Actas de las XXXVI Jornadas de Automática, 2 - 4 de septiembre de 2015. Bilbao
ISBN 978-84-15914-12-9 © 2015 Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)

Ingeniería Basada en Modelos en Prácticas de Robótica

Antonio J. Muñoz-Ramírez, J. Jesús Fernández-Lozano y J. Manuel Gómez-de-Gabriel
Dto. Ingeniería de Sistemas y Automática
Universidad de Málaga
aj@uma.es

Resumen

En este artículo se recoge la experiencia de usar una herramienta de desarrollo de ingeniería basada en modelos ó MDE (Model-Driven Engineering) para la realización de clases prácticas de robótica. La principal característica de los enfoques es que se prescinde de la fase de programación, por lo que se puede pasar del diseño a la implementación de manera automática permitiendo dedicar más tiempo a los objetivos del aprendizaje. Para determinar la eficiencia de estas herramientas se ha utilizado una plataforma robótica móvil y se han realizado experimentos con alumnos utilizando Simulink con generación de código de Arduino y se han medido los resultados de manera subjetiva y objetiva.

Palabras clave: Educación, Robótica, Ingeniería basada en Modelos, Simulink.

1. INTRODUCCIÓN

Según [6, 7] la Ingeniería basada en modelos (*Model-Driven Engineering*) ó MDE tiene como misión permitir a los ingenieros desarrollar y analizar un sistema mediante abstracciones y formalismos más adecuados y parecidos a sus modelos mentales que los lenguajes de programación convencionales. Exiten muchos lenguajes y herramientas para MDE, entre las que se encuentran *UML*, *AADL*, *MATLAB Simulink*, *Rational* y *Eclipse Modeling Framework* entre otras. Los modelos que se construyen en un lenguaje de modelado pueden convertirse en un programa ejecutable mediante un proceso automático. Así los modelos clásicos de diagramas de bloques o incluso los diagramas de estados pueden ser usados para crear programas.

Este modelo de ingeniería elimina la etapa de codificación de las fases del desarrollo de sistemas, con el consiguiente ahorro de tiempo y de posibles errores que lo hacen imprescindible para el desarrollo de sistemas críticos como dispositivos médicos o de control de automoción. Una característica de los enfoques MDE es que al prescindir de la fase de programación, permite dedicar más tiempo a los objetivos del aprendizaje.

Si bien, la programación de sistemas reales de control es una competencia deseable en múltiples titulaciones de ingeniería, su utilización como medio para desarrollar prácticas de laboratorio plantea ciertos inconvenientes, especialmente cuando los alumnos poseen un origen heterogéneo. Entre los inconvenientes más relevantes se tienen los siguientes:

- La introducción del uso de una herramienta o lenguaje de programación desconocidos para el alumnado que puede no formar parte de los resultados del aprendizaje de la asignatura.
- La necesidad por parte del profesor de familiarizarse previamente con el lenguaje y la versión del entorno de desarrollo utilizado en cada asignatura lo que aumenta su carga de trabajo.
- El empleo de un tiempo adicional de clase dedicado a explicar los equipos y a practicar el uso de las nuevas herramientas, restando tiempo de clase a otros contenidos.
- El alumno invierte un porcentaje del tiempo de laboratorio en la traducción de los modelos en programas.
- El profesor invierte un tiempo, del dedicado a la supervisión de las prácticas, en la interpretación y depuración del código desarrollado por los alumnos, reduciendo el número de grupos posibles y aumentando su carga de trabajo.
- La evaluación de las prácticas requiere de una abstracción de la aplicación de los conceptos de la asignatura, sin tener en cuenta los aspectos de la programación.
- La dificultad de evaluar el aprendizaje de los conceptos de los trabajos prácticos entre los distintos alumnos, si los resultados dependen de experiencia previas con el entorno de desarrollo y habilidades de programación.

