

Mecatrónica. Una asignatura basada en proyectos y gestionada por portfolio.

Cecilio Angulo Bahón^(a), Carles Torrens Balet^(b), Pere Ponsa Asensio^(a)
Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial
Universitat Politècnica de Catalunya

^(a)EUPVG. Av. Víctor Balaguer s/n. 08800 Vilanova i la Geltrú

^(b)EUPM. Av. de les Bases de Manresa, 61-73. 08240 Manresa
{cangulo, ctorrens, pponsa}@esaii.upc.es

Resumen

Un elemento clave en el aprendizaje de los estudiantes es la utilización de una estrategia didáctica motivadora capaz de crear la intención de aprender. Factores facilitadores son la curiosidad, relevancia del problema y noción de desafío. Por otra parte, la realización de un 'proyecto' es una herramienta de docencia universitaria adecuada para llevar a cabo nuevas estrategias de aprendizaje en el ámbito de las ingenierías que permite una evaluación de forma objetiva y global.

El ámbito de trabajo sobre el que se pretende abordar esta problemática es la mecatrónica [8]. Sin entrar en definiciones ambiguas, la idea primera a servir de base es la integración de áreas como la mecánica, electrónica y automática en proyectos multidisciplinares.

La propuesta aquí reflejada describe los elementos utilizados en la elaboración de una asignatura basada en proyectos sobre estructuras robóticas de tamaño reducido y bajo coste. La temática abordada despierta la curiosidad de los alumnos y les estimula el reto de elaborar un artefacto robótico que realice una tarea sencilla pero concreta y de forma eficiente. El vehículo de aprendizaje considerado como más apropiado es el portfolio, entregado al inicio del curso y retornado con aquellas aportaciones y comentarios que consideren oportunos los grupos de trabajo. La evaluación se completa con una memoria clara, concisa y exacta del producto-robot acabado, una exposición oral ayudada de elementos multimedia, así como una hoja elaborada por los profesores de seguimiento del trabajo en el laboratorio.

Palabras clave

Motivación; Aprendizaje Basado en Proyectos; Portfolio; Robótica móvil

1. Introducción

El objetivo general definatorio del marco de trabajo es intentar dar respuesta a algunas de las preguntas básicas que cualquier profesor universitario se plantea ante el proceso de aprendizaje de su alumnado [1]: ¿Qué hago para que el alumnado pueda aprender y no sólo aprobar? ¿Qué hago para que aquel alumnado que sólo quiere aprobar también pueda aprender?

Diferentes respuestas pueden darse a las preguntas planteadas y todas ellas ser válidas. En el presente estudio se han tomado como representativas aquellas que utilizan como estrategia didáctica la motivación del alumnado. La razón es intentar que la incertidumbre que provoca en los alumnos lo desconocido al comenzar cualquier asignatura la puedan interpretar como un desafío y despertar su curiosidad, más que como una amenaza a ‘no aprobar’ o apatía ante los nuevos conocimientos y habilidades por adquirir.

(a) Objetivos

Objetivo de nuestro trabajo son aquellos aspectos influyentes en su motivación, como la percepción de aprender algo interesante y útil, obtener calificación positiva, obtener recompensas externas a la tarea, aumentar su autoestima, autonomía y control personal.

La experiencia acumulada por un grupo de profesores en la dirección de proyectos finales de carrera sobre robótica móvil nos ha decidido a plantearnos el ejercicio de construir una asignatura capaz de generar motivación en los estudiantes, aplicando como metodología docente el aprendizaje basado en proyectos.

Los objetivos a cumplimentar son:

- La formulación de los objetivos formativos, no tanto aquellos sobre conocimientos como los referentes a la adquisición de procedimientos y habilidades.
- Innovar la metodología docente tradicional. Uso del portfolio como vehículo transmisor de conocimientos y formador de habilidades.
- Definir criterios de evaluación e indicadores claros, precisos y fácilmente medibles.
- Determinar un entorno favorecedor del proceso de aprendizaje y calcular el coste asociado en horas de trabajo de los alumnos y profesores, así como el material didáctico apropiado.

(b) Concepto de motivación

Un proyecto de robótica móvil permite ser diseñado como un modelo que focaliza sobre los conceptos centrales y principios de numerosas disciplinas de ingeniería, implica al alumnado en tareas de solución de problemas y culmina con un producto generado por los estudiantes, admisible en el mercado. De forma básica, para la realización de un robot son necesarios los siguientes elementos: un cuerpo físico (ingeniería mecánica), un microcomputador que controle el robot (ing. de control e informática), un cierto número de sensores que detecten el entorno (ing. electrónica), motores para actuar (ing. de control y eléctrica) y un programa que defina el

comportamiento del robot (ing. informática). En breve, puede considerarse cómo un trabajo mecatrónico (Figura 1).

Si existe una mínima infraestructura, el coste total de construcción de un robot móvil educacional es reducido, por debajo de EUR100, ya que los componentes informáticos y electrónicos son baratos, las piezas mecánicas no tienen por qué ser extremadamente robustas, el software es de coste cero en la mayoría de casos, y existen numerosos manuales disponibles on-line.

Un proyecto de estas características permite un aprendizaje multidisciplinar, supone un reto para el alumnado, concede nuevas perspectivas de conocimiento a la educación tradicional de una disciplina y es una herramienta que permite la adquisición de conceptos en cierta profundidad. Además, estas estrategias de aprendizaje permiten mejorar las habilidades del alumnado referentes al auto-aprendizaje (aprender a aprender), auto-gestión de la información, capacidad de innovación [4].

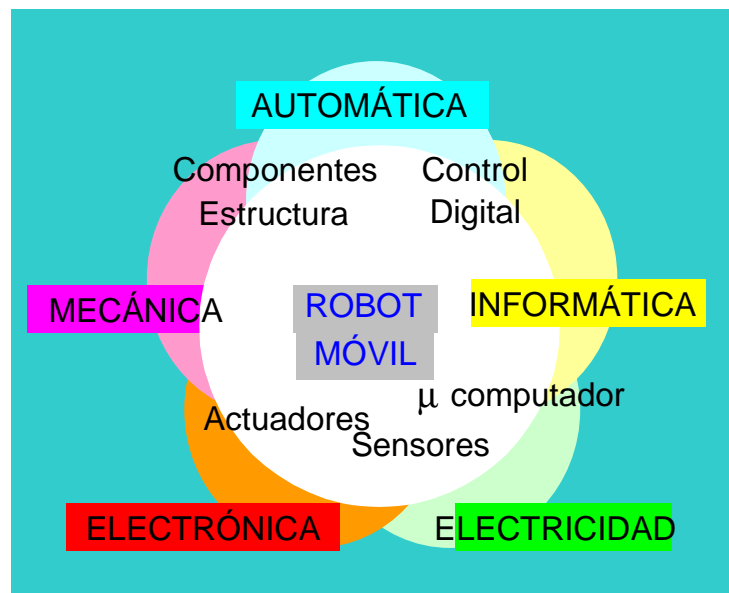


Figura 1. Un Proyecto en Robótica Móvil focaliza sobre los conceptos centrales de numerosas disciplinas de ingeniería.

Finalmente, una motivación nada negligible para implicar al alumnado en esta clase de proyectos es el prestigio profesional y social, así como un cierto aspecto de 'moda'. Desde la percepción de estudiante, el producto final es útil a la sociedad y a los potenciales usuarios, porque combina una gran diversidad de elementos diferentes de una manera óptima: efectividad de coste, flexibilidad y manteniendo un alto grado de prestaciones.

(c) Articulación del Aprendizaje: Proyecto gestionado con portfolio

Un 'proyecto' es una herramienta de docencia universitaria en el ámbito de las ingenierías que permite la transmisión, adquisición, descubrimiento y evaluación de habilidades y conocimientos del alumnado de forma objetiva y global. Se trata de un proceso formador único que implica la coordinación de elementos humanos, técnicos y

sociales hacia el logro de un objetivo específico en un marco de tiempo fijado y con una cantidad determinada de recursos.

