

Experiencias de estudiantes y profesores en la realización de Trabajos Fin de Grado multidisciplinares

Julio Pastor-Mendoza
Departamento de Electrónica
Universidad de Alcalá (UAH)
Alcalá de Henares, España
julio.pastor@uah.es

Emiliano Pereira González
Departamento de Teoría de la Señal y
Comunicaciones
Universidad de Alcalá (UAH)
Alcalá de Henares, España
emiliano.pereira@uah.es

Miguel Tradacete Ágreda,
Gonzalo Rodríguez Martín,
Rodrigo Gutiérrez Moreno,
Mario Ríos Muñoz,
Sofía Barba Magdalena
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares, España

Abstract— Las competiciones interuniversitarias de robots son una oportunidad para motivar a estudiantes y profesores en la realización de proyectos multidisciplinares, donde la participación de personas con formación y experiencia en diferentes ramas de conocimiento mejora la obtención de competencias profesionales y transversales de todos los estudiantes involucrados. Además, esta colaboración ayuda a los profesores implicados a plantearse modificaciones en las asignaturas que imparten para buscar una mejor relación entre ellas dentro de los planes de estudio. En este trabajo se presentan las principales experiencias, tanto de los estudiantes y profesores, al llevar a cabo el diseño y construcción de un robot para participar en una competición internacional. Además, también se exponen cómo este trabajo en equipo ha permitido realizar Trabajos Fin de Grado a los estudiantes y a establecer una colaboración futura entre los profesores implicados.

Palabras clave — Competiciones de robots, robótica, multidisciplinariedad, trabajo cooperativo, aprendizaje basado en proyectos.

I. INTRODUCCIÓN

La robótica es una disciplina que permite desarrollar un amplio número de habilidades y competencias en estudiantes. Esto es debido en parte a que la robótica tiene un carácter multidisciplinar. A esto se debe añadir el hecho de que diseñar y construir un robot motiva a la inmensa mayoría de los estudiantes [1]. Desde hace muchos años, la robótica móvil se está trabajando en estudios universitarios de Grado dentro de asignaturas que no tienen como objetivo especializarse en robótica sino en desarrollar otras competencias o como elemento de motivación [2] y [3].

En los últimos años, con la proliferación de plataformas hardware de bajo coste y sistemas abiertos diseñados para introducir a niños y jóvenes en la tecnología [4] [5], están animando muchos centros de secundaria a incluir esta disciplina, bien como actividad extraescolar (centros de secundaria) o bien como asignaturas transversales ofertadas para estudiantes de titulaciones muy diferentes (facultades y escuelas universitarias). A modo de ejemplo, en la Comunidad de Madrid, desde hace tres años, se ha introducido una asignatura obligatoria en 1º, 2º y 3º de ESO denominada “Tecnología, programación y robótica” que también es optativa en 4º de ESO.

La participación de estudiantes en concursos de robótica es una oportunidad para afianzar y profundizar en los contenidos aprendidos en sus diferentes planes de estudio (ver por ejemplo los trabajos [6], [7] y [8]). Entre estas ventajas, pueden destacarse la mejora en las competencias científico-tecnológicas, lingüística, de aprender a aprender las habilidades y las transversales relacionadas con el trabajo en equipo y la planificación de las tareas.

Es interesante como esta disciplina está teniendo cada vez más peso en la educacsecundaria, formación profesional y bachillerato (ver por ejemplo [9]). Un ejemplo de competición donde los estudiantes de secundaria y bachillerato pueden participar es Robo Cup Junior (en [10] puede verse que la edición de 2017 se realizó en Alcalá de Henares). El impacto de esta competición en el aprendizaje de herramientas y competencias ha sido documentado en revistas especializadas en robóticas, como [11], donde se expone el impacto en el aprendizaje de habilidades en STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics).

Desde el punto de vista de las titulaciones universitarias, la robótica permite profundizar en conocimientos de mecánica, control y electrónica, en el caso concreto de las titulaciones de ingeniería, y una oportunidad de desarrollar ciertos conocimientos tecnológicos, en el caso de titulaciones como magisterio, derecho, medicina, empresariales, etc. Por ejemplo, en [12] se presentan la participación en la competición IDC Robocon como una herramienta útil para la formación en ingeniería.

De la bibliografía consultada y de la experiencia personal se pueden enumerar las siguientes aportaciones que conllevan el diseño de robots y la participación en competiciones para un estudiante universitario de ingeniería [2], [3], [13] y [14].

- Análisis e Integración de Sistemas.

Debido a que un robot está formado por varios subsistemas que deben funcionar conjuntamente, con el diseño de robots se aprende a analizar cada uno por separado y sus relaciones e implicaciones con los otros. Se aprende a analizar también un sistema en diferentes niveles a nivel mecánico (algoritmos de control de bajo nivel, cinemática y dinámica del robot,...), al

nivel de decisión y estrategia y al nivel de sistema (la integración de la mecánica y la estrategia).

- Gestión de proyectos.

El diseño de un robot para participar en una competición es un claro ejemplo de un proyecto de ingeniería con una fecha concreta de finalización en la que participa un equipo de personas con un objetivo común. En el desarrollo del proyecto es imprescindible una buena gestión, no sólo de los recursos económicos y materiales, sino de las comunicaciones entre los miembros, de la gestión del tiempo, etc. También se aprende a trabajar en equipo.

- Motivación para alumnos de cursos intermedios.

En los casos en que el diseño de robots se plantea en cursos intermedios tienen la posibilidad de aprender conocimientos y técnicas que luego estudiarán en profundidad en cursos posteriores aumentando su interés y ayudando a su posterior aprendizaje.

- Análisis de soluciones y madurez intelectual.

Cuando un equipo comienza el diseño de un robot para una competición no sólo debe pensar en cómo solucionar un problema sino en cómo lo solucionarán los demás. Esto les fuerza a pensar con mucha más amplitud de miras que si se tratara de un simple proyecto de diseño. