

# Metodología para la realización de Proyectos Fin de Carrera basados en la robótica mediante un planteamiento por etapas

M. Arias, D.G. Lamar, M. Rodríguez, A. Rodríguez, P.F. Miaja, A. Vázquez, M. Fernández, M. Hernando

*Grupo de Sistemas Electrónicos de Alimentación*

*Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón. Universidad de Oviedo.*

Gijón, SPAIN

[ariasmanuel@uniovi.es](mailto:ariasmanuel@uniovi.es)

**Abstract**— Los Proyectos Fin de Carrera (PFC) constituyen una herramienta fundamental para lograr que los alumnos pongan en práctica muchos de los conocimientos y competencias que han ido adquiriendo a lo largo de la carrera y para que adquieran otros nuevos centrados en la temática del PFC en el que trabajan. En este artículo se presenta una metodología para extraer el máximo partido docente a la realización de PFCs centrados en el desarrollo de micro-robots para participar en concursos de robótica. Esta metodología se ha planteado como una serie de etapas, a superar por el alumno, con una dificultad técnica creciente. De esta forma, y de manera progresiva, el alumno aumenta su nivel de autonomía con respecto al profesor a medida que diseña y construye los diversos circuitos que componen el robot. La efectividad de la metodología se ha valorado mediante el análisis de dos aspectos: las notas obtenidas por los proyectantes que realizaron sus PFC al amparo de esta metodología y los resultados de las encuestas que rellenaron acerca de la misma.

**Keywords**-Autonomía, Etapas, Proyecto Fin de Carrera, Robótica

## I. INTRODUCCIÓN

La realización del Proyecto Fin de Carrera (PFC) constituye una etapa fundamental en la formación del futuro ingeniero. No sólo le permite poner en práctica los conocimientos y competencias adquiridos a lo largo de los distintos cursos académicos, sino que le permite profundizar en ciertos temas más específicos, aquellos en los que se centra el PFC que desarrolla. Además, el PFC constituye un paso intermedio entre la Universidad y la empresa, ya que el alumno se involucra en el desarrollo de un proyecto que tiene ciertas similitudes con la forma de trabajar que se encontrará en la empresa (plazos, soluciones abiertas, cierto grado de independencia en la realización de las tareas, etc.) sin perder el carácter docente y la supervisión de un profesor (tutor) [1]. No obstante, estos beneficios sólo se consiguen si el alumno afronta la realización de su proyecto con un elevado grado de implicación y participación, y no como un mero trámite a cubrir en el menor tiempo posible y con la menor cantidad de esfuerzo [2, 3]. En este aspecto, la robótica constituye un tema realmente interesante para el desarrollo de un PFC. Por un lado, el diseño y construcción de un robot atrae a un gran número de estudiantes. Por otro lado, los avances obtenidos durante la

realización del PFC resultan tangibles y llamativos para el alumno (movimiento de las piezas mecánicas y de los motores, comportamiento cada vez más “inteligente” del robot a medida que mejora su programación, etc.), y le ayudan a mantener un nivel de motivación elevado durante todo el desarrollo del PFC.

Desde el punto de vista del profesor, el desarrollo de un robot constituye una gran oportunidad. Es un PFC fácil de supervisar si se escoge cuidadosamente el tipo de robot a construir. Además, tiene un marcado carácter multidisciplinar [4]. Esto último permite que el alumno ahonde en diversos aspectos de la electrónica dentro de un mismo PFC: la electrónica de potencia es necesaria en la circuitería encargada del control de los motores, la instrumentación electrónica y la electrónica analógica en la adaptación de las señales suministradas por los sensores y la electrónica digital en el control del robot. Desde el punto de vista de otras temáticas distintas a la electrónica, ciertos aspectos y temas también se ven potenciados. Por ejemplo, el control de los motores (e incluso del robot) implica el uso de competencias propias de la regulación automática.

Obviamente, el desarrollo de un robot como PFC no está carente de inconvenientes. El principal es la complejidad. Al abarcar tantos aspectos y sistemas distintos (motores, sensores, etc.) la dificultad puede llegar a ser muy elevada. Esto se puede traducir en una duración excesiva del PFC que lo haga inviable. Existen dos posibles soluciones ante este problema:

- Centrar el PFC únicamente en el desarrollo de una o varias de las partes que componen el robot. De esta manera, es posible reducir el tiempo de duración del PFC y ajustarlo a los tiempos estipulados. No obstante, esta solución hace perder parte del carácter multidisciplinar y atractivo del PFC.
- Reducir la complejidad del robot. El desarrollo de un robot relativamente sencillo permite que, en tiempos acordes a la duración de un PFC estándar, un proyectante pueda desarrollar de forma completa un robot. El carácter multidisciplinar y atrayente se mantiene, pero no se ahonda tanto en cada tema a tratar dentro del PFC.

