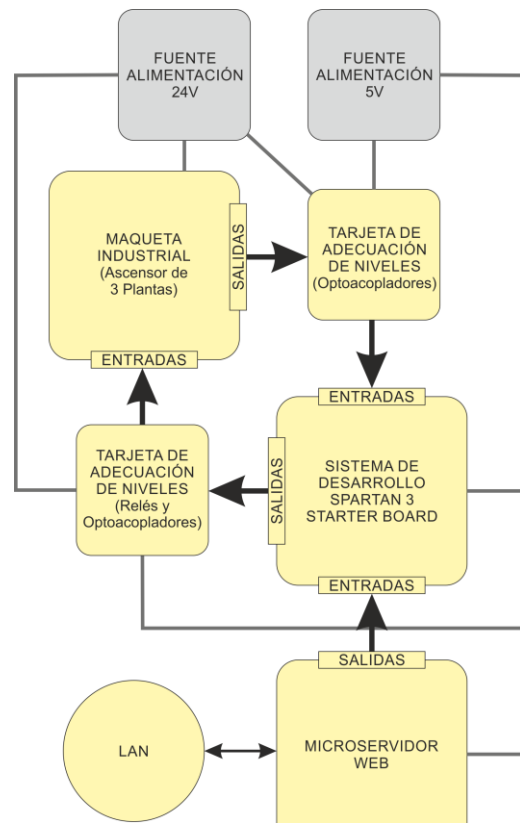


Fig. 2. Arquitectura del laboratorio remoto.

TABLA I

SENSORES Y ACTUADORES

Tipo de Sensor	Nº
Barreras luminosas de seguridad	3
Interruptores mecánicos (bumpers)	13
Pulsadores de control	10
Motor bidireccional	1
Relés	1
Válvulas	6
Indicadores luminosos (Leds)	16

piso, pulsador de alarma, pulsador de emergencia y un conmutador que permite establecer un modo de funcionamiento en el cual el ascensor es controlado exclusivamente desde fuera de la cabina. La tabla I muestra los sensores y actuadores disponibles para el control de la maqueta.

B. Sistema de Desarrollo SPARTAN 3 STARTER KIT

La elección del sistema de desarrollo basado en FPGA utilizado para el control de la maqueta se ha llevado a cabo teniendo en cuenta los requisitos del sistema (50 GPIOs) y la fácil asimilación del mismo por los estudiantes. La tarjeta de desarrollo Spartan-3 Board de la empresa Digilent Inc. (Fig.3) es uno de los sistemas de desarrollo más habitualmente utilizados en laboratorios de lógica programable por su bajo coste (\$149) y amplia documentación disponible [7]. La versión elegida para el desarrollo del experimento remoto dispone de una FPGA Xilinx Spartan-3 de 1000 puertas con sobrada capacidad para el desarrollo de la lógica que debe gestionar el ascensor. Además este sistema cuenta con tres puertos de expansión de 40 pines cada uno que permiten organizar de forma ordenada

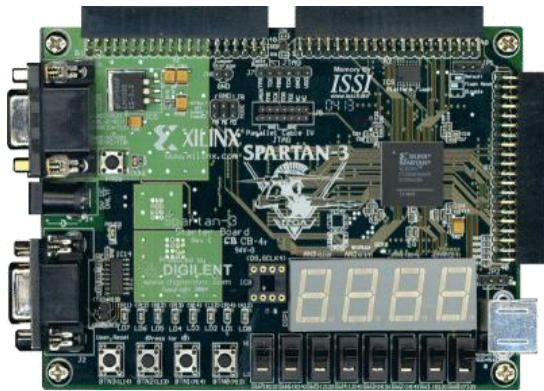


Fig. 3. Fotografía del sistema de desarrollo SPARTAN 3 STARTER KIT.

las entradas digitales que vienen desde el ascensor (1), las salidas digitales dirigidas al mismo (2) y finalmente las entradas provenientes desde el microservidor que genera las señales demandadas por el estudiante desde el interfaz gráfico (3).