ISBN 978-84-15914-12-9 © 2015 Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)

Dentro del contexto de la adaptación de los estudios de Ingeniería al Espacio Europeo de Educación Superior, las competencias adquiridas por el estudiante se han tomado como la referencia por la cual se definen los planes de estudio. En el caso de la Ingeniería (aunque también en otros campos) se han publicado diversas Órdenes Ministeriales que enuncian qué competencias tienen que adquirir los estudiantes de un determinado título, sobre todo para que el título en cuestión permita el acceso a determinadas profesiones reguladas, como la Ingeniería Industrial. Sin embargo, las competencias, aun siendo un instrumento útil, han resultado complejas de entender y de aplicar, y al mismo tiempo no son la referencia habitual en el entorno de la Ingeniería en Europa, sino que en su lugar se prefieren los resultados del aprendizaje. Es decir, aquello de lo que los estudiantes de un determinado programa son capaces cuando lo han superado con éxito. Sobre esta idea se basa, por ejemplo, el marco de acreditación EUR-ACE, propuesto por la *European Network for Accreditation of Engineering Education* (ENAEE). Este sello de calidad facilita a los programas que lo consiguen el reconocimiento internacional tanto académica como profesionalmente.

Recientemente la ANECA, en colaboración con el Instituto de la Ingeniería de España, ha elaborado un marco español para la obtención del sello EUR-ACE. Análogamente, se ha desarrollado un marco para la obtención del sello EUR-INF, en el ámbito de la Ingeniería Informática. En ambos casos supone la incorporación de criterios adicionales a los ya existentes en el proceso de renovación de la acreditación de los títulos. Esos criterios adicionales se resumen en el apoyo institucional al título y, precisamente, los resultados del aprendizaje. Lograr este sello se plantea como el próximo reto que deben superar los programas de Ingeniería en España.

Para superar el criterio de resultados del aprendizaje el título en cuestión deberá demostrar que todos los egresados alcanzan, sistemáticamente, los resultados que establece ENAEE, relativos a conocimiento y comprensión, análisis en Ingeniería, proyectos de Ingeniería, investigación e innovación, aplicación práctica de la Ingeniería, y competencias transversales. Esos resultados, que se describen con detalle en [1], deben alcanzarse a través de asignaturas concretas del programa. Cobra así gran relevancia la capacidad para definir qué resultados del aprendizaje se logra en cada asignatura, y de qué modo se pone en práctica.

El empleo de *MATLAB* y *Simulink* en la docencia venía siendo identificado con las prácticas de ordenador en simulación, y tan sólo en algunos casos se podía interactuar con el mundo real, pero a costa de una alta inversión tanto material como de software y mantenimiento del mismo. Sin embargo, *Mathworks* ha dado un gran paso en este sentido con la incorporación del soporte hardware para plataformas de bajo coste, tales como *Arduino*, *Lego*, *Raspberry Pi* y teléfonos móviles/tabletas. Esto ha motivado trabajos en los que se usa *Simulink* para MDE en robótica [2, 4], los haptics [3] y también, como en este caso a la educación [8].

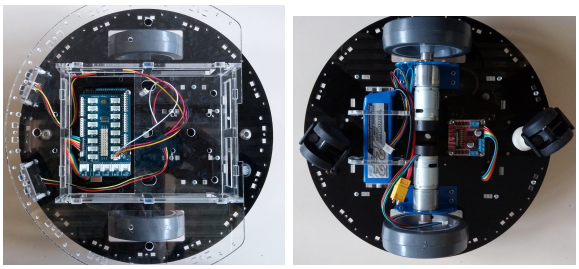

Figura 1: Vistas superior e inferior de la plataforma educativa de Robótica Móvil PIERO

El presente artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera: en la siguiente sección se describe la plataforma robótica educativa previamente desarrollada para estas aplicaciones. En la sección 3 se describe la experiencia de uso de esta herramienta desde el punto de vista subjetivo del profesor, y en la sección 4 se describe el experimento realizado para la evaluación objetiva del aprendizaje. Finalmente, la sección 5 analiza los resultados obtenidos y establece las conclusiones.

2. PLATAFORMA ROBÓTICA PIERO

2.1. Hardware

Las plataformas robóticas PIERO [5] consisten en un robot móvil con tracción diferencial (Véase Figura 1) y basadas en Arduino han demostrado una gran robustez y versatilidad para el empleo en diferentes asignaturas de robótica, control y mecatrónica.