Cualquiera de las dos alternativas es perfectamente válida. La primera es más adecuada cuando se dispone de un robot

completo y complejo. De esta forma, aunque el alumno trabaje sólo en una parte del mismo, la visión de conjunto y el carácter motivacional no se pierden ya que su trabajo se prueba sobre un robot operativo y funcional. La segunda es más adecuada cuando se quiere un PFC con trabajo multidisciplinar.

En este artículo se propone una metodología para el desarrollo de micro-robots de competición como PFC. Es decir, está basada en la segunda de las alternativas anteriormente propuestas. Estas competiciones no requieren robots de una elevada complejidad ya que son robots de reducidas dimensiones y cuya finalidad son tareas relativamente sencillas: competiciones de resolución de laberintos, velocistas, sumo, etc. De esta forma, se cumple el que se considera el principal objetivo de esta metodología: que el PFC sea multidisciplinar. Así, los proyectantes pueden diseñar todos los aspectos de su robot sin alargar excesivamente la duración del mismo. La metodología propuesta se centra en el diseño y construcción de micro-robots siguiendo una serie de etapas. Con esta idea se busca ir dotando al alumno, de una manera progresiva, de un mayor grado de independencia (lo que constituye el segundo objetivo de esta metodología). Además, este planteamiento gradual del desarrollo también permite al alumno ir trabajando en tareas cada vez más complejas, aprovechando parte de las competencias y conocimientos adquiridos o potenciados en etapas anteriores.

En el apartado II se detallan las principales fases de las que consta la metodología. En el apartado III se explican algunos de los robots construidos durante el desarrollo de los PFC. En el apartado IV se muestra el análisis de la efectividad de la metodología propuesta. Por último, en el apartado V se plantean una serie de conclusiones y consideraciones finales.

## II. METODOLOGÍA POR ETAPAS

Para poder entender la metodología propuesta, conviene explicar brevemente la estructura básica del tipo de robots que se proponen. Son robots sencillos que emplean motores de pequeño tamaño, típicamente motores de cc, motores paso a paso o servomotores. Los sensores pueden variar según el propósito final del robot, pero suelen ser ópticos o de ultrasonidos. Por último, el control suele basarse en microcontroladores o, en algunos casos particulares, DSPs. En función del tipo de competición (seguidor de línea velocista, seguidor de línea para resolución de laberintos, lucha de sumo, etc.), la ubicación de los distintos elementos, su número, etc. puede variar.

Resulta importante resaltar que en este apartado se pretende dar una organización básica y una serie de consejos genéricos válidos para cualquier PFC centrado el diseño y construcción de robots. Existen muchos detalles, consejos e, incluso, sub-etapas dependientes del tipo de robot y de su diseño particular. Por lo tanto, cada tutor debe considerar estas recomendaciones como una guía o punto de partida a completar y particularizar en función de cada alumno y robot a diseñar.

### A. Diseño inicial

Una vez el alumno decide que quiere realizar un micro-robot de competición como PFC, tutor y proyectante deben decidir la finalidad del mismo (i.e.: tipo de competición), ya que eso influirá en su diseño. Esta decisión puede ser tomada

unilateralmente por el tutor en función de proyectos previos, competiciones que se realicen en su universidad, ideas que quiere probar, etc., por el alumno, en función de parámetros similares o de manera bilateral tras una reunión entre ambos. Las tres opciones han sido llevadas a la práctica y ninguna de ellas destaca sobre las otras dos. Su idoneidad viene marcada por las circunstancias particulares de cada PFC y tan sólo resulta conveniente resaltar que en caso de ser el alumno el que conciba la finalidad del robot, el tutor debe asegurarse de que no se está marcando objetivos demasiado ambiciosos (lo que suele ser habitual).