Las características detalladas de este sistema de desarrollos son las siguientes:

- Xilinx Spartan-3 FPGA que incluye doce multiplicadores de 18 bits, 216Kbits de RAM en bloque, y hasta 500MHz velocidades de reloj interno.
- Plataforma de 2 Mbit de memoria Flash (XCF02S).
- 1Mbyte a bordo SRAM 10ns (256Kb x 32).
- 8 interruptores deslizantes, 4 pulsadores, 9 LEDs y display de siete segmentos de 4 dígitos.
- Puerto serie con convertidor a niveles RS-232, puerto VGA y puerto PS/2 para la conexión de teclados y ratones.
- Tres conectores de expansión de 40 pines.
- Programable mediante cable JTAG3 de Digilent, cables JTAG USB y JTAG USB Full Speed de Xilinx y sistemas compatibles P4 y MultiPRO.

C. Tarjetas de Adecuación de Niveles

Para la adecuación de los niveles de tensión soportados por los sensores y actuadores de la maqueta (24V) y los niveles de las entradas y salidas de propósito general (GPIO) del sistema de desarrollo Spartan-3 Starter Board (3,3V) se ha desarrollado dos tarjetas de circuito impreso a medida (Fig. 4). Aunque durante el acceso remoto a la maqueta no se utilizarán los 10 pulsadores de control incluidos en la misma, se ha procedido a la inclusión de los mismos para permitir también el acceso presencial al experimento y facilitar las tareas de mantenimiento.

- *Tarjeta de adecuación de sensores:* El ascensor genera 26 salidas digitales que se corresponden con los sensores lumínicos de cada puerta, los interruptores mecánicos y los pulsadores de control. Estas salidas han sido conectadas a la tarjeta de desarrollo mediante el empleo opto-acopladores que permiten asilar eléctricamente ambos dispositivos. El circuito integrado PS-2501-4 integra cuatro opto-acopladores con salida a transistores conmutables con una corriente de 50mA (Fig. 5).

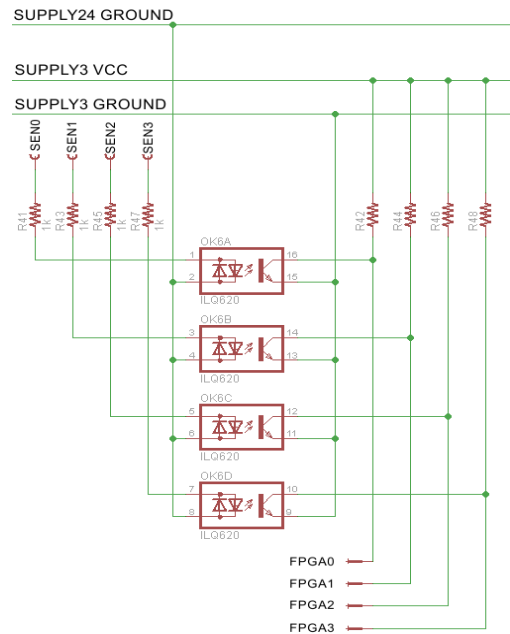


Fig. 4. Interconexión de los sensores del ascensor al sistema de desarrollo.

- *Tarjeta de adecuación de actuadores.* El funcionamiento del ascensor se gestiona mediante 24 salidas digitales. 12 de ellas se corresponden con indicadores luminosos que pueden ser gobernados directamente desde opto-acopladores de forma análoga a la llevada a cabo en la tarjeta de adecuación de sensores. Además el ascensor dispone de un relé que activa el compresor, 6 válvulas que permiten la apertura y cerrado de las puertas correderas de cada planta y 4 salidas que permiten la gestión del motor que desplaza el