La plataforma posee un sistema modular para reconfigurar su sistema sensorial y un sistema centralizado donde se pueden apreciar los siguientes componentes principales de su configuración más básica: dos servomotores motores provistos de codificadores angulares incrementales de efecto hall (con 1 grado de resolución), un circuito de potencia basado en un puente-h doble de hasta 2 Amperios, una batería de polímero de litio de tres celdas en serie y $2200mAh$, un *Arduino* con una *shield* para facilitar el cableado, un LED RGB co-

ISBN 978-84-15914-12-9 © 2015 Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)

Figura 2: Bloque principal de control de velocidad en Simulink.

mo sistema de señalización visual de eventos como el de batería baja, dos sensores analógicos de distancia por infrarrojos y un módulo de comunicaciones Bluetooth.

Las dimensiones de la plataforma, su robustez, autonomía y facilidad de uso la hacen muy adecuadas para su uso en laboratorios docentes de asignaturas de grado ó máster.

2.2. Control de bajo nivel

Con el objeto de poder realizar prácticas de robótica es necesario contar con un sistema de control de bajo nivel que controle los actuadores. En concreto, se ha desarrollado un bloque de control de velocidad de las ruedas que implementa un control realimentado mediante un algoritmo PI como se observa en la Figura 2.

El bloque de control de velocidad para *Simulink* se les proporciona a los alumnos y posee como entrada el vector de referencias de velocidad de las ruedas y devuelve como salida el vector de velocidades reales de las ruedas.

2.3. Un solo controlador de velocidad para toda la flota

Para la utilización y evaluación de la eficiencia docente de estas herramientas se ha construido una flota de séis robots (Véase Figura 3).

El sistema de control de velocidad se ajusta para cada servomotor y para cada uno de los robots mediante un proceso previo basado en la identificación del sistema y sus parámetros, para obtener un control de velocidad con el rendimiento deseado y equilibrado en ambas ruedas. Para llevar a cabo este proceso de identificación se ha desarrollado una herramienta interactiva que facilita a los profesores la obtención del modelo. Para tal fin, se han establecido unos parámetros de respuesta temporal de tiempo de subida de 0,5s y un tiempo de establecimiento de 0,91s. Cada uno de los motores de cada uno de los robots PIERO poseerá unos parámetros distintos tanto de su modelo como de constantes del controlador PI.

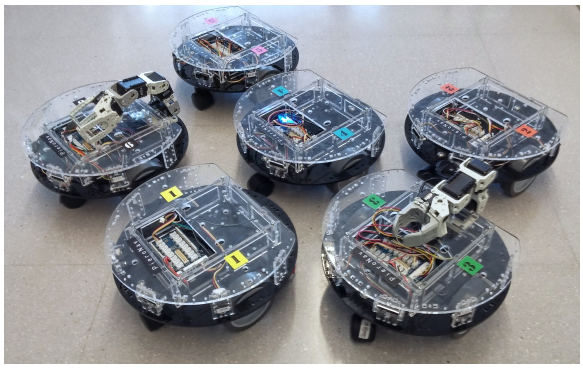

Figura 3: Flota de robots PIERO utilizada para medir el rendimiento de la metodología de Ingeniería Basada en Modelos

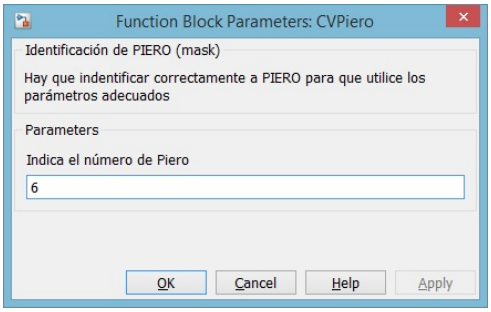

Figura 4: Ventana de selección del número de robot Piero que lo identifica.

Sin embargo, por simplicidad se ha decidido que todos los alumnos descarguen utilicen el mismo controlador, al que se le ha incluido un parámetro que identifica el robot, a introducir por el alumno, mediante el cual el controlador selecciona los parámetros correspondientes de una tabla (Véase Figura 4).

El la Figura 5 se muestra el proceso de selección del conjunto de parámetros de cada robot. La parametrización se encuentra dentro de la función *InitFcn* perteneciente a los *callbacks* asociados al bloque principal.