Para el caso que nos ocupa, un proyecto se convierte en un instrumento necesario a utilizar como elemento base de vertebración del aprendizaje. Sin embargo, el alumnado a quien va dirigido el aprendizaje desconoce por completo las formas de gestión de proyectos por lo que se le ha de facilitar alguna guía o manual. Esta es la función del portfolio. Las experiencias recogidas por el profesorado y por anteriores compañeros se convierten en la forma más eficiente de introducción a la materia, a la vez que en un espejo de aquello que habrán sido capaces de analizar y mejorar al final de la asignatura.

2. Mecatrónica: Robótica Móvil

De inicio, es importante remarcar la diferencia entre la robótica integrada en un ambiente de automatización industrial y la robótica móvil. La robótica industrial representa un conjunto de estructuras mecánicas clasificadas y un conjunto de aplicaciones industriales que son el resultado de más de 40 años de experiencia en esta área. La robótica móvil es un área multidisciplinar emergente con numerosos problemas sin solucionar.

BACKGROUND			
	COMPONENTES MECÁNICOS	ELEMENTOS ELECTRÓNICOS	SOFTWARE
I	BÁSICO	MEDIO	NINGUNO
II	MEDIO	BÁSICO	MEDIO – BÁSICO
III	NO DEFINIDO	NO DEFINIDO	ELEVADO

Figura 2. Diversas aproximaciones a la Robótica Móvil.

(a) Diferentes versiones de Robótica Móvil

Diferentes versiones de definición son compartidas por los expertos: desde un simple robot (juguete) a un robot inteligente en el sentido de una criatura mecánica que puede actuar de forma autónoma [7]:

- *Es inteligente:* el robot no hace las cosas sin sentido, de forma repetitiva.
- *Es una criatura mecánica:* utiliza bloques de construcción mecánicos.
- *Es autónomo:* le es posible interactuar con su entorno, moverse en él, cambiarlo,...

En la Figura 2 se muestran diferentes aproximaciones al trabajo en Robótica Móvil: el Tipo I implica la construcción de un robot, con mecánica básica, una interesante combinación de sensores y comportamiento sin el uso de programación; en el Tipo II también se construye un robot, con capas mecánicas flexibles pero con pocos sensores, y un cierto nivel de programación; en el caso del tipo III, el robot se compra con los elementos mecánicos y electrónicos convenientes y el objeto de trabajo se centra en sofisticados algoritmos de control.

Tras observar esta taxonomía, no es difícil entender que en ocasiones se alegue que la construcción de un robot es una tarea complicada, que requiere de un buen equipo de investigadores en diferentes disciplinas y una importante inyección de dinero. En nuestra opinión, esto no es cierto cuando la robustez no se convierte en un aspecto crítico durante el desarrollo del robot. La meta final en la clase de proyectos que aquí se plantea no es el robot móvil en sí, sino los procesos de diseño, de construcción y de evaluación del elemento robot, es decir, un objetivo educacional, alejado de desarrollos de investigación, pero que quizás signifique un punto de inicio para futuros investigadores.

Ninguna de las aproximaciones anteriores resulta apropiada para un curso de ingeniería técnica, y por tanto se propone una alternativa que cumpla con los requerimientos educacionales establecidos desde el inicio como objetivos.

¿Qué es lo que nos motiva a intentar realizar una nueva aproximación a la robótica móvil desde el punto de vista educativo? ¿Por qué puede afirmarse que un proyecto integrado de construcción de robots móviles (Figura 3) es útil en la educación en ingenierías?

- (i) Por sus contenidos compilatorios: el trabajo sobre este tipo de proyectos permite evaluar de manera muy objetiva la capacidad de una futura ingeniera para formular un problema, buscar soluciones, escoger entre ellas y desarrollar una línea de trabajo para alcanzarla. Se hace necesario un esfuerzo de análisis para justificar sus elecciones y realizar conclusiones que sintetizen los resultados.
- (ii) Por sus condiciones de globalidad: el alumnado desarrolla un proyecto desde el inicio hasta el final, y debe de tratar con todos los problemas asociados. Además, para el desarrollo del proyecto se hace necesario un período de búsqueda de información sobre piezas y componentes, ya sea mediante el uso de Internet y recursos bibliográficos, o bien visitando vendedores y distribuidores para obtener información cercana, directa y reciente, por lo que se facilitan las habilidades sociales, un tema difícil de tratar en el seno de la Universidad.
- (iii) Por su resultado positivo: los estudiantes sienten la obtención de una recompensa al final del proyecto. Han sido capaces de crear, comenzando desde un papel en blanco, una estructura o máquina con comportamientos específicos. La tecnología y el diseño hacen posible la generación de acciones a partir de la teoría.

(b) Nuestra aproximación

Nuestra experiencia nos ha mostrado que los sensores en los robots son elementos clave para integrar diferentes disciplinas y poder definir un proyecto atractivo con objetivos claros de acuerdo a las preferencias y el 'background' de aquel o aquella que desarrolla el proyecto. Si a ello se le añaden las capacidades que permiten los elementos informáticos de bajo nivel de programación, da como resultado la posibilidad de recrear

numerosos comportamientos ‘tipo humano’ sobre una plataforma robótica móvil. Por otra parte, y ahora ya centrándonos en el potencial alumnado a quien va dirigido, el estudio con detalle de sensores permite a los estudiantes aprender y practicar numerosas bases teóricas de una manera amena y mostrándoles que las clases teóricas clásicas son interesantes y útiles.

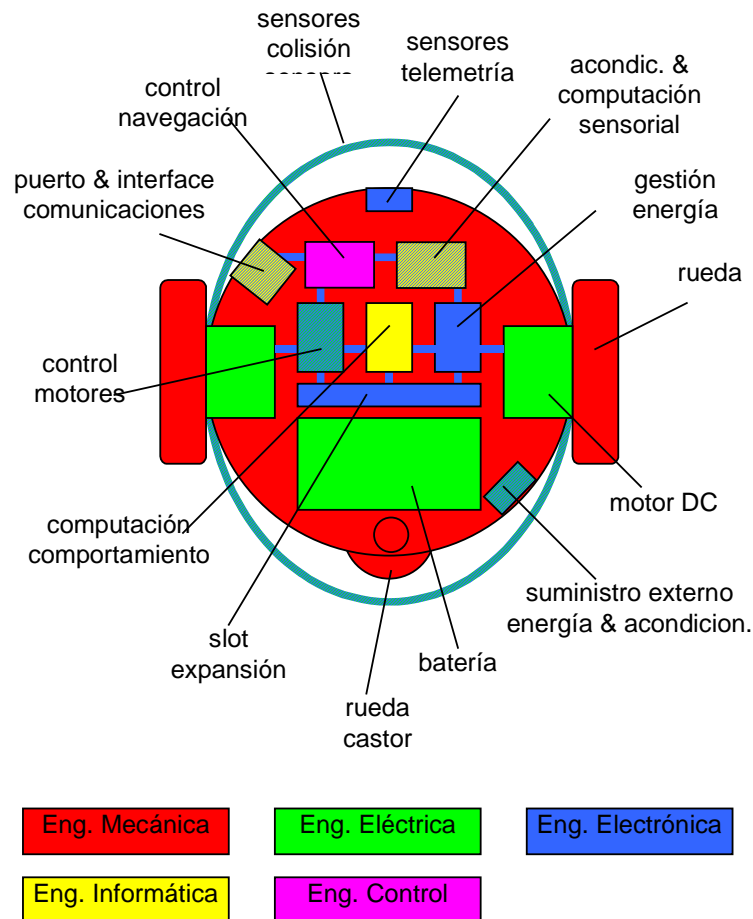


Figura 3. Robot móvil educativo estándar.

En algunos casos, es posible seguir un ‘libro receta de cocina’ de forma totalmente determinista que te permita construir un robot móvil de forma completa: diseño, integración sensor-actuador, control electrónico, comportamiento y entorno. Este punto de vista, seguido en especial cuando se utilizan como elementos base plataformas estándares en el mercado como Lego, presenta dos problemas. El primero es el específico punto de vista de cada diseñador (o de la plataforma comprada) que impone obstáculos a la integración en un campo genérico. El segundo obstáculo es el comportamiento pasivo del estudiante, quien actúa en modo *open loop*, en el sentido que simplemente sigue un conjunto de instrucciones.