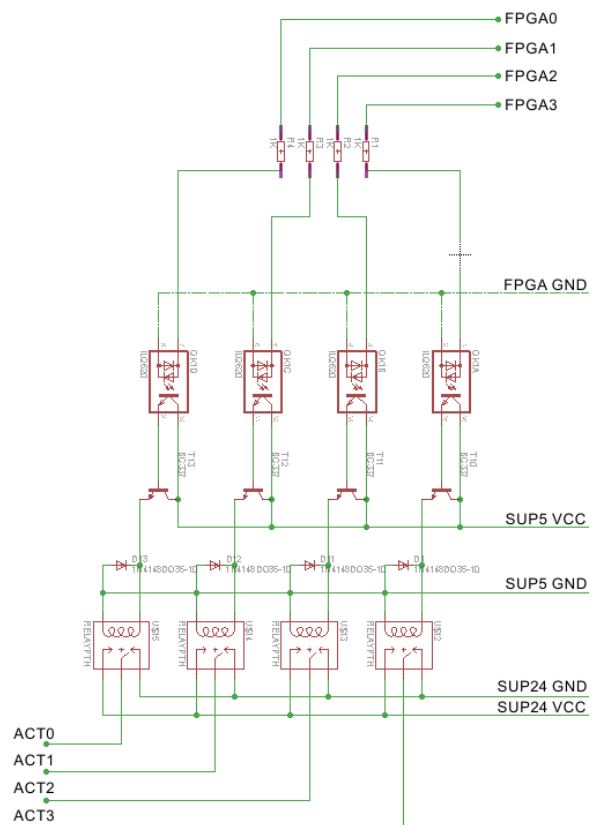


Fig. 5. Interconexión de los actuadores del ascensor al sistema de desarrollo.

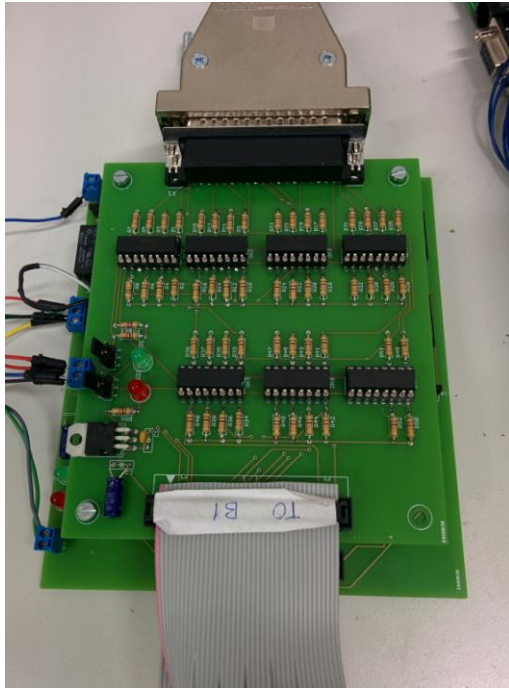


Fig. 6. Fotografía de las tarjetas de adecuación de niveles desarrolladas para la interconexión de la maqueta industrial del ascensor de tres plantas y la tarjeta de desarrollo para FPGA Spartan-3 Starter Board.

ascensor. Estas 12 últimas líneas son gobernadas mediante relés que proporcionan 24Vcc directamente desde la fuente de alimentación (Fig. 5.).

Ambas tarjetas (Fig. 6) se alimentan desde dos fuentes de alimentación independientes que proporcionan, 24Vcc y 5Vcc manteniendo aislados los dos circuitos. Cada tarjeta dispone de un regulador de tensión de 3.3V para proporcionar la tensión requerida por el sistema de desarrollo spartan-3 FPGA a partir de la fuente de alimentación de 5Vcc.