Una vez la finalidad del robot está clara, se establece un período de diseño inicial en el que el alumno debe decidir, a grandes rasgos, ciertos aspectos funcionales del robot: tipo de conducción (diferencial o con rueda guía), tipo de motores (motores de cc, servomotres, motores paso a paso, *brushless*), tipo de sensores (ópticos, ultrasonidos, CCD), número y colocación de los mismos, principio de funcionamiento del algoritmo de control del robot (uso de información analógica de los sensores o sólo información digital, tipos de acción de control, etc.), colocación de todos los elementos necesarios (motores, ruedas, pilas, placas de circuito impreso) en el espacio disponible, etc. La finalidad no es que el alumno llegue a una solución definitiva, sino que bosqueje un boceto inicial que le dé idea de todos los elementos implicados y su relación entre sí para lograr que el robot sea operativo. Esto debe lograrse mediante una combinación de trabajo autónomo del alumno (estudio de la literatura recomendada por el tutor) y acción tutorial directa. Resulta conveniente indicar que la literatura recomendada en esta etapa debe tener un carácter genérico y global, ya que presumiblemente es la primera toma de contacto del alumno con el tema de la robótica. Como se ha comentado, son demasiados los aspectos a considerar y muy dependientes de la finalidad de robot y de las ideas que se quieran poner a prueba. Por lo tanto, no se puede dar una solución óptima única para llevar a cabo esta etapa. No obstante, sí que se puede tener en cuenta los siguientes aspectos a la hora de plantear el robot:

- La conducción diferencial es más sencilla de implementar mecánicamente. La conducción con rueda guía es más compleja salvo que se parta de un chasis ya construido (e.g.: coche teledirigido).
- Un robot con rueda guía es más difícil de controlar que uno de conducción diferencial, lo que añade complejidad al algoritmo de control.
- Los sensores ópticos reflexivos son más sencillos de manejar e interpretar que los sensores de ultrasonidos [5], especialmente cuando la información de los primeros se usa en formato digital (presencia o no presencia de objeto o de línea en función de un comparador con histéresis).
- Los algoritmos de control de resolución de laberintos (donde los robots avanzan más despacio) son más fáciles de implementar que en el caso del control de robots velocistas (donde los robots avanzan a velocidades elevadas).
- Los algoritmos de control de robots para sumo, orientación en entornos no controlados (sin línea), etc. son de una complejidad muy variable y dependen enormemente de la versatilidad y calidad final de la solución que se busca [5].

Esta etapa debe ser cuidadosamente supervisada por el profesor. Un planteamiento inicial erróneo (entendiendo como tal uno que dé como resultado una complejidad de implementación elevada) debe ser reconducido a un planteamiento que, manteniendo el nivel de compromiso del alumno con el PFC, no implique una duración excesiva.

### B. PCI de motores

En esta segunda etapa, el alumno no sólo va a desarrollar la parte motriz del robot y buena parte de su chasis, sino que va a tener la primera toma de contacto con todos los programas a emplear, con las técnicas de diseño de Placas de Circuito Impreso (PCIs), con las técnicas de montaje y depuración de errores *hardware*, etc. Por lo tanto, esta segunda etapa conlleva un grado de supervisión muy alto por parte del tutor.

En esta etapa, es recomendable que el tutor explique los conceptos básicos de electrónica de potencia en los que se basa el control de motores (caso de ser preciso según el plan docente de la titulación) y deje al alumno un estudio autónomo de aspectos suplementarios como, por ejemplo:

- Diseño de la circuitería lógica de control para lograr regular el sentido y la velocidad de giro de cada motor (i.e.: señales de gobierno de los interruptores) mediante una señal de sentido y otra de PWM, en el caso de motores de cc, o señales equivalentes en el caso de motores paso a paso, servomotores, etc.
- Dimensionamiento de semiconductores y circuitos integrados para la parte de control.

Una vez el alumno ha finalizado estos puntos, puede pasar a diseñar el circuito completo encargado de controlar los motores del robot a partir de señales de PWM y sentido de giro (o equivalentes para el caso de motores distintos a los de cc). Tanto el estudio previo como el diseño del esquemático del circuito (potencia y control) deben ser convenientemente supervisados por el tutor de una forma continuada. Una forma muy sencilla es revisar el circuito diseñado por el alumno. Cualquier error en la comprensión de los conceptos puede ser fácilmente detectado por la forma en la que se ha diseñado el esquemático del circuito de control de motores.

Una vez se ha revisado el diseño del esquemático, el alumno debe pasar a un programa de diseño de PCIs. El circuito para el gobierno de los motores es relativamente sencillo en cuanto a número de componentes y este es otro motivo para que sea la primera PCI a diseñar. El tutor puede usarla para explicar al alumno, no sólo el manejo del programa de diseño (ORCAD, ALTIUM, etc.), sino para algo más importante como son las técnicas de un diseño eficiente: tratar de que las pistas de potencia sean anchas y cortas, juntar lo más posible los componentes para evitar ruidos, técnicas de trazado de pistas para evitar el uso de innumerables vías, etc. De nuevo, esta fase requiere una supervisión cercana del tutor, ya que, presumiblemente, es la primera PCI real a diseñar por el alumno. Normalmente, el primer diseño requiere bastantes correcciones y modificaciones hasta lograr una PCI de motores válida y eficiente (2 ó 3 revisiones y rediseños son habituales en esta etapa).