Una alternativa para solucionar el primer problema es mirar más allá de la tarea de construir un robot. Otros ítems son necesarios para facilitar el aprendizaje, por ejemplo: una figura que muestre la evolución de un robot móvil particular; una tabla comparativa entre diferentes microcontroladores, motores, sensores; una discusión sobre el tipo de rueda que puede ser usada.

Para el segundo problema, la alternativa es cambiar el comportamiento pasivo del estudiante en un comportamiento activo, utilizando la construcción del robot como catalizador de este cambio. Por ejemplo, el modo *open loop* mode, basado sobre un conjunto de instrucciones deterministas:

“Por favor, tome A, entonces añada B, entonces añada C,...., y finalmente este es el robot”.

debe de ser sustituido por el modo activo propuesto:

“Por favor, busque información (A1, A2, ...), tome Ai, entonces añada B, entonces C1 OR C2?, ¿ Qué opina?,..., y finalmente este es el robot”.

Esta visión es un proceso dinámico que permite trabajar en modo *closed loop* y facilita el mecanismo de aprendizaje. Nuestra propuesta es permitir/obligar al estudiante a tomar sus propias decisiones durante la elaboración de la plataforma de forma razonada.

Cómo se observa en el ejemplo anterior, el profesorado divide la tarea en un conjunto de subtareas, para cada una de las cuales se define una submeta. El paso de una subtarea a la siguiente requiere el aprendizaje de habilidades motoras y cognitivas por parte del alumnado. El estudiante debería construir un conjunto de opciones dentro de cada subtarea y tomar una decisión razonada a partir de su análisis. Entonces el profesor actúa como un subsistema de ayuda a la decisión mediante el uso de respuestas cualitativas. Por ejemplo:

“(Estudiante): Mi opción ahora es la OPCIÓN-C.

(Profesor): Si tu opción seleccionada es OPCIÓN-C entonces pienso que tu decisión es fácil, o media, o compleja, o más difícil, o imposible”.

El estudiante actúa en forma de secuencia de decisiones enlazadas (una decisión en cada submeta). No es la manera óptima de actuación, ni el resultado final será del todo óptimo, pero se trata de una manera razonada personal y significa un compromiso que facilita la siempre difícil toma de postura ante un problema por parte de los estudiantes.

3. Herramientas Didácticas

Las actividades profesionales que el alumnado de carreras técnicas desarrollará y se le exigirán en su futuro próximo requieren, en una gran parte de los casos, de un enfoque en forma de proyectos para su realización: análisis, planificación, implementación, documentación, dirección, control, colaboración y puesta en común. Una formación académica universitaria que incluya el aprendizaje basado en proyectos permite enfrentar al alumnado con su inmediato futuro laboral sin la exigencia que existirá posteriormente de alcanzar un alto índice de adecuación sobre todas las metas planteadas. Es tarea del profesor la evaluación continua de los logros académicos y procedimentales marcados a través de indicadores claros y consensuados desde la fase de planificación.

El desarrollo de proyectos no es una tarea sencilla, como bien lo prueba la existencia de una disciplina propia cuyo énfasis es la administración de proyectos, por lo que es importante que los estudiantes se habitúen y familiaricen con esta forma de proceder tan

altamente productiva. Se ha de tener presente que el proyecto en sí mismo no es un fin, sino un medio para alcanzar una solución ante una necesidad, en este caso necesidad creada artificialmente. Desde una mirada educacional, las energías utilizadas por el alumnado durante el desarrollo de un proyecto no deben estar enfocadas tanto a la finalización del mismo, como al conocimiento y habilidades adquiridos durante el mismo.

Un factor que actúa como restricción importante en la definición inicial, es la característica temporal de la organización establecida para un proyecto. No sólo el proyecto como un todo es temporal, sino que la estructura interna del mismo está sujeta a posibles cambios. Este aspecto debe estar totalmente claro tanto para el profesor que da su visto bueno a la realización de un proyecto como para los miembros del equipo de trabajo.

Los proyectos propuestos permiten ser adaptados a las características de cada estudiante ya que su complejidad es ajustable y la profundidad del aprendizaje puede ser adaptado a las particularidades del alumnado, bien en mecánica, electricidad, electrónica, control, informática o cualquier combinación de ellos (Figura 1). Más aún, es posible combinar teoría clásica con tecnología de formulación reciente como un buen ejercicio de aprendizaje sobre la evolución de la técnica en un área específica.

La definición del proyecto es esencial para el éxito del aprendizaje. Con objeto de desarrollar la capacidad de diseño modular de los estudiantes, se hace necesario definir el proyecto no sólo como una meta en sí mismo, sino como un complemento y punto de inicio de otros nuevos proyectos. La cooperación es posible si se dispone de una planificación inicial apropiada, contando con el papel clave del enseñante como diseñador.

La figura del profesor variará a lo largo del proyecto. En un inicio, su papel es el de un profesor estándar estableciendo claramente los objetivos del proyecto (con diferentes grados de dificultad) y las especificaciones que permitan modularidad entre diferentes proyectos al mismo tiempo, o en momentos diferentes. Los estudiantes, por su parte, expresan al profesorado sus preferencias y al final se alcanza un acuerdo, de forma que a partir de este momento el enseñante pasa a desarrollar tareas de ingeniero jefe y los grupos de alumnos trabajan durante largos períodos de tiempo con una reducida supervisión del profesor o profesora. Se fijan también ciertos hitos temporales o plazos máximos con objeto de prevenir que el proyecto se aleje en demasía de sus metas principales. Los estudiantes informan al profesor de sus progresos de forma regular, quizás junto con otros estudiantes implicados en proyectos relacionados, y utilizan herramientas y recursos de forma autónoma. Finalmente, los estudiantes comienzan la construcción o modificación del robot móvil y a partir de este momento la figura del profesor debe ser entendida como la de un cliente, quien tiene la esperanza que el producto final cumpla con todas las especificaciones y promesas inicialmente realizadas.

El conjunto de tareas asignadas al profesorado son:

- Como diseñador de objetivos: la meta final, su partición en un conjunto de subtareas y las condiciones de entorno..
- Como supervisor: evolución de cada submeta y de la tarea final, así como la detección de comportamientos anómalos y correcciones.
- Como cliente: calidad del producto final, coste ajustado, tiempo limitado de construcción del robot.

- Como tutor: ayuda in line, creación de materials didácticos, selección de bibliografía.

En cualquier caso, si el proyecto está bien definido desde el comienzo con objetivos e hitos temporales muy claros, la figura del enseñante no es crítica en este tipo de aprendizaje. Los estudiantes entienden que jefes y clientes son una parte de una sociedad global y tienden a adaptarse al entorno. Es necesario eliminar actitudes extremas, pero diferentes estrategias podrían ser utilizadas en función de las habilidades de los estudiantes con el fin de mejorar los aspectos de aprendizaje más sociales.

Para completar el proyecto de una forma profesional, debe ser generada una documentación suficiente para satisfacer un doble propósito: mostrar avances y resultados del trabajo actual y facilitar el desarrollo de futuros módulos basados sobre la misma estructura o componentes.