2.4. Ajuste, Simulación y Ejecución en tiempo real

El sistema de control de velocidad está basado en un controlador PI proporcionado por *Simulink* dentro de la sección de bloques discretos (Véase Figura 6). El controlador es un bloque que proporciona funciones de auto-ajuste que requiere de un modelo de simulación del sistema. Dicho modelo se ha incluido dentro del bloque de control de velocidad descrito en la sección anterior.

El modelo utiliza un control PI independiente para

ISBN 978-84-15914-12-9 © 2015 Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)

Content of callback function: "InitFcn"

```
%Configuración de los parámetros de Piero
%Parámetros de identificación de piero tf=K/(s + C)
 %Rueda izquierda
Ki=[0.1235 0.1117  0.1295 0.1373 0.1117 0.1025];
 Ci=[31.64 29.74 30.61 32.44 29.74 26.75];
 %Rueda derecha
 Kd=[0.116 0.1312 0.1401 0.1258 0.1188 0.1189 ];
 Cd=[30.33 31.91 32.39 30.92 32 30.63 ];
 %Parámetros de del controlador discreto PI paralelo P + I*T/(z-1)
 % tiempo de subida de 0.5 seg y tiempo de establecimiento de 0.91 seg
 %Rueda izquierda
 Pi=[4.84061748637492 5.00814421857047 4.45123008603953 4.4803785
 Ii=[968.123497274983 1001.62884371409 890.246017207905 896.07570
 %Rueda derecha
 Pd=[4.91669976906813 5.8297772781105 4.37514705933143 4.6454943
 Id=[983.339953813626 924.237148471486 875.029411866286 929.09887
```

Figura 5: Contenido de la función *InitFnc* para la particularización de forma individualizada a cada robot PIERO de los parámetros de su modelo y de los controladores PI.

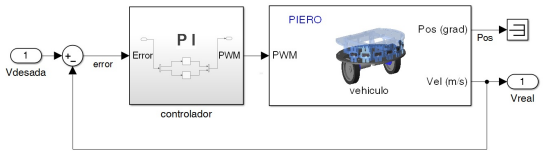

Figura 6: Diagrama del bucle de control PI independiente para cada rueda sobre el bloque vehículo.

cada rueda que actúa sobre el modelo de vehículo. Ésto se ha realizado así para permitir la sintonización de los controladores dentro del mismo modelo asistidos por la herramienta de sintonización de PID de *Simulink Control Design*.

Si el modelo se ejecuta en modo de simulación, podemos realizar la práctica sin necesidad de disponer de la plataforma de forma trasparente (sin tener que realizar ningún cambio en el modelo), con el consiguiente ahorro de tiempo en la fase de diseño y prueba de resolución de la práctica, entre otras ventajas.

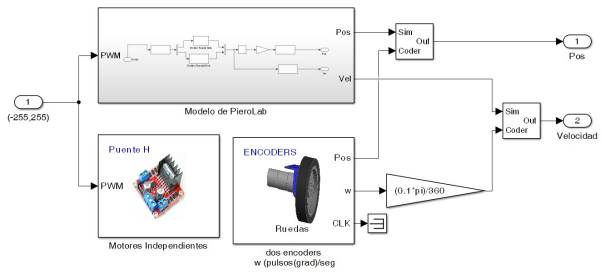

Figura 7: Diagrama del subsistema vehículo que incluye al sistema real y al modelo de PIERO simulado autoconfigurable.

2.5. Bloques de Simulink pre-programados

No obstante la principal forma de ejecución del modelo es sobre la plataforma PIERO, para lo cual hacemos uso de las funciones de generación automática de código que compilan y descargan nuestro modelo (*Deploy*) para su ejecución en tiempo real sobe el microcontrolador del Arduino.

La ejecución en modo interactivo (*External mode*) permitirían monitorizar y depurar los modelos pero poseen una utilidad limitada [5] debido a la degradación de los tiempos de respuesta que se produce en el robot.

3. USO DOCENTE DE HERRAMIENTAS MDE

La capacidad de poder usar esta herramienta en docencia, sin tener que dedicar tiempo de la asignatura a describir el sistema de desarrollo y aprender a utilizar un entorno de programación ha facilitado su adopción en múltiples asignaturas. En esta sección se describe la experiencia y evaluaciones subjetivas, desde el punto de vista del profesor, de la conveniencia del uso de esta herramienta en determinadas asignaturas de educación superior.