Por último, viene la fase de montaje y puesta en funcionamiento de la PCI diseñada. El montaje tan sólo requiere

unas breves explicaciones sobre como soldar, pero la puesta en funcionamiento es el primer gran hito de esta metodología. Cuando la PCI presente fallos, se debe ayudar al alumno a buscarlos y solucionarlos, pero explicándole cómo localizarlos, cómo corregirlos y cómo extrapolar lo que se acaba de explicar para un error específico a cualquier otro error que le pueda surgir. De esta forma, la supervisión se centra no en que alumno logre depurar los errores de la PCI de motores, sino en que alumno aprenda a buscar y solucionar los errores de cualquier circuito electrónico.

Como se puede ver, la idea de esta primera fase es que el alumno tome contacto con las herramientas básicas del diseño de PCIs y, lo que es más importante, comience a experimentar con la depuración y puesta en funcionamiento de sus diseños. Algo fundamental en esta etapa es que ambos aspectos los asimile el alumno mediante la guía y supervisión del tutor. La duración de esta fase es variable según el número y tipo de motores, pero ronda las 5-7 semanas. Al finalizar esta fase, el alumno debe tener un chasis de robot (motores, ruedas y PCI de control de motores integrados en un soporte) con capacidad de movimiento controlado mediante una señal PWM y otra de sentido para cada motor. Resulta conveniente destacar que la construcción del chasis debe tener en cuenta, de manera aproximada, la situación y tamaño de los sensores y las PCIs asociadas para poder dejarles el espacio necesario.

### C. PCI de sensores

La PCI de sensores no sólo va a incluir el diseño de los circuitos de adaptación de los sensores a emplear, sino que, presumiblemente, actuará como soporte de los propios sensores (por ello, es posible que en lugar de una, sea preciso diseñar varias PCIs de sensores). El tipo de sensores puede ser una elección realizada por el profesor, explicando al alumno el motivo de dicha elección en función de la finalidad del robot, o un aspecto a determinar por el alumno. En este último caso, antes de seguir con el diseño de la PCI de sensores, el alumno debe exponer al tutor las razones de la elección. El motivo es evitar que el alumno diseñe el circuito de adaptación de un tipo de sensores que luego no van a ser usados en el robot, lo que implicaría repetir todo el proceso de diseño de la circuitería.

Una vez el tipo de sensor está definido, el diseño de los circuitos de adaptación, el cálculo de los valores de los componentes, el dimensionamiento de los semiconductores, etc. es parte del trabajo autónomo del alumno. Es decir, no hay una explicación previa por parte de tutor acerca de estos temas. Una vez seleccionado el sensor y desarrollado el circuito de adaptación, el tutor revisa el trabajo de alumno. Aún siendo un diseño correcto, es fundamental que el tutor se asegure de que el alumno ha comprendido todos los aspectos claves de la circuitería desarrollada, le explique otros aspectos relevantes que quiere que le queden claros y no son habituales en la literatura, etc. Asimismo, si el circuito seleccionado no es el idóneo, el profesor puede, usando el bagaje adquirido por el alumno, darle una alternativa más correcta y explicarle los motivos.

Tras esto, el alumno puede proceder al diseño de la PCI mediante el programa correspondiente. Debe tenerse en cuenta que en la fase anterior se han dado al alumno todas las indicaciones necesarias para un diseño de PCIs adecuado. Aún

así, es posible que alguno de ellos no haya sido del todo asimilado. Por ello, resulta fundamental revisar el trabajo final desarrollado por el alumno y aprovechar para detectar esos consejos y técnicas no asimilados. No obstante, la autonomía del alumno en esta fase es notoriamente mayor.

Esta fase, incluyendo la puesta en funcionamiento de las PCIs y su colocación en el chasis es la etapa más corta de todas, siendo de unas 4 semanas aproximadamente. La circuitería es, salvo casos particulares, de una complejidad similar a la de la etapa anterior, con la salvedad de que en aquella el alumno debía aprender a manejar los programas de diseño de PCIs y debía familiarizarse con las técnicas de depuración de errores *hardware*. Es decir, la autonomía del alumno ha aumentado del mismo modo que la supervisión por parte del profesor ha disminuido con respecto a la fase anterior.