4. Organización docente

En la elaboración de una asignatura, un paso importante es la identificación precisa del objetivo general. Según sea la temática abordada no siempre es posible llegar al grado de precisión que sería deseable, pero debe intentarse. En nuestro caso, la asignatura *Mecatrónica* se ubicaría como optativa en los planes de estudio de Ingeniería Técnica Industrial (especialidades Electrónica Industrial, Mecánica o Electricidad) o de Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones (especialidad Sistemas Electrónicos) dentro del cuarto o quinto cuatrimestre, en función de la especialidad donde se imparta. El objetivo general y definatorio de la asignatura sería

“La adquisición de conocimientos y desarrollo de habilidades necesarias para elaborar y defender un proyecto de robot móvil de tamaño reducido y bajo coste que realice una tarea sencilla pero concreta y de forma eficiente”

(c) Objetivos Formativos y Habilidades

Al finalizar la asignatura Mecatrónica, el alumnado debería ser capaz de:

- Especificar y desarrollar un proyecto de ingeniería que intente dar respuesta a un problema de robótica móvil sencillo planteado
- Desarrollar una búsqueda de información relevante sobre un tópico de forma autónoma
- Defender un trabajo propio de forma argumentada, con el uso de herramientas multimedia y de documentos escritos justificativos
- Argumentar una toma de decisiones ante un auditorio reducido
- Contrastar opiniones en un grupo de trabajo
- Realizar documentación técnica que permita afianzar una exposición oral
- Validar información recogida a través de diferentes canales

(d) Programa de Contenidos

Una dimensión adecuada para esta asignatura serían 6 créditos, 60h de asistencia a clase más 60h de estudio y trabajo fuera de clase. Las horas de clase se dividen en un máximo de 20 horas de introducción de conceptos teóricos y un mínimo de 40 horas de clase práctica y de formación de habilidades en laboratorio.

Las horas de contenido teórico se utilizan para afianzar conceptos básicos y están orientadas a describir el uso correcto del portfolio y de la información allí contenida, particularizada en función de la especialidad, es decir el auditorio.

Una organización correcta de las horas de prácticas sería en tramos de 4 horas para conseguir el máximo aprovechamiento y consecución de destrezas.

A continuación, se presenta un posible programa de contenidos de la asignatura:

1) FUNDAMENTOS

- a) Breve cronología histórica
- b) Lazos entre mecánica, electrónica y automática
- c) Investigación y docencia en mecatrónica
- d) Panorama actual. Aplicaciones

2) ACTIVIDADES DOCENTES

- a) Niveles jerárquicos
 - i) Localización física
 - ii) Organización
 - iii) Recursos materiales
- b) Primeras actividades
 - i) Diseño mecánico
 - ii) Robótica móvil
 - iii) Estaciones de trabajo automatizadas

3) ROBÓTICA MÓVIL

- a) Proyecto para estudiantes universitarios
- b) Lecciones aprendidas
- c) Imaginación, artesanía y método

4) PROYECTO DE CREACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL

- a) Tipos de chasis
- b) Selección y disposición del equipo motor-reductor
- c) Cinemática y dinámica de mecanismos
- d) Sensórica
- e) Etapa de potencia
- f) Control mediante microcontroladores
- g) Programación de actividades
- h) Comportamiento del robot respecto a su entorno
- i) Algoritmos de control avanzado
- j) Aspectos formales (memoria escrita y presentación oral)
- k) Trabajo multidisciplinar
- l) Robots móviles y actividades lúdicas

El tema “Fundamentos” hace referencia al contexto general del concepto “Mecatrónica”, abarcando diversas disciplinas científicas, y pudiéndose plantear a nivel docente o a nivel de investigación. El tema “Actividades docentes” permite la discusión sobre qué recursos son necesarios y qué aplicaciones pueden tratarse como sistemas mecatrónicos. El tema “Robótica Móvil” plantea el diseño formal de robots móviles, complementado con el tema práctico “Proyecto de creación de un robot móvil”.

(e) Evaluación

La clase se puede dividir en 7 grupos de trabajo. Cada grupo estará formado, en la medida de lo posible, por estudiantes de diferente especialidad, por ejemplo de ingeniería electrónica, ingeniería mecánica e ingeniería de telecomunicaciones.

Cada grupo desarrolla un proyecto a lo largo del curso. La calificación final es el promedio entre la evaluación continuada y el proyecto final. Por ejemplo

$$(\text{Parte I} + \text{Parte II} + \text{Parte III} + \text{Parte IV}) * 0,4 + \text{Proyecto} * 0,6$$

donde Parte I, II, III y IV son ejercicios complementarios a la teoría, que permiten observar el seguimiento de los estudiantes, mientras que en el Proyecto se desarrollan las habilidades prácticas y sociales.

Respecto al proyecto, una memoria de proyecto concisa y apropiada será evaluada junto a su presentación oral, valorándose el uso de elementos multimedia. Un índice de memoria común será facilitado por el profesorado al inicio de la asignatura para todos los grupos. El seguimiento continuado del aprendizaje se realiza mediante una hoja de control cumplimentada por el profesor durante las sesiones de trabajo. Un último criterio de evaluación es la valoración de las modificaciones introducidas por los alumnos en el portfolio entregado al inicio de la asignatura.

La adición de comentarios, experiencias y material por parte de los estudiantes servirá para actualizar la documentación en cada edición de la asignatura.

Algunos ejemplos de proyectos a realizar serían:

- Análisis de posibles chasis para micro-robots
- Comparación de prestaciones entre diversos motores
- Tipos de sensores a utilizar y tipos de comportamiento que se desea del robot
- Comparativa entre controladores
- Discusión del tipo de arquitectura y disposición de las placas de control
- Comparativa entre diversas formas de programación
- Formalismo mecánico de posibles engranajes para robots móviles
- Comparación de prestaciones entre las diversas baterías

(f) Recursos

Para un grupo de 40 alumnos, se calcula una inversión inicial de alrededor de 2000 euros en material fungible, cuya renovación significará unos 400 euros por curso. Además se ha de tener en cuenta el coste de la adecuación del laboratorio, en caso de faltar elementos de construcción mecánica.

Ejemplos de material a ser utilizado:

- Robot Picbot 2
- Entrenador y programador de microcontroladores PICs
- Robot TRITT
- Entrenador y programador de microcontrolador M68HC11 de Motorola
- Sistema MINDSTORM (robot + controlador + software RCX) de LEGO
- Material diverso (complementos, soldadores, destornilladores, etc.)

En lo que respecta al trabajo fuera de horas de clase, se ha de prever horas de apertura del laboratorio. El coste en horas de trabajo de los alumnos no debe superar las 60 horas. Por parte del profesorado, la inversión inicial en horas de elaboración y recopilación de documentación se valora en unas 200 horas. El material y presentaciones aportados por los alumnos y una sintonía fina de parámetros de la asignatura reducirá la carga entorno a las 60 horas.

(g) *Laboratorio de Mecatrónica*

Un aspecto interesante a considerar es el diseño específico de un *Laboratorio de Mecatrónica*, un espacio físico concreto para el desarrollo de prototipos, o para la puesta en marcha de estaciones de trabajo.

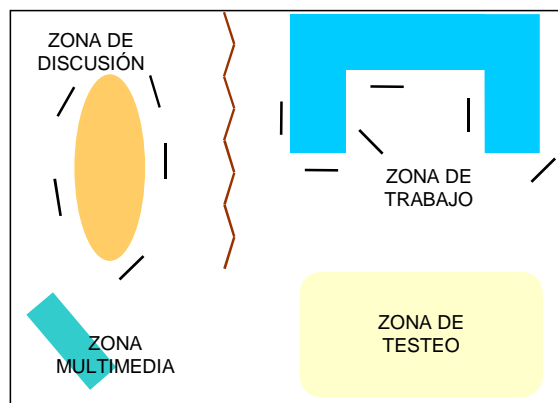


Figura 4. Diseño del laboratorio de Mecatrónica.

Usualmente en los centros universitarios técnicos ya se dispone de laboratorios divididos por temáticas. La formación del futuro ingeniero pasa por la aplicación y consolidación de los temas aprendidos en forma de prácticas de laboratorio en grupo. Estos laboratorios pueden agruparse por separado en temáticas como *automatización de procesos*, *diseño mecánico de estructuras*, o *diseño y puesta en funcionamiento de circuitos electrónicos*. Nuestra propuesta consiste en realizar una redistribución física, diseñar un *Laboratorio de Mecatrónica*, con actividades planificadas a medio plazo, orientadas a la integración del conocimiento [3].