D. Microservidor de Generación de Niveles ante Comandos Web.

El principal propósito de cualquier laboratorio remoto con propósito educativo es permitir al estudiante llevar a cabo la experimentación del mismo modo que lo haría presencialmente en un laboratorio convencional. Si el estudiante dispusiera presencialmente de todo el equipamiento citado en los apartados anteriores, una vez hubiera programado la FPGA con la lógica previamente desarrollada desde su PC, debería proceder a verificar el correcto funcionamiento pulsando sobre los diferentes pulsadores de control que permiten comprobar la respuesta de la maqueta ante las diferentes órdenes contempladas. Al acceder remotamente desde un navegador Web, el alumno únicamente dispone de un interfaz gráfico en el que se pueden colocar controles activos que emulen esos pulsadores. El sistema de gestión de laboratorios remotos WebLab-Deusto permite enviar comandos HTTP a un servidor Web, ante la activación de esos controles. Es necesario un microservidor cuya función es la de escuchar por un puerto TCP preestablecido la solicitud de dichos comandos HTTP, que son enviados por el servidor, generando las señales eléctricas equivalentes a las provocadas por los controles en la maqueta real.

La proliferación de plataformas embebidas de 32 bits permite disponer de potentes ordenadores en tarjeta simple (single-board computers) de bajo coste que facilitan

enormemente la implementación del microservidor [8]. En este caso, ante los requisitos del sistema, se ha elegido la tarjeta BeagleBone Black (Fig. 7). Esta tarjeta que cuesta \$45 integra un procesador ARM Cortex-A8 y memoria con 512MB RAM DDR2 de bajo consumo de energía, además de conectividad USB o Ethernet. Permite la implementación de las últimas versiones de Ubuntu y proporciona hasta 66 entradas/salidas de propósito general. Las características detalladas de este computador en tarjeta simple pueden verse en la tabla II.

Para la implementación del microservidor se ha utilizado el framework “Restlite”. Restlite es una implementación en Python de bajo peso que incluye las herramientas principales de servidor para el desarrollo de un servicio Web RESTful. Restlite proporciona un simple enrutador URL basado en web server and gateway interface (WSGI) que permite declarar todos los comandos HTTP (GET, PUT o POST) admitidos por el microservidor y los direcciona a una función encargada de su ejecución.

En este caso solo dos comandos GET han sido implementados: PULSE y SWITCH que implementan respectivamente la pulsación de un pulsador o un interruptor desde el interfaz gráfico.

La gestión de las GPIO de la BeagleBone, directamente conectadas a las entradas de la FPGA, se lleva a cabo desde el interfaz estándar en el espacio de usuario del kernel de Linux como parte de las propias las propias funciones de ejecución de cada comando HTTP en Restlite, desarrolladas en Python.

TABLA II
CARACTERÍSTICAS DE LA TARJETA BEAGLEBONE BLACK

Procesador: AM335x 1GHz ARM® Cortex-A8
512MB DDR3 RAM
Almacenamiento: 2GB 8-bit eMMC on-board flash
Acelerador gráfico 3D
Acelerador en coma flotante NEON
2x Microcontroladores PRU 32-bit
USB client for power & communications
USB host
Ethernet
HDMI
2x 46 pin headers

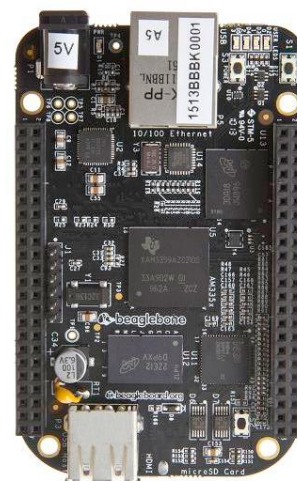


Fig. 7. Imagen de la tarjeta BeagleBone Black.

IV. DISEÑO DEL LABORATORIO REMOTO

La publicación del laboratorio en internet se ha llevado a cabo mediante el sistema de gestión de laboratorios remotos (RLMS) WebLab-Deusto [9]. Esta plataforma software facilita la publicación de laboratorios remotos proporcionando las principales características de administración que permiten su correcto consumo: escalabilidad, autenticación, seguimiento de estudiantes, integración con herramientas de gestión del aprendizaje, panel de administración, acceso desde plataformas móviles, sistema de colas y reservas y federación con otros centros educativos.