#### D. PCI de control

En la PCI de control se incluye el microcontrolador, o sistema equivalente, encargado de recibir la información obtenida por los sensores, analizarla y determinar cuáles deben ser las acciones de control sobre los motores. Es decir, determinar las señales de sentido y PWM para cada motor, en caso de ser motores de cc, o señales equivalentes en el caso de motores *brushless*, paso a paso o servomotores. Esta placa puede incluir, además, una serie de elementos adicionales como LEDs, zumbadores, sistemas de comunicación serie, etc., para monitorizar el comportamiento del robot.

Normalmente, la selección del fabricante es un aspecto determinado por la experiencia previa del tutor. No obstante, la selección del microcontrolador específico es una tarea a desarrollar por el alumno. Antes del diseño de todo el circuito, como en la etapa anterior, el tutor debe supervisar que la selección es adecuada y corregirla en caso de ser incorrecta. Los otros hitos de revisión deberían ser el diseño del circuito y el diseño de la PCI.

La puesta en funcionamiento de esta PCI en particular no resulta especialmente difícil, ya que es infrecuente cometer errores en este circuito. Por un lado, porque es una PCI que simplemente se encarga de conectar el microcontrolador con las dos PCIs anteriores (motores y sensores) y, por otro, porque el proyectante ya tiene experiencia previa.

El verdadero reto de esta etapa es el desarrollo del programa de control. Esto, junto con su implementación en el microcontrolador, resulta una tarea compleja ya que implica la puesta en funcionamiento de un sistema que combina *hardware* y *software*. Durante esta fase, no existen hitos de revisión fácilmente identificables, sino una labor de supervisión y ayuda bajo demanda por parte del tutor. Es decir, el alumno tiene claro el objetivo a conseguir (un robot funcional) y debe desarrollar el *software* para lograrlo. En caso de encontrarse un problema, el alumno debe tratar de resolverlo poniendo en práctica todos los conocimientos relativos a la depuración de errores adquiridos en las etapas anteriores. Si no es capaz, debe acudir al tutor explicándole el problema y las pruebas realizadas para tratar de localizarlo y/o solucionarlo. En esta situación, el tutor no debe dar la solución directamente, sino involucrarse con el alumno en la tarea de depuración tratando de guiar al alumno hacia la solución y dejándolo solo de nuevo cuando vuelve a estar encaminado. Lo que sí conviene es remarcar al alumno que las

placas ya desarrolladas (motores y sensores) no son inamovibles. Es posible que el problema detectado durante esta etapa tenga una solución basada en la modificación o rediseño de las PCIs desarrolladas en etapas anteriores. Lógicamente, es tarea del tutor determinar si ese rediseño hace que el proyecto sea demasiado complejo y extenso y sea preciso adoptar una solución de compromiso.

La duración de esta etapa es de unas 12 semanas, considerando todas las posibles modificaciones de diseño que puedan afectar a las PCIs de etapas anteriores.

#### E. Otros aspectos relevantes

Aunque están fuera del alcance de este artículo, resulta interesante citar una serie de iniciativas paralelas al planteamiento metodológico aquí presentado:

- Cada 2-3 meses, todos los proyectantes realizan una presentación de su trabajo al resto de compañeros y tutores para mejorar la técnica expositiva [6].
- Todos los proyectantes trabajan en la misma sala, fomentándose el aprendizaje en grupo y colaborativo.

### III. ALGUNOS PFCs DESARROLLADOS

En este apartado se pretende explicar brevemente las principales características de los robots desarrollados como PFC hasta la fecha siguiendo la metodología propuesta. Conviene destacar que incluso en los casos en los que la finalidad era la misma, todos los robots han sido desarrollados desde cero para no perder el carácter multidisciplinar del PFC.

#### A. Robot sigue-líneas en categoría de velocistas (conducción diferencial)

Emplea dos motores de cc con tren de engranajes (uno para cada rueda). Los sensores son de tipo óptico-reflexivo de corta distancia (CNY70). El microcontrolador es un PIC 16f877A (Fig. 1a). El robot cuenta con una matriz de 3x3 sensores en su parte frontal, permitiéndole obtener una fotografía de baja definición (9 "píxeles") de la zona de la línea a la que se acerca. En función de dicha fotografía, se actúa sobre los motores.

#### B. Robot sigue-líneas en categoría de resolución de laberintos (conducción diferencial)

Tiene una estructura similar al anterior, incluyendo el tipo de componentes electrónicos utilizados (Fig. 1b). La principal diferencia es que cuenta con 5 sensores dispuestos en línea en el frontal del robot. Los tres sensores centrales determinan la desviación del robot con respecto a la línea y fijan la acción necesaria para mantenerlo sobre la misma. Los sensores extremos detectan las posibles bifurcaciones de laberinto.