1ª Semana	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El estudiante escribe una primera especificación informal. ▪ Profesor y alumno discuten este documento. Aquí es vital la experiencia del profesor, quien debe ajustar los propósitos. ▪ Redactar una especificación formal.
2ª Semana	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revisión de las posibilidades actuales. ▪ Revisión de la especificación, se añaden objetivos y restricciones técnicas. ▪ Selección de una arquitectura para el robot.
3ª Semana	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Selección de una configuración de locomoción. ▪ Nivel alto del diseño del robot. Identificación de módulos y flujo de información. ▪ Selección de actuadores para la locomoción.
4ª Semana	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Selección de los sensores. ▪ Selección de los elementos de cálculo. ▪ Cálculo de los requisitos de energía, comenzando por las especificaciones y los componentes seleccionados. ▪ Revisión del diseño de alto nivel.
5ª Semana	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Crear dibujos de ayuda mediante ordenador de los componentes seleccionados. ▪ Seleccionar una forma para el robot. ▪ Crear dibujos de ayuda de todo el robot.
6ª - 7ª Semana	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diseño eléctrico y prototipo. ▪ Diseño eléctrico completo del robot.
8ª Semana	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revisión de los planos de todo el robot. ▪ Construcción y mecanizado de la plataforma mecánica que hará de soporte para todos los componentes.
9ª Semana	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fabricación de los circuitos impresos. ▪ Ensamblaje de todos los componentes y circuitos.
10ª Semana	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programación y test del control a bajo nivel.
11ª Semana	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programación y test del control y las comunicaciones a alto nivel.
12ª - 13ª Semanas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programación de aplicaciones de test exhaustivas. ▪ Determinación de las características técnicas finales del robot. ▪ Especificaciones, diseño y programación de la aplicación final.
14ª Semana	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis económico. Cálculo de costes del robot prototipo y estimar el precio que debería tener su implementación comercial.
14ª - 15ª Semanas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escribir la documentación.

Tabla 1. Planificación temporal de actividades

Desde el punto de vista clásico, un estudiante de ingeniería evoluciona de forma secuencial: primero, lecciones sobre A en clase y actividades en el laboratorio A1, luego lecciones sobre B y actividades en el laboratorio B2, etc. Para la construcción de robots se hace necesario introducir un cambio en esta metodología.

Así, el laboratorio debe conformarse como un espacio flexible dividido en dos subáreas. En primer término, en él se desarrollarán las actividades en grupo para clases aplicadas de problemas prácticos. Una segunda fase consiste en potenciar el desarrollo de los proyectos.

La Figura 4 muestra una posible división en subáreas del laboratorio de Mecatrónica. La zona de discusión y planificación de tareas permite el trabajo en grupo entre estudiantes o entre éstos y el profesorado. La zona de vídeo y multimedia permite mostrar algunos detalles gráficos sobre robots y sirve también para el apoyo de presentaciones orales y/o de formación inicial. La zona de trabajo permite construir los prototipos mediante las herramientas pertinentes. Para finalizar, la zona de test permite poner en marcha el robot, y comprobar si el producto está bien realizado o requiere retoques de diseño o programación.

(h) Planificación de actividades

El proyecto tiene que estar finalizado en el período docente que concreta la Universidad, en concreto 4 meses (15 semanas), con una dedicación de unas 8 horas a la semana. Por lo tanto, tenemos 120 horas para construir un robot móvil. Observamos la metodología propuesta [9] a través de la Tabla 1, y su interrelación a través de la Figura 5, donde cada paso se modela mediante un bloque cuadrado de tamaño proporcional al coste temporal de la tarea objetivo. Tras completar ciertas faenas, se obtienen, bien un conjunto de documentos, bien una serie de implementaciones, a ser utilizadas en subsiguientes pasos del método.

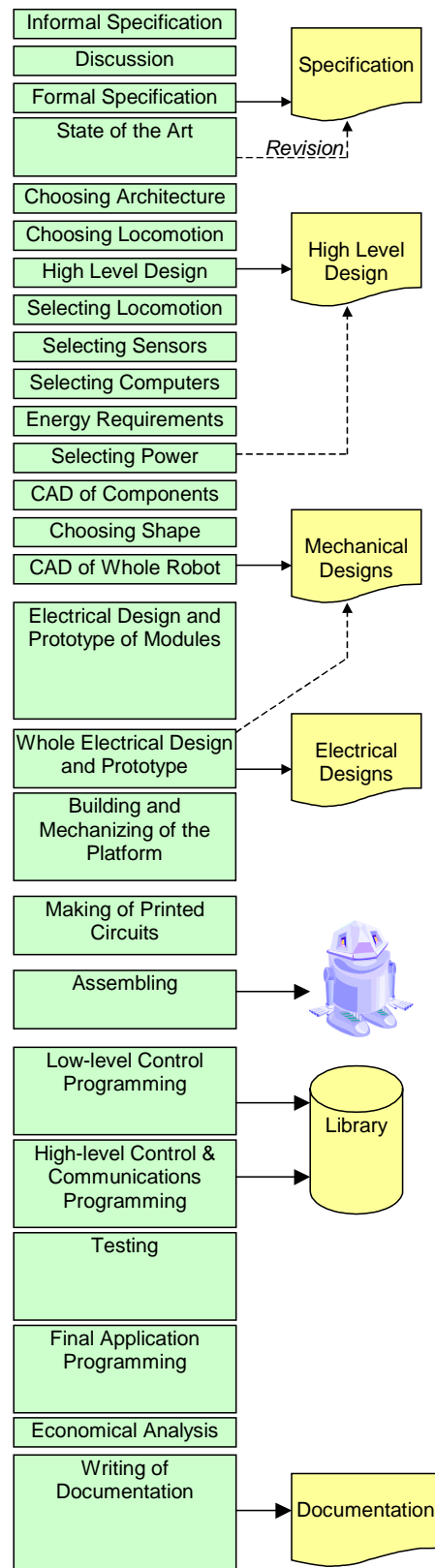


Figura 5. Metodología de trabajo

Debido a las restricciones de tiempo, los proyectos de robots móviles que se están desarrollando en el presente tienen ciertas limitaciones que pueden ser vistas como restricciones técnicas en la especificación. Estas son:

- Sólo se considera locomoción mediante ruedas o vías (para simplificar su dinámica y cinemática)
- Los actuadores de movimiento son motores DC (para reducir la complejidad del control de bajo nivel).

Asumiendo las restricciones técnicas anteriores, se sigue con mayor detalle la explicación de la metodología propuesta.

Especificación de un proyecto. Es la técnica de describir sin ambigüedades todos los objetivos que se desean haber alcanzado una vez culminado, asumiendo nuestras limitaciones. Una buena especificación inicial incrementa significativamente la probabilidad de éxito en un proyecto, pero es una de las tareas más difíciles de realizar.

Existan numerosas técnicas útiles para llevar a cabo una buena especificación, muchas de éstas se centran en la construcción del software, y el uso de software de ingeniería. En el caso de los robots móviles, una especificación debe describir como mínimo:

- Comportamiento básico.
- Dimensiones totales.
- Peso máximo, incluyendo la carga.
- Nivel de autonomía: enchufe permanente, baterías, tiempo mínimo de autonomía.
- Tipo de locomoción: ruedas, raíles.
- Tipo y forma del terreno a utilizar.
- Requisitos de velocidad máxima y aceleración.
- Nivel de interacción con el entorno.
- Escalabilidad: si queremos un diseño cerrado o si lo queremos con la posibilidad de ampliación.
- Reutilización.
- Coste lo más económico posible.

Para generar unas especificaciones es necesario describir las necesidades de un futuro comprador, un individuo que asuma como beneficiosa la fabricación del robot móvil. En nuestro caso, el trabajo del comprador se comparte entre estudiante y profesor. El primero escribe una especificación informal de la tipología del robot que se supone va a construir, e indica también aquello que no es preciso o incluso es inadecuado. Este documento debe reflejar todos los propósitos del estudiante para su futuro robot. Por ejemplo,

“Yo querría construir un pequeño robot con movimiento mediante ruedas que reconozca mi voz y que ejecute algunos comandos verbales simples como *ves a la habitación*, o *sígueme*. Por otra parte, el robot tiene que ser capaz de decir algunas frases pregrabadas

como *Hola yo soy el robot*. Mi robot debe operar únicamente con baterías, y. . . “

Este escrito no es muy específico, pero suficiente para que el profesor identifique algunos detalles importantes, como por ejemplo: el estudiante quiere construir un robot con movimiento mediante ruedas, de pequeño tamaño (y quizás de peso reducido), autoalimentado, de coste económico, con reconocimiento de voz y capacidad de sintetización.