3.1. Asignaturas en las que se ha usado

Se ha adoptado la plataforma PIERO para la realización de prácticas en un gran número de asignaturas impartidas por el Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática desde el curso 2013-14, como se detalla en la tabla 1.

3.2. Ventajas del uso de MDE

Se ha observado que el uso de Ingeniería basada en Modelos para prácticas contribuye a reducir los inconvenientes de la necesidad de programación descritos en la Sección1. En concreto:

- Se concentra la atención en los resultados del aprendizaje del programa de la asignatura.
- El profesor no necesita aprender una nueva herramienta.
- Se aprovecha mejor el tiempo de las prácticas ya que no hay que resolver problemas propios de la programación.
- El profesor dedica su tiempo de supervisión de las prácticas de manera más eficiente.
- La evaluación de las prácticas se hace más fácil y objetiva ya que se cuenta con un lenguaje gráfico de alto nivel que expresa de forma directa la intención del alumno.

ISBN 978-84-15914-12-9 © 2015 Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)

Tabla 1: Asignaturas en las que se ha usado el enfoque MDE durante el curso 2014-15

Asignatura	Titulación
Regulación Automática	Grado Ing. Electrónica Industrial
Robótica y Automatización	Grado Ing. Electrónica, Robótica y Mecatrónica
Automatización y Robótica Industrial	Grado Ing. en Organización Industrial
Laboratorio de Robótica	Grado Ing. Electrónica, Robótica y Mecatrónica
Programación de Robots Industriales	Grado Ing. Electrónica Industrial
Modelado y Control de Sistemas Mecatrónicos y Robots	Máster Mecatrónica
Sistemas Mecatrónicos Tolerantes a Fallos	Máster Mecatrónica

3.3. Rendimiento docente

En particular, en la asignatura de *Sistemas Tolerantes a Fallos* se han realizado prácticas utilizando el enfoque MDE para la realización de un proyecto robots móviles. En comparación con el curso anterior donde se utilizó *LabVIEW*, se han eliminado dos sesiones (una sesión teórica de programación de diagramas de estado en LabVIEW y otra de prácticas) permitiendo dedicar más tiempo al proyecto. Además los resultados se han obtenido antes y se han alcanzado objetivos de mayor calidad.

4. MEDIDA DEL APRENDIZAJE

Para medir los resultados de la utilización del enfoque MDE basado en los robots móviles desarrollados, se ha diseñado una práctica basada en el modelo cinemático de un robot móvil

Se han realizado dos sesiones para un total de 16 alumnos voluntarios de asignaturas de grado de robótica industrial, utilizando una flota de seis robots móviles PIERO. En cada sesión se plantean tres fases de experimentación con un robot móvil con tracción diferencial:

- Experimentar con los efectos de las velocidades de las ruedas y estudiar las trayectorias obtenidas.
- Modelar la conversión entre referencias de velocidades cartesianas y articulares y experimentar con los modelos obtenidos.

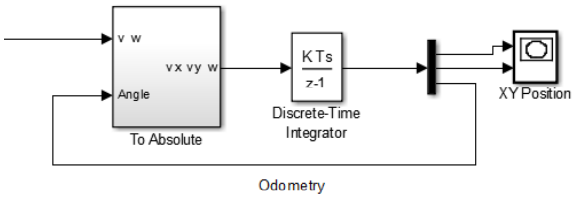

Figura 8: Ejemplo de solución a la tercera parte de la práctica de robótica móvil.

- Construir el modelo de obtención de las velocidades globales del robot y de su localización, verificando dichos modelos mediante simulación y ejecución en el sistema físico.

Para desarrollar el contenido de la práctica se han introducido los conceptos de espacios articulares y cartesianos de un robot móvil. Se les ha proporcionado el Jacobiano directo y los alumnos han desarrollado el modelo inverso en *Simulink* y han representado las variables articulares y cartesianas de manera vectorial, Calculando las velocidades del robot a partir de las velocidades de las ruedas, suministradas por el bloque de control descrito en la sección 2.5. Estos trabajos han sido monitorizados por el profesor para ayudar a resolver problemas de implementación. Asimismo se ha definido la pose o vector de posición global mediante las coordenadas en el plano XY más la orientación θ, obtenidas mediante integración numérica discreta. El alumno debe de construir el modelo en *Simulink* para la obtención de dicha pose a partir de las velocidades anteriores. En la Figura 8 se muestra un ejemplo del modelo realizado por los alumnos durante una de las sesiones para completar el objetivo de la tercera parte.