#### C. Robot sigue-líneas en categoría de velocistas (conducción con rueda guía)

Emplea dos motores de cc con tren de engranajes (uno para las ruedas motrices y otro para la orientación de la rueda directriz). Los sensores son de tipo óptico-reflexivo de corta distancia (CNY70). El microcontrolador es un PIC 16f876A (Fig. 1c). Cuenta con 3 sensores dispuestos en una línea en el frontal del robot. La placa de sensores es solidaria a la rueda

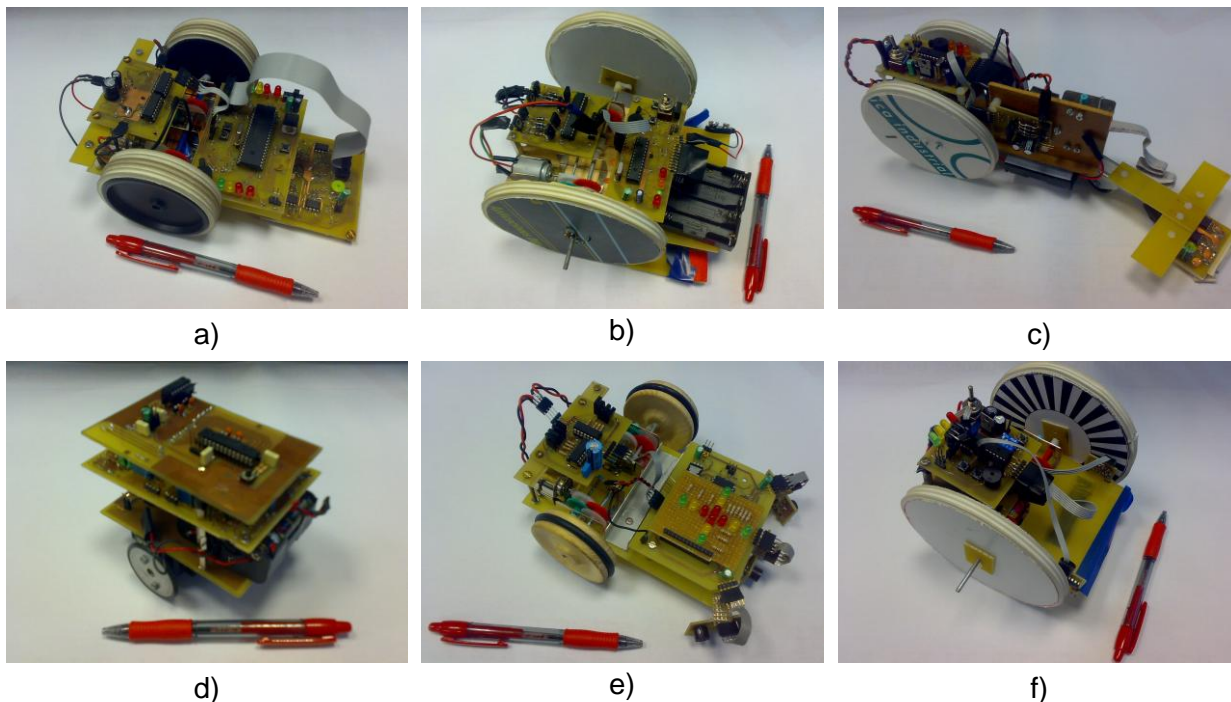


Fig. 1. a) Robot sigue-líneas velocista; b) Robot sigue-líneas laberinto; c) Robot sigue-líneas velocista (conducción con rueda guía); d) Robot resolución de laberintos con paneles verticales; e) Robot de exploración en entorno libre; f) Robot controlado por captación de imágenes.

directriz, de forma que el algoritmo de control trata de mantener los sensores centrados sobre la línea.

#### D. Robot de resolución de laberintos hechos con paneles verticales (conducción diferencial)

Emplea dos motores de cc con tren de engranajes. Los sensores son de tipo óptico-reflexivo de media distancia. El microcontrolador es un PIC 16f877A (Fig. 1d). Cuenta con 4 sensores: dos en las esquinas frontales, uno en la parte posterior y otro en la delantera. Los sensores proporcionan información analógica de la cercanía de las paredes. Con esta información, el robot puede reajustar su posición para centrarse dentro del pasillo y, además, buscar la salida del laberinto.

#### E. Robot de búsqueda por entornos abiertos (conducción diferencial).

Emplea dos motores de cc con tren de engranajes y sensores de ultrasonidos. El microcontrolador es un PIC 16f877A (Fig. 1e). Cuenta con 4 sensores: dos en las esquinas frontales, uno en la parte posterior y otro en la delantera. Los sensores proporcionan información analógica de la cercanía de cualquier tipo de objeto. De esta forma, el robot es capaz de deambular por entornos abiertos no predefinidos.