Los requisitos anteriores no cumplen las especificaciones mínimas, y tienen que ser extendidos con la ayuda del profesor, quien en ese momento adquiere el rol de comprador. Los requisitos de reconocimiento de voz parecen ser demasiado ambiciosos para poder llevar a cabo el proyecto en el tiempo disponible y el profesor sugiere otro comportamiento: el robot debería ser capaz de identificar sonidos graves repentinos como palmadas o gritos y moverse hacia el origen de éstos. Ahora puede escribirse una especificación más formal:

“Se pretende construir un robot móvil mediante ruedas, que reconozca sonidos y se mueva hacia el origen de éstos. Además, el robot tiene que ser capaz de reproducir algunas frases pregrabadas como por ejemplo: *No oigo nada* o *Quien hay aquí?*. La estructura del robot debe estar contenida en un volumen máximo de 15 x 15 x 15 cm y tiene que ser capaz de llevar una carga de 1 Kg. Queremos que el robot trabaje con baterías recargables, incluidas en la estructura, permitiéndole una autonomía mínima de 1 hora. El robot podrá operar únicamente sobre superficies duras y relativamente limpias como por ejemplo cualquier construcción pública, con una pendiente máxima de 10°. Su velocidad máxima tendría que ser alrededor de 10 m/s mientras que su aceleración no es relevante. El robot tiene que ser capaz de evitar colisiones peligrosas que se encuentre a su paso. Su precio tendría que oscilar alrededor de los 100 euros. . . “

Revisión del Estado del Arte. A partir de la primera versión de la especificación formal, se extraen un conjunto de palabras clave que servirán de ayuda para realizar una revisión exhaustiva del estado del arte. La principal meta en este paso es hallar y analizar diseños de robots reales cercanos a nuestras especificaciones. Las fuentes de información serán principalmente Internet, catálogos de distribuidores, actas de conferencias y revistas con cierto nivel de especialización.

El análisis del estado del arte se centrará sobre aquellos robots más cercanos a la especificación inicial. Se realizará una lista de inconvenientes encontrados, ya sean debilidades estructurales, limitaciones de autonomía, precios elevados, dificultad de adquisición. Estos inconvenientes se convertirán en los principales argumentos para el proyecto propuesto, que de hecho es un proyecto de ingeniería y por lo tanto, en teoría, debe resultar en un producto que mejore a la competencia. Por otra parte, debe extraerse la información técnica relevante que ayude en el desarrollo de nuestro proyecto.

Tras esta fase de revisión del estado del arte, se modifican las especificaciones formales, añadiendo nuevos objetivos y/o restricciones.

Elección de una Arquitectura. La arquitectura del robot móvil es el marco que contiene todos los componentes con objeto de conseguir el comportamiento deseado. En un sentido más práctico, se trata de una alineación entre el software y los componentes hardware que controlan el robot.

Los sistemas robóticos son complejos y difíciles de controlar cuando integran numerosos sensores y actuadores de una forma no demasiado clara, y por lo tanto el diseño de una arquitectura robótica adecuada es todavía un importante campo de investigación que va más allá de los objetivos a fijar para este tipo de estudiantes. Afortunadamente, existen tres tipos de arquitecturas muy populares entre los constructores de robots muy documentadas y adecuadas para propósitos académicos [5]: la Arquitectura Siente-Planea-Actúa (con una unidad central de proceso que recibe todas las entradas sensoriales y genera todas las salidas hacia los actuadores), la Arquitectura Subsumida [3] (una opción altamente reactiva sin computador central, y con una conexión muy ligera entre sensores y actuadores), y la Arquitectura en 3 Capas (una mezcla entre las aproximaciones reactivas y deliberativas).

Cualquiera de las arquitecturas anteriores se adecua a la construcción de robots móviles a nivel de estudiantes de ingeniería, pero se ha de tener presente que la elección de una arquitectura específica influenciará en gran manera el diseño de alto nivel del robot y la complejidad del software.

Elección de una configuración de locomoción. Describe el tipo de elementos de tracción, geometría del chasis, esquemas de actuación sobre la dirección y la fuerza motriz, la articulación y la suspensión para movimientos tri-dimensionales [2]. Además, la configuración locomotora será determinante en la estabilidad (estática y dinámica) y la cinemática del robot.

Varios esquemas son posibles, pero la mayoría de ellos recaen en el reino de la investigación [6], por lo que se restringirá, en general, la elección en nuestros proyectos a dos ruedas no direccionales motoras situadas opuestas en paralelo, con hasta dos ruedas locas que aseguren estabilidad en el movimiento. El direccionamiento diferencial será el método más común sobre estos robots.

Diseño de alto nivel del Robot al Completo. Es decir, identificación de todos los módulos que conformarán el robot y sus relaciones. Cada módulo debe ser una abstracción de una tarea específica a realizar, así como las relaciones entre ellos son una abstracción del flujo de información. El diseño a alto nivel depende en gran medida de la arquitectura elegida, por lo que un diseño aproximado inicial puede realizarse tras haber seleccionado esta arquitectura. Posteriormente, se completará y refinará el diseño.

Selección de Componentes. Tras dividir el robot en módulos, se inicia una búsqueda exhaustiva de componentes de construcción. Lejos de dar una lista previa de componentes a seleccionar, el profesorado debe inducir al estudiante a visitar distribuidores, a telefonar a vendedores, etc. Los estudiantes aprenden a leer e interpretar hojas técnicas ('data sheets'), y a interactuar con una parte importante del mundo real de la ingeniería.

El primer elemento a ser seleccionado y adquirido son los motores ya que son generalmente los elementos de mayor consumo de energía en el robot y, una vez elegidos, determinarán la energía máxima disponible para el resto de componentes.

Después, se seleccionan los sensores, incluyendo: sensores que consiguen el comportamiento especificado (100% dependientes de la aplicación); sensores que permiten una navegación estándar (encoders) y seguridad (detectores de proximidad y

de omisión o detección de colisiones); y sensores propioceptivos (sensores de nivel de batería, y quizás sensores de corriente).

Comenzando desde el nivel superior de diseño, es más fácil identificar los elementos de cómputo necesarios. Una buena práctica es no sobredimensionar las unidades de computación para así reducir el consumo, y simplificar la programación. Las arquitecturas reactivas requieren varios microprocesadores de gama baja, mientras que las de carácter más deliberativo necesitan requieren elementos de gama media. En ambos casos, un tema crítico es la comunicación entre microprocesadores.

Cálculo de los Requisitos de Consumo. El consumo energético global es la suma de todos los consumos de los elementos mayores elegidos. Una práctica útil es proveerse de dos Fuentes de energía separadas, una para alimentar los motores, y otras para la lógica y los componentes electrónicos. Esta elección se convierte en fundamental si se sospecha que los motores añaden mucho ruido electromagnético a la batería suministradora de energía. Una alternativa es usar una única fuente y generar diferentes voltajes por medio de convertidores y filtros.

El consumo real, más la especificación del nivel de autonomía guiará la búsqueda de la fuente de energía más adecuada. A menudo, una vez seleccionada, sus características implicarán una revisión del diseño general.

Herramientas CAD. Tras la elección de componentes, deben ser medidos y dibujados mediante diseño asistido por ordenador. Cada elemento (baterías, motores, sensores, etc.) deben ser tratados como ítems aislados ya que no se desea expresar relación alguna entre ellos.

La selección de la disposición de los elementos sobre el robot es una combinación entre conceptos estéticos y prácticos, la mayoría de ellos influenciados por la configuración locomotora elegida. Cuando menos, debe cumplirse:

- Acomodo robusto de todos los elementos mayores.
- Acceso fácil a zonas de mantenimiento, como baterías, expansión de conectores, etc.
- Apropiada localización de sensores de acuerdo a sus características funcionales.
- Garantizar la estabilidad del robot situando su centro de gravedad sobre el lugar adecuado.