4.1. Desarrollo de la sesión práctica

Se ha planificado el siguiente cronograma de desarrollo de la práctica destinada a medir el aprendizaje.

Tabla 2: Actividades desarrolladas en la sesión práctica

Actividades	Duración
Introducción	5 min.
Evaluación Inicial	5 min.
Control articular	15 min.
Control Cartesiano	15 min.
Odometría	15 min.
Evaluación final	5 min.

Para la evaluación objetiva del aprendizaje se ha elaborado un formulario con tres partes: Una parte de preguntas sobre experiencia previa en prácticas

ISBN 978-84-15914-12-9 © 2015 Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)

robótica, *Simulink* y mecatrónica, ocho preguntas de tipo test sobre los conceptos de robótica que se pretenden enseñar, y seis preguntas por aspectos de programación y hardware del robot que no son necesario conocer usando el enfoque propuesto. Las tres secciones se ponderan de 0 a 10.

Para obtener una medida del incremento en conocimientos relativos a robótica y relativos a la plataforma en sí, se realiza una prueba de conocimiento antes y después de la práctica. Antes se les pide a los alumnos que respondan a las tres secciones del cuestionario de evaluación, y al finalizar se les vuelve a suministrar el mismo formulario, en el que sólo tienen que responder a las dos últimas secciones.

El incremento esperado del aprendizaje debería producirse exclusivamente en la sección de Robótica, mientras que los conocimientos sobre la plataforma (que etiquetaremos como *Arduino*) deben permanecer constantes ya que no han necesitado aprenderlos y los profesores no se los han enseñado.

5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Aunque los resultados subjetivos por parte de los profesores son claramente positivos en términos de ventajas aportadas y eficiencia del uso del tiempo del alumno y del profesor, es necesario examinar los datos de la evaluación objetiva realizada mediante los cuestionarios cuyos resultados se sintetizan en la tabla 3. En la fila denominada *Robótica* se evalúan los conceptos enseñados y en la etiquetada *Arduino* los conceptos no enseñados.

Tabla 3: Calificaciones promedio, antes y después de la práctica, relativas a temas de robótica y de conceptos sobre mecatrónica

Nombre	Antes	Después
Robótica	3.36	5.39
Arduino	2.60	3.44

Se observa un incremento general en el aprendizaje (Véase Figura 9 en cuestiones de robótica móvil y sorprendentemente se observa también un incremento en la media de puntuación de los conocimientos no enseñados, que puede corresponder a un aprendizaje propio motivado por interés personal o por obtener una mejor puntuación final. No obstante el incremento en los conceptos enseñados es superior.

Si bien el número de muestras obtenidas no es aún significativo, se observa un mayor incremento en alumnos con un menor nivel de experiencia previa

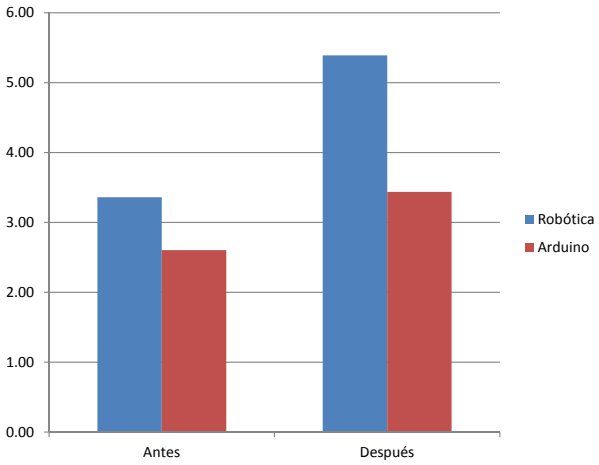

Figura 9: Evaluación objetiva antes y después de la realización de la práctica

obtenido de la primera parte de cuestionario, en ambos grupos de conocimientos.