#### F. Robot de persecución (conducción diferencial).

Emplea dos motores de cc con tren de engranajes. El microcontrolador es un PIC 16f1933 (Fig. 1f). Una *webcam* capta una imagen del entorno de juego, la envía a un ordenador y este la analiza. En función de este análisis se determina la posición de robot dentro de la zona de juego, su orientación y la posición de la “liebre” (objeto móvil al que debe perseguir). El ordenador envía entonces las órdenes adecuadas al robot para lograr que este persiga a la “liebre”.

## IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los autores consideran que la efectividad de la metodología puede analizarse desde dos perspectivas distintas. Por un lado, las notas obtenidas por los proyectantes en la defensa de sus PFCs. Por otro, los resultados obtenidos en una encuesta realizada a los proyectantes con la idea de analizar su opinión respecto a la metodología empleada.

### A. Nota obtenida por el alumno en el PFC

Las notas obtenidas por los proyectantes en sus PFC son todas de Sobresaliente 10, lo que supone una nota 0,5 puntos superior a la media de la titulación (Ingeniería de Telecomunicación) en el PFC. Además, seis de los siete proyectos obtuvieron la mención de Matrícula de Honor. Aún cuando estos resultados son muy satisfactorios, hay que tener en cuenta una serie de aspectos.

Por un lado, la nota obtenida por los alumnos es un compendio de la calidad del trabajo realizado, de la calidad de la exposición, de la calidad de la memoria redactada y de la capacidad de responder a las preguntas del tribunal. Por lo tanto, también entran en juego aspectos personales propios del proyectante (conocimientos previos, capacidad expositiva, nervios, etc.) y no sólo de la efectividad de la metodología.

Por otro lado, el número total de PFCs dirigidos mediante esta metodología es de siete en cinco años. Por lo tanto, los resultados deben ser analizados y tenidos en cuenta desde un punto de vista individual y pormenorizado, no desde un punto de vista de análisis estadístico.

### B. Encuesta realizada a los alumnos

Para tener una visión de la efectividad de la metodología propuesta más allá de las notas obtenidas en los PFC, se realizó

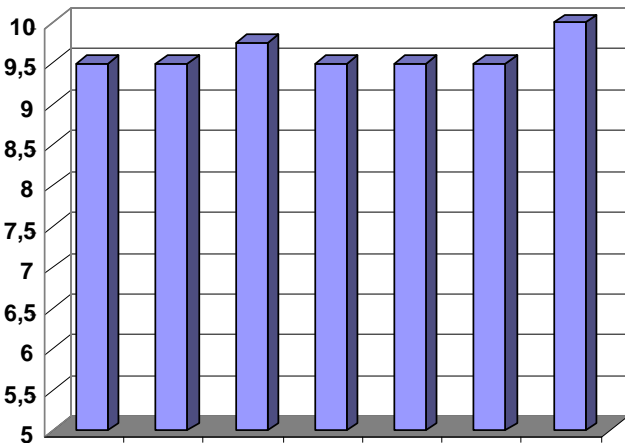
una encuesta a los 7 proyectantes una vez pasado algo de tiempo desde la defensa de los mismos. De nuevo, el número de participantes es muy limitado para una validez estadística formal, pero resulta imposible obtener una muestra más elevada dada las peculiaridades de la actividad que se analiza.

En Fig. 2 se muestran los resultados obtenidos. Como se puede comprobar, la metodología ha cubierto satisfactoriamente todos los aspectos que se pretendían potenciar (preguntas 1 a 4): han adquirido, de manera progresiva, las competencias para el diseño, fabricación y puesta en funcionamiento de circuitos electrónicos de diversa índole. Además, el tiempo invertido en la realización del PFC ha sido provechoso si se tiene en cuenta los conocimientos adquiridos y el tiempo invertido (preguntas 6 y 7). Este tiempo es de unos 7 meses incluyendo la redacción de la memoria. Los ensayos periódicos de presentación también han sido útiles (pregunta 5).

## V. CONCLUSIONES

Los PFC constituyen una herramienta fundamental para lograr que los alumnos pongan en práctica los conocimientos y competencias que han ido adquiriendo a lo largo de la carrera, pero para ello es preciso lograr un elevado grado de implicación y motivación en los alumnos. La robótica constituye un tema que suscita, en muchos de los alumnos, dicho niveles de motivación e implicación.