Finalmente, se dibuja el CAD global de todos los componentes ensamblados situados en su emplazamiento definitivo (Figura 6). Se conforma así la estructura provisional. Si este paso se realiza de manera idónea, se puede pensar en el diseño de una completa mecanización sobre el CAD del robot, añadiendo agujeros y anclando puntos sobre el chasis.

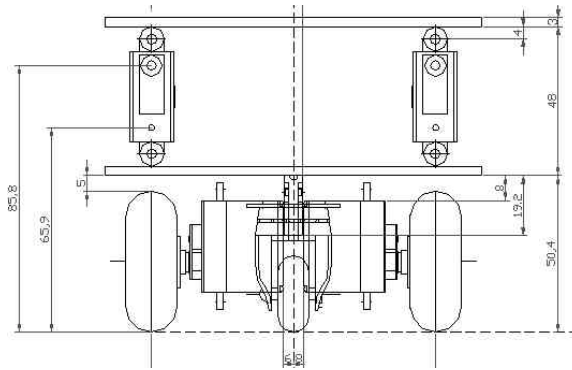


Figura 6. CAD de un robot móvil completo.

Diseño Eléctrico y Prototipo. En este punto es cuando se aprecia de forma más considerable la técnica empleada de divide y vencerás, puesto que se dispone de una implementación y un diseño separado de los módulos identificados durante el diseño de alto nivel. El prototipo de cada módulo debe ser testado exhaustivamente, y sus entradas emuladas por medio de instrumental electrónico. Al menos, se puede esperar el diseño:

- Elementos de potencia para los motores.
- Interfaces de sensores.
- Gestión del suministro de energía.
- Rutinas de bajo control sobre microprocesador para alimentar los motores.
- Rutinas de servicio de interrupciones sobre microprocesador.
- Rutinas de comunicación sobre microprocesador.

Una vez operativo cada modulo, llega el momento de conectarlos entre ellos. Esto significa la implementación y test de todas las comunicaciones entre módulos. Se realiza un diseño eléctrico del robot completo, incluyendo slots de expansión y puertos de comunicación, y es posible que se haga necesaria una revisión del CAD del robot.

Construcción de la Plataforma. Con una ligera ayuda técnica por parte del profesorado, los estudiantes pueden proceder a construir el robot. Se construye la plataforma física mecanizada a partir del diseño CAD, se implementan los módulos electrónicos, se realiza la circuitería y las conexiones entre los módulos. Tras el ensamblado completo y el fijado apropiado de los componentes, así como su conexión, se dispone del robot completo en su forma definitiva (Figura 7).

Programación de Control a Bajo Nivel. Sea cual fuere la arquitectura robótica elegida, al menos dispondrá de un sensor y un actuador, y cualquiera de ellos debe ser gestionado mediante elementos de computación. La programación a bajo nivel se convierte en la forma más precisa para trabajar de forma cercana al hardware. Usualmente, los estudiantes deben programar un PWM para los motores (poniendo así en práctica un campo muy orientado hacia la industria), y la gestión de los datos del sensor. Este paso es un ejercicio interesante de programación en el que el estudiante se verá forzado a trabajar con entornos de programación tipo Assembler o C y a construir una librería de funciones de control de bajo nivel.

Control a Alto Nivel y Comunicaciones. Para completar la gestión de todos los elementos de la plataforma, y para asegurar las características de navegación, deben

programarse un conjunto de rutinas a ser añadidas a la librería software. Por ejemplo, rutinas de control de velocidad y posición, administración de sensores, etc.

Además, se implementa la comunicación entre módulos y se verifica su funcionamiento, así como se establecen protocolos de transmisión adecuados a las prestaciones del robot.

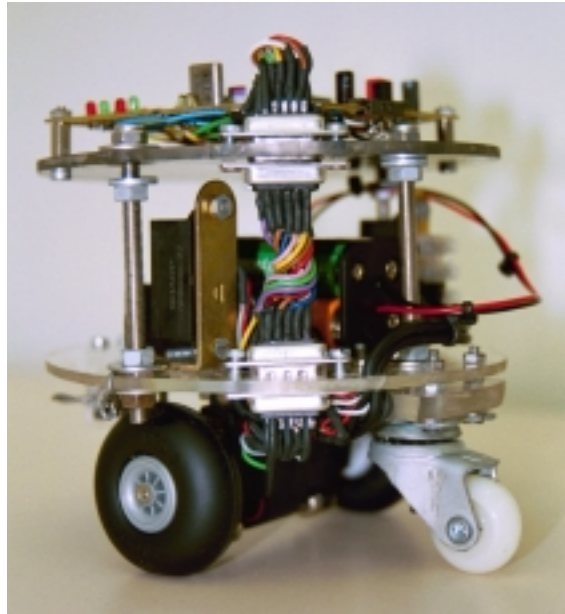


Figura 7. El robot móvil en su versión definitiva.

Test. Se programa una batería de aplicaciones de test exhaustiva, incluyendo el uso de la librería de software construida en fases precedentes. Como resultado se obtendrán las características técnicas finales del robot.

Aplicación Final. Los estudiantes acaban de tratar con la programación de alto nivel hasta conseguir las mejores prestaciones posibles sobre el comportamiento esperado del robot.

Análisis Económico. Si se pretende que el trabajo sea realístico, se hace esencial una investigación de mercado. Ello implica el cálculo de costes de desarrollo del primer prototipo, y la estimación del precio que tendría una implementación comercial. Yendo más allá, sería interesante realizar una prospección de clientes potenciales y desarrollar una estrategia de ventas basada en el estudio sobre la competencia realizada durante el paso de 'estado del arte'.

Generación de Documentación. Aunque en apariencia se requiere una gran cantidad de trabajo para generar la documentación, lo cierto es que la mayoría de cosas han sido realizadas: se dispone de una especificación formal escrita, de un estudio del estado del arte, y todos los dibujos, esquemas y cálculos ya han sido realizados. Tan solo debe situarse todo de forma clara y dotar a los documentos de un texto conciso y significativo. Al menos tres documentos deben ser realizados: Una 'Memoria de Proyecto', un 'Manual de Usuario', y un 'Manual Técnico'.

5. Experiencias

Utilizando como herramienta la realización de proyectos finales de carrera, un grupo de tres profesores de dos centros de la Universitat Politècnica de Catalunya nos decidimos a iniciar una línea de proyectos relacionados con la construcción de robots móviles, con la intención de valorar el uso de la capacidad de motivación de los estudiantes como herramienta didáctica. La tarea consistía en crear una línea argumental común capaz de satisfacer las inquietudes del alumnado y que le permitiera integrarse en una dinámica creadora de grupo: su esfuerzo se fundamenta en logros de anteriores compañeros y el éxito de futuros proyectos depende de su grado de precisión en documentar los objetivos alcanzados. En cualquier caso, su trabajo no es aislado aunque sí permite ser evaluado de forma individual.

Una vez se contrastó el alto grado de motivación generado, durante el período académico 2001/2002 se realizaron diversas experiencias iniciales que sirvieron como ejercicio para probar la validez de un 'proyecto' como herramienta vehicular en el proceso de aprendizaje. Las experiencias iniciales incluyen, (i) mini-proyectos breves; (ii) mini-proyectos dentro de una asignatura; (iii) proyectos finales de carrera; (iv) actividades del profesorado.