La presente propuesta puede analizarse a la luz de este contexto, como una herramienta para poner en práctica eficientemente una parte de los resultados del aprendizaje que señala el marco EUR-ACE. En particular, dentro de este marco se consideran particularmente importantes los resultados en cuanto a proyectos de ingeniería y en aplicación práctica de la ingeniería. Así, dentro del área de proyectos de ingeniería, los titulados de grado deben tener:

- La capacidad de aplicar sus conocimientos para plantear y llevar a cabo proyectos que cumplan unos requisitos previamente especificados.
- Comprensión de los diferentes métodos y la capacidad para aplicarlos.

El desarrollo de la práctica propuesta incide precisamente en el cumplimiento de unos requisitos, así como la comprensión de los métodos implicados. El desacoplamiento respecto a la tecnología empleada permite incidir con más intensidad en esto.

Dentro del área de aplicación práctica de ingeniería, los graduados o graduadas deben tener:

- La capacidad de seleccionar y utilizar equipos, herramientas y métodos adecuados.
- La capacidad de combinar la teoría y la práctica para resolver problemas de ingeniería.
- La comprensión de métodos y técnicas aplicables y sus limitaciones.

ISBN 978-84-15914-12-9 © 2015 Comité Español de Automática de la IFAC (CEA-IFAC)

- Conciencia de las implicaciones, técnicas o no técnicas, de la aplicación práctica de la ingeniería.

La propuesta facilita la selección de métodos adecuados, al margen de la implementación tecnológica. Igualmente contribuye a la combinación de teoría y práctica, con mayor eficiencia en cuanto al tiempo dedicado para poder observar cómo inciden en los resultados obtenidos los métodos elegidos, su aplicabilidad y sus limitaciones.

Por otra parte, el marco EUR-ACE plantea los resultados del aprendizaje en el plano de grado, pero también en máster. El presente trabajo se ha centrado en el nivel de grado, pero puede ser de interés estudiar de qué manera pueden contribuir estas técnicas al diseño de asignaturas de grado y máster dentro de la misma temática, y como pueden ser una herramienta para alcanzar resultados del aprendizaje diferentes.

Agradecimientos

Nuestros agradecimientos a las profesoras Isabel García Morales e Irene Rivas Blanco que han participado en el proyecto y han colaborado con el desarrollo de este estudio.

Asimismo nuestro agradecimiento a todos los alumnos que han colaborado aportando mejoras a la plataforma y realizando las prácticas de robótica móvil.

Los trabajos realizados se enmarcan dentro del proyecto de innovación educativa de la Universidad de Málaga con código PIE13-134.

Referencias

[1] ANECA (2015), Guía de Evaluación para la renovación de la acreditación y la obtención del sello EUR-ACE para títulos oficiales de Grado y de Máster en ingeniería, http://eurace.iie.aneca.es/eurace.html

[2] Barber, R., Crespo, M. H. J. (2013). Control Practices using Simulink with Arduino as Low Cost Hardware. In The 10th IFAC Symposium on Advances in Control Education.

[3] Beni, N.; Grottoli, M.; Ferrise, F.; Bordegoni, M., (2014) Rapid prototyping of low cost 1 DOF haptic interfaces, Haptics Symposium (HAPTICS), 2014 IEEE , vol., no., pp.479,483, 23-26 Feb. 2014

[4] Gartseev, I. B., Lee, L. F., Krovi, V. N. (2011). A low-cost real-time mobile robot platform (ArEduBot) to support project-based learning in robotics & mechatronics. In Proceedings of 2nd International Conference on Robotics in Education (RiE 2011).

[5] Gil-Lozano, J.E. and Ramírez, AJ Munoz and López, V Torres and de Gabriel, JM Gómez, (2014), Uso de Simulink y Arduino para Prácticas de Robótica. Jornadas de Automática 2014, Valencia, España.

[6] Harel, D. (1987), Statecharts: a visual formalism for complex systems. Science of Computer Programming, 8(3):231 – 274, 1987. ISSN 0167-6423.

[7] Schmidt, D.C. (2006), Guest editor's introduction: Model-driven engineering. Computer, 39(2):0025–31, 2006.

[8] Sobota, J., Balda, P., Schlegel, M. (2013). Raspberry Pi and Arduino boards in control education. In Advances in Control Education (Vol. 10, No. 1, pp. 7-12).