El principal problema de la robótica como tema de PFC es que el desarrollo de un robot íntegro por parte del alumno puede implicar un PFC de una duración excesiva. La solución puede ser el diseño de robots de reducidas dimensiones, con lo que el carácter multidisciplinar y motivacional se mantienen, ya que el alumno desarrolla de forma íntegra el robot, pero su duración es



- 1- El planteamiento por etapas del PFC (motores, sensores, microcontrolador) y la metodología de supervisión me han parecido adecuadas.
- 2- El orden de las etapas fue adecuado para lograr un incremento progresivo de la dificultad.
- 3- Fui consciente de un mayor grado de independencia con respecto al tutor a medida que avanzaba en mi PFC y mi conocimiento y destreza se ampliaban.
- 4- La cantidad de trabajo autónomo fue adecuado (incluyendo su progresión en el tiempo).
- 5- Los ensayos de presentación intermedios y finales me resultaron útiles y me permitieron mejorar mi técnica expositiva.
- 6- La relación tiempo dedicado/conocimientos adquiridos es adecuada
- 7- Estoy satisfecho con lo que he aprendido en el PFC

Fig. 2. Resultados de las encuestas rellenas por los proyectantes.

razonable, ya que su complejidad es menor.

El planteamiento por etapas propuesto en este artículo busca que el alumno comience el desarrollo de robot por las partes más sencillas con una supervisión continuada del tutor. De esta forma, el alumno adquiere, de una forma progresiva, las competencias específicas que no ha adquirido durante la carrera. En las etapas sucesivas, de una complejidad creciente, el alumno puede enfrentarse al diseño, construcción y puesta en funcionamiento de los circuitos con un mayor grado de independencia con respecto del tutor. En la etapa final, la puesta en funcionamiento del robot, el alumno es capaz de hacerlo sin prácticamente supervisión por parte del tutor.

La efectividad de la metodología queda patente tanto en las notas obtenidas por los proyectantes como en los resultados de las encuestas que los alumnos rellenaron acerca de la misma.

## REFERENCIAS

- [1] A. Mohan, D. Merle, C. Jackson, J. Lannin, and S. S. Nair, "Professional Skills in the Engineering Curriculum," *Education, IEEE Transactions on*, vol. PP, pp. 1-1, 2009.
- [2] A. J. Lopez-Martin, "Attracting Prospective Engineering Students in the Emerging European Space for Higher Education," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 53, pp. 46-52, 2010.
- [3] P. Sancho and B. Fernandez-Manjon, "Experiences in using a MUVE for enhancing motivation in engineering education," presented at Education Engineering (EDUCON), 2010 IEEE, 2010.
- [4] J. K. Archibald and R. W. Beard, "Competitive robot soccer: a design experience for undergraduate students," presented at Frontiers in Education, 2002. FIE 2002. 32nd Annual, 2002.
- [5] D. Huan and T. Inanc, "Low cost mobile robotics experiment with camera and sonar sensors," presented at American Control Conference, 2009. ACC '09., 2009.
- [6] D. Lopez, F. Sanchez, J. L. Cruz, and A. Fernandez, "Developing non-technical skills in a technical course," presented at Frontiers In Education Conference - Global Engineering: Knowledge Without Borders, Opportunities Without Passports, 2007. FIE '07. 37th Annual, 2007.

## BIOGRAFÍAS

- Manuel Arias ha sido profesor ayudante de la Universidad de Oviedo desde 2007. Intereses: electrónica de potencia, UPSs e iluminación basada en LEDs.
- Diego G. Lamar es profesor titular de la Universidad de Oviedo. Intereses: Electrónica de potencia, CFP e iluminación basada en LEDs.
- Miguel Rodríguez trabaja actualmente en la Universidad de Colorado (Boulder). Intereses: convertidores a muy alta frecuencia, control digital.
- Alberto Rodríguez es becario FPU de la Universidad de Oviedo. Intereses: Electrónica de potencia, convertidores bidireccionales, baterías.
- Pablo F. Miaja es becario FPI de la Universidad de Oviedo. Intereses: Electrónica de potencia, convertidores a muy alta frecuencia., control digital.
- Aitor Vázquez es becario FPI de la Universidad de Oviedo. Intereses: Electrónica de potencia, convertidores bidireccionales, CFP.
- Marcos Fernández es becario predoctoral de la Universidad de Oviedo. Intereses: Electrónica de potencia, iluminación basada en LEDs.
- Marta Hernando es catedrática de la Universidad de Oviedo. Intereses: Electrónica de potencia, convertidores bidireccionales, CFP.
- Javier Sebastián es catedrático de la Universidad de Oviedo. Intereses: Electrónica de potencia, CFP, iluminación basada en LEDs.