La plataforma WebLab-Deusto permite la publicación de experimentos gestionados o no gestionados. El empleo de los primeros permite registrar las acciones que el estudiante realiza durante el empleo del laboratorio, cuyo posterior análisis puede proporcionar información relevante al profesor para evaluar el uso del mismo. En el experimento WebLab-elevator todas las acciones ejecutadas por el alumno son almacenadas. Esto permite constatar el tiempo de experimentación de cada estudiante, revisar los ficheros generados por el mismo e incluso reproducir las sesiones llevadas a cabo por los estudiantes.

Para la generación de un nuevo laboratorio gestionado bajo la plataforma WebLab-Deusto es necesario el desarrollo de un cliente y un servidor. El cliente del WebLab-elevator, desarrollado en javascript, se ejecuta en el cliente del estudiante y se encarga de mostrar el interfaz gráfico de usuario. WebLab-Deusto proporciona una completa API que permite acceder a los dispositivos que conforman el laboratorio. El interfaz gráfico del experimento WebLab-Elevator (Fig. 8) permite seleccionar el archivo binario a programar sobre la FPGA, monitorizar la maqueta mediante dos cámaras que enfocan el frontal del ascensor y la maquinaria del mismo. Además dispone de un panel de control que permite acceder a los botones del interior de la cabina del ascensor y una representación de la maqueta que permite al estudiante solicitar el ascensor desde cada planta.

El servidor, desarrollado con Python, incluye la implementación de todos los comandos utilizados en el cliente: la programación de la FPGA desde el fichero seleccionado en el cliente, el refresco de las imágenes provenientes de las cámaras, el registro de las pulsaciones efectuadas sobre los diferentes botones del ascensor y la consiguiente solicitud de comando HTTP sobre el microservidor y el registro del inicio y fin de sesión.

V. UTILIZANDO EL LABORATORIO REMOTO

La experimentación desarrollada por el estudiante sobre el experimento WebLab-Elevator se desarrolla siguiendo el mismo proceso requerido en un laboratorio presencial. El estudiante necesita disponer de un computador con el software de diseño WebPACK ISE, suministrado

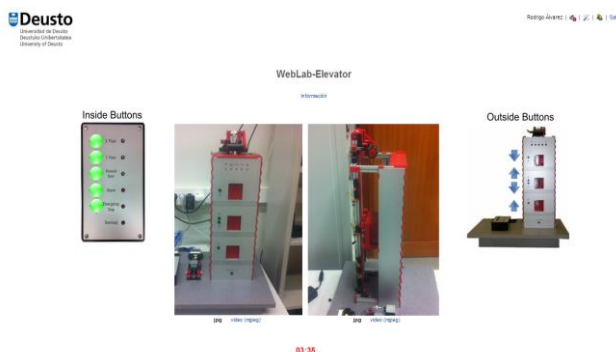


Fig. 8. Interfaz gráfico de usuario del experimento remoto WebLab-Elevator.

gratuitamente por Xilinx. Esta solución software incluye un conjunto de herramientas que permiten editar el código VHDL, sintetizar el sistema para la FPGA Spartan-3 y simular el funcionamiento del sistema mediante el completo Xilinx Simulator.

El estudiante puede descargar el fichero de restricciones de usuario (UCF) que contiene la dirección física en la FPGA de cada entrada y salida del sistema y desarrollar por completo la lógica que gestiona el funcionamiento del ascensor o descargar también un fichero de ejemplo con el funcionamiento básico del ascensor y completar la funcionalidad del mismo.

Una vez el estudiante completa el diseño del sistema y genera el fichero de programación desde la herramienta WebPACK ISE debe acceder a la plataforma WebLAB-Deusto, autenticarse y seleccionar el experimento WebLab-elevator.