(a) Mini-proyecto

Estos primeros mini-proyectos consistieron en un trabajo insertado dentro de una asignatura genérica (Robótica Aplicada, 2000) y con una valoración del 40 % de la nota final. El objetivo perseguido era destacar qué conocimientos adquiridos tiene un estudiante de electrónica para abordar la puesta en marcha de robots móviles y cuales son las limitaciones. Estos trabajos permitieron valorar el alto grado de interés de los estudiantes, la poca preparación en diseño mecánico y la necesidad de incrementar el número de créditos

(b) Mini-proyecto dentro de una asignatura

Ante los resultados positivos obtenidos en los primeros mini-proyectos, se planteó formalizar esta dinámica y desarrollar toda una asignatura siguiendo un aprendizaje basado en proyectos. Como ejemplo concreto, el procedimiento se aplicó a una asignatura optativa de laboratorio, Laboratorio de Sistemas de Control, de 3 créditos de carga docente en la titulación de Ingeniería Técnica Industrial, Especialidad en Electrónica Industrial, en la Escuela Universitaria Politècnica de Vilanova i la Geltrú. En el 5º cuatrimestre, los estudiantes ya disponen de un bagaje técnico que les permite afrontar la realización de proyectos a pequeña escala. Inicialmente el profesor plantea los objetivos y pautas a seguir en la realización y el grupo de estudiantes escoge el contenido del proyecto a realizar. A lo largo de 14 semanas, y 2 horas por sesión, un grupo formado por 3 alumnos procede al desarrollo. Finalmente se celebra una exposición oral y se elabora una memoria escrita. Sin entrar en los detalles circunstanciales, es de destacar el compromiso adoptado por los estudiantes en el esfuerzo realizado.

Algunos de los trabajos realizados hasta el momento son:

- Esbozo de construcción de robot móvil. Incluye un diseño propio del armazón del robot en forma de torre. Destaca el diseño de la placa para el control electrónico del robot
- Montaje de robot PICBOT2. Incluye mejoras en el diseño original de ste robot comercial en ruedas, parachoques y soporte de metacrilato.
- Puesta en marcha de entrenador y grabador de microcontroladores PIC para el uso en robótica móvil
- Creación de un CD Multimedia sobre Robótica Móvil. Incluye el estado del arte de esta ciencia, junto a un magnifico desarrollo en forma de tablas comparativas entre chasis mecánicos, selección de microcontroladores y formas de programación.

En algunas ocasiones la dedicación a los proyectos ha estado por encima de lo exigido inicialmente, ya que, por ejemplo, este último grupo ha desarrollado por su propia motivación una aplicación multimedia sobre formato html que permite su ejecución desde cualquier navegador estándar. Así, la asignatura les ha permitido adquirir unas habilidades que de otra forma podrían haberles resultado tediosas o que podrían haber considerado lejanas a su objeto de estudio, la electrónica industrial.

En cuanto a los informes o memorias, se les exige a los grupos que disminuyan los trabajos impresos a todo color y que potencien los trabajos en formato electrónico, de forma que en la última versión de la asignatura LSIC ya no se admitieron trabajos en formato papel, sino en formato CD, siendo éste suministrado por el profesor. El CD incluye la memoria en Word, la presentación oral en formato PowerPoint, y ficheros pdf sobre componentes técnicos.

Por otra parte, el profesorado ha podido evaluar al grupo en conjunto, pero también el esfuerzo individual de cada componente, mediante criterios cualitativos de rendimiento. Los estudiantes observan la valoración continúa que realiza el profesorado de su trabajo, la comparan con la que ellos mismos consideran, y se refuerza positivamente el trabajo colectivo. No se ha producido ningún tipo de críticas al sistema de evaluación individual escogido.

A destacar quizás, la falta de soporte técnico para llevar a la práctica los diseños, por una parte por falta de medios del laboratorio de prácticas, y por otra parte por falta de tiempo ya que cada sesión semanal de laboratorio es de 2 horas.

Las exposiciones orales de los trabajos han mostrado otra faceta interesante, la necesidad del futuro ingeniero/a de argumentar públicamente la calidad del proyecto realizado. A destacar las críticas y sugerencias constantes por parte de los grupos de estudiantes.

(c) Proyectos finales de carrera

Se han llevado a cabo diversos proyectos finales de carrera como por ejemplo el titulado “Control del estado de carga de la batería de un microbot”, en el cual destaca la mejora del diseño de un robot móvil creado por un anterior proyectista (concepto de modularidad), junto a un estudio profundo sobre la utilización de baterías en robótica móvil (estado del arte) y el diseño de un kit práctico para el estudio de la vida útil de las baterías (mejora del portfolio).

(d) Actividades del profesorado

Las actividades llevadas a cabo en paralelo junto a las realizadas con los estudiantes consisten en:

- Reuniones entre departamentos de Ingeniería (Mecánica, Sistemas, Electricidad) para valorar la propuesta de creación de la asignatura Mecatrónica
- Elaboración de un Estudio de viabilidad para la creación de la asignatura Mecatrónica en la Escuela Universitaria EUPVG – documento interno por encargo del director de la Escuela –
- Presentación de trabajos en Jornadas y Congresos nacionales e internacionales
- Solicitud y concesión de ayuda económica en el marco de nuevas iniciativas docentes dentro del departamento de Automática

6. Conclusiones

La construcción de un robot móvil de complejidad baja a media es una excelente vía para conseguir integrar todo un conjunto de conocimientos adquiridos por los estudiantes universitarios en cursos sin conexión dentro de un currículum típico de ingeniería, dentro de un marco de trabajo de lo que se denominaría Mecatrónica. Además es un trabajo muy adecuado como complemento al más bien teórico bagaje académico, con numerosas aplicaciones a elementos de la industria.

Este trabajo presenta una metodología que intenta ser una combinación sinérgica entre imaginación, artesanía y método con objeto de obtener el mejor rendimiento en la creación de una plataforma móvil con los recursos y el tiempo limitados propios de una Universidad.

La herramienta del portfolio resulta del todo adecuada para la gestión de este tipo de enseñanza ya que permite ayudar a los alumnos en la comprensión del problema, evidenciar su progreso de aprendizaje y es un excelente método de evaluación que soluciona la siempre difícil tarea de evaluar el trabajo desarrollado en equipo en la resolución de un único objetivo.

Una importante lección aprendida durante el desarrollo de esta metodología es la necesidad de lanzar un puente para reducir el salto entre la enseñanza académica y el realismo industrial. De hecho, son tres los conceptos básicos sobre los cuales establecer esta conexión más cercana: coste del robot, robustez y mantenimiento. Entendemos que la relación entre estos conceptos es compleja. En el mundo académico se asume que el robot presenta bajo coste, baja robustez y mantenimiento alto, mientras que en la industria el coste y la robustez son altos y el mantenimiento tiende a cero. Esta falta de realismo es un problema abierto en la Universidad que conviene resolver.

Como logro adicional, la dedicación de los estudiantes en las tareas de creación y construcción de estas plataformas de trabajo, así como su satisfacción con el resultado obtenido al final del proyecto, motiva a su vez al profesorado a trabajar y dedicar su tiempo para seguir en esta línea de trabajo educativo.

Referencias

- [1] J. Alonso Tapia, *Motivar para el aprendizaje. Teoría y estrategias*. Barcelona: EDEBÉ, 1997.
- [2] D. Apostopoulos, “Systematic Configuration of Robotic Locomotion”. Carnegie Mellon Univ. Tech. Rep. CMU-RI-TR-96-30, July 1996.
- [3] R. A. Brooks, “A Robust Layered Control System For A Mobile Robot”, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, vol. RA-2, no. 1, pp. 14-23, March 1986.
- [4] D.F. Kjersdam and S. Enemark, *The Aalborg Experiment, Project Innovation in University Education*, Aalborg University Press, 1994.
- [5] D. Kortenkamp et al. (ed), *Artificial Intelligence and Mobile Robots*, AAAI Press/The MIT Press, 1998.
- [6] P.F. Muir, and C. P. Neuman, “Kinematic Modeling of Wheeled Mobile Robots”, Carnegie Mellon Univ. Tech. Rep. CMU-RI-TR-86-12, June 1986.
- [7] R.R. Murphy, *Introduction to AI Robotics*, The MIT Press, 2000.
- [8] P. Ponsa, P., A. Catala, “Actividades docentes en mecatronica”, *XXII Jornadas Nacionales de Automatica*, Bellaterra, 2001.
- [9] C. Torrens, “Building a Mobile Robot as an Excellent Graduating Exercise”, in *Proc. Workshop on Robotics Education and Training (RET)*, Weingarten, Germany, pp. 65-74, July 2001.