Cuanto el cliente del experimento carga el estudiante simplemente debe seleccionar el fichero de programación y pulsar y el servidor lleva a cabo la programación física de la FPGA mediante la aplicación Xilinx Impact. Cuando este proceso concluye, el estudiante puede verificar el funcionamiento de su diseño desde el interfaz de usuario mostrado en la Fig. 8.

VI. CONCLUSIONES

El empleo de laboratorios remotos basados en maquetas industriales permite llevar a cabo prácticas de alto nivel con grupos numerosos de alumnos. Las características en el aprendizaje de sistemas embebidos, donde el alumno puede desarrollar en su ordenador personal el firmware a desplegar en el sistema, junto con el tiempo reducido que conlleva la validación del sistema desplegado sobre la propia maqueta, facilita la compartición del experimento mediante un laboratorio remoto.

El sistema de gestión de laboratorios remotos Weblab Deusto facilita la publicación en internet de experimentos basados en maquetas industriales y su posterior gestión.

En el futuro el equipo de la universidad de Deusto trabajará en permitir el control de la maqueta empleando diferentes tecnologías (microcontroladores, controladores lógicos programables, etc...) y publicando a través de la plataforma WebLab Deusto laboratorios remotos que permitan el acceso a través de Internet a otras maquetas industriales.

REFERENCIAS

- [1] Martin Grimheden, Martin Törngren. "What is embedded systems and how should it be taught?-results from a didactic analysis", ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS), Volume 4 Issue 3, August 2005, Pages 633 - 651.
- [2] Luís Gomes, Seta Bogosyan, "Current Trends in Remote Laboratories", IEEE Transactions on industrial electronics, vol. 56, no. 12, december 2009.
- [3] Pablo Orduña, Jaime Irurzun, Luis Rodriguez-Gil, Javier Garcia-Zubia, Fabricio Gazzola, Diego López-de-Ipiña. "Adding New Features to New and Existing Remote Experiments through their Integration in WebLab-Deusto". International Journal of Online Engineering (iJOE) (ISSN: 1861-2121). 2011.
- [4] Advances on remote laboratories and e-learning experiences, (2007) Luís Gomes and Javier García-Zubía (eds), University of Deusto Press, ISBN: 978-84-9830-662-0.
- [5] R. Dormido, H. Vargas, N. Duro, J. Sánchez, S. Dormido-Canto, G. Farias, F. Esquembre, and S. Dormido. "Development of a Web-Based Control Laboratory for Automation Technicians: The Three-Tank System", IEEE Transactions on Education (Volume:51 , Issue: 1), Feb. 2008, Pages 35 - 44.
- [6] Using Remote Labs in Education: Two Little Ducks in Remote Experimentation. (2011) Javier Garcia-Zubia and Gustavo R. Alves, Eds. Universidad de Deusto, Bilbao, ISBN 978-84-9830-335-3.

- [7] Ricardo J. Costa, Gustavo R. Alves, Mário Zenha-Rela, Rob Poley, Campbell Wishart. "FPGA-based Weblab Infrastructures Guidelines and a prototype implementation example", ICELIE '09. 3rd IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics, 2009
- [8] Krushnitskiy, P.; Sziebig, G., "Review of open source computing devices for iSpace in production workshops," Cognitive Infocommunications (CogInfoCom), 2013 IEEE 4th International Conference on , vol., no., pp.677,682, 2-5 Dec. 2013. doi: 10.1109/CogInfoCom.2013.6719187
- [9] P. Orduña, J. García-Zubia, J. Irurzun, E. Sancristobal, S. Martín, M. Castro, D. López-de-Ipiña, U. Hernández, I. Angulo, J. M. González. Designing Experiment Agnostic Remote Laboratories. Remote Engineering and Virtual Instrumentation 2009. June, 22rd–25th 2009. Bridgeport, CT, USA. ISBN: 978-3-89958-480-6, 6pp.



Ignacio Angulo se graduó en 1997 en Ingeniería Informática por la Universidad de Deusto. Desde 2005 imparte clase en la Universidad de Deusto formando parte del Departamento de Tecnologías Industriales. Su línea de investigación se centra en la fiabilidad y la eficiencia de los sistemas integrados, aplicando este conocimiento sobre entornos de experimentación remota y sistemas de trazabilidad en tiempo real.



Javier Garcia Zubia es doctor en ingeniería informática por la Universidad de Deusto. Es catedrático de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Deusto, España. Su línea de investigación está centrada en la experimentación remota: diseño, implementación y evaluación. Es el responsable del grupo de investigación WebLab-Deusto. Es miembro del IEEE.

Revisores

Addison Salazar Afanador,
Universidad Politécnica de Valencia, España
Alberto Jorge Lebre Cardoso,
Universidad de Coimbra, Portugal
Alfredo Ortiz Fernández,
Universidad de Cantabria, España
Alfredo Rosado Muñoz,
Universidad de Valencia, España
Amaia Méndez Zorrilla,
Universidad de Deusto, España
Ana Arruarte Lasa,
Universidad del País Vasco, España
André Luís Alice Raabe,
Universidade do Vale do Itajaí, Brasil
Angel García Beltrán,
Universidad Politécnica de Madrid, España
Angel Mora Bonilla,
Universidad de Málaga, España
Angélica de Antonio Jiménez,
Universidad Politécnica de Madrid, España
Antonio Barrientos Cruz,
Universidad Politécnica de Madrid, España
Antonio Navarro Martín,
Universidad Complutense de Madrid, España
Antonio Sarasa Cabezuelo,
Universidad Complutense de Madrid, España
Basil M. Al-Hadithi,
Universidad Alfonso X El Sabio, España
Basilio Pueo Ortega,
Universidad de Alicante, España
Begoña García Zapirain,
Universidad de Deusto, España
Carmen Fernández Chamizo,
Universidad Complutense de Madrid, España
Cecilio Angulo Bahón,
Universidad Politécnica de Catalunya, España
César Alberto Collazos Ordóñez,
Universidad del Cauca, Colombia
Crescencio Bravo Santos,
Universidad de Castilla-La Mancha, España
Daniel Montesinos i Miracle,
Universidad Politécnica de Catalunya, España
Daniel Mozos Muñoz,
Universidad Complutense de Madrid, España
David Benito Pertusa,
Universidad Pública de Navarra, España
Elio San Cristobal Ruiz,
UNED, España
Faraón Llorens Largo,
Universidad de Alicante, España
Francisco Javier Faulin Fajardo,
Universidad Pública de Navarra, España
Gabriel Díaz Orueta, UNED, España
Gerardo Aranguren Aramendía,
Universidad del País Vasco, España

Gloria Zaballa Pérez,
Universidad de Deusto, España
Gracia Ester Martín Garzón,
Universidad de Almería, España
Ismar Frango Silveira,
Universidad de Cruzeiro do Sul, Brasil
Javier Areitio Bertolín,
Universidad de Deusto, España
Javier González Castaño,
Universidad de Vigo, España
Joaquín Roca Dorda,
Universidad Politécnica de Cartagena, España
Jorge Alberto Fonseca e Trindade,
Escola Superior de Tecnologia e Gestão,
Portugal
Jorge Munilla Fajardo,
Universidad de Málaga, España
José Alexandre Carvalho Gonçalves,
Instituto Politécnico de Bragança, Portugal
Jose Ángel Irastorza Teja,
Universidad de Cantabria, España
José Angel Martí Arias,
Universidad de la Habana, Cuba
José Ignacio García Quintanilla,
Universidad del País Vasco, España
José Javier López Monfort,
Universidad Politécnica de Valencia, España
José Luis Guzmán Sánchez,
Universidad de Almería, España
José Luis Sánchez Romero,
Universidad de Alicante, España
José Ramón Fernández Bernárdez,
Universidad de Vigo, España
Juan Carlos Soto Merino,
Universidad del País Vasco, España
Juan I. Asensio Pérez, Universidad de
Valladolid, España
Juan Meléndez,
Universidad Pública de Navarra, España
Juan Suardfáz Muro,
Universidad Politécnica de Cartagena, España
Juan Vicente Capella Hernández,
Universidad Politécnica de Valencia, España
Lluís Vicent Safont,
Universidad Ramón Llul, España
Luis Benigno Corrales Barrios,
Universidad de Camagüey, Cuba
Luis de la Fuente Valentín,
Universidad Carlos III, España
Luis Fernando Mantilla Peñalba,
Universidad de Cantabria, España
Luis Gomes,
Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Luis Gómez Déniz,
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria,
España

Luis Zorzano Martínez,
Universidad de La Rioja, España
Luisa Aleyda García González,
Universidade de São Paulo, Brasil
Manuel Benito Gómez,
Universidad del País Vasco, España
Manuel Domínguez Dorado,
Universidad de Extremadura, España
Manuel Gromaz Campos,
Centro de Supercomputación de Galicia,
España
Manuel Pérez Cota,
Universidad de Vigo, España
Margarita Cabrera Bean,
Universidad Politécnica de Catalunya, España
Maria Antonia Martínez Carreras,
Universidad de Murcia, España
Mario Muñoz Organero,
Universidad de Carlos III, España
Marta Costa Rosatelli,
Universidad Católica de Santos, Brasil
Mercedes Caridad Sebastián,
Universidad Carlos III, España
Miguel Angel Gómez Laso,
Universidad Pública de Navarra, España
Miguel Ángel Redondo Duque,
Universidad de Castilla-La Mancha, España
Miguel Angel Salido,
Universidad Politécnica de Valencia, España
Miguel Romá Romero,
Universidad de Alicante, España
Nouridine Aliane,
Universidad Europea de Madrid, España
Oriol Gomis Bellmunt,
Universidad Politécnica de Catalunya, España
Rafael Pastor Vargas, UNED, España
Ramón Costa Castelló, UPC, España
Raúl Antonio Aguilar Vera,
Universidad Autónoma de Yucatán, México
Robert Piqué López,
Universidad Politécnica de Catalunya, España
Rocael Hernández,
Universidad Galileo, Guatemala
Sergio Martín Gutiérrez,
UNED, España
Silvia Sanz Santamaría,
Universidad de Málaga, España
Timothy Read,
UNED, España
Víctor González Barbone,
Universidad de la República, Uruguay
Víctor Manuel Moreno Sáiz,
Universidad de Cantabria, España
Victoria Abreu Sernández,
Universidad de Vigo, España
Yod Samuel Martín García,
Universidad Politécnica de Madrid, España

Equipo Técnico: Diego Estévez González,
Universidad de Vigo, España

VAEP-RITA es una publicación lanzada por el Capítulo Español de la Sociedad de Educación del IEEE (CESEI). Nuestro agradecimiento a los apoyos recibidos desde el año 2006 por el Ministerio Español de Educación y Ciencia a través de la acción complementaria TSI2005-24068-E, el Ministerio Español de Ciencia e Innovación a través de la acciones complementarias TSI2007-30679-E, y TIN2009-07333-E/TSI. Gracias también a la Universidade de Vigo por el apoyo en esta nueva etapa.

VAEP-RITA es una publicación de la Sociedad de Educación del IEEE, gestionada por su Capítulo Español y apoyada por la Universidade de Vigo, España.

VAEP-RITA é uma publicação da Sociedade de Educação do IEEE, gerida pelo Capítulo Espanhol e apoiada pela Universidade de Vigo, España.

VAEP-RITA is a publication of the IEEE Education Society, managed by its Spanish Chapter, and supported by the Universidade de Vigo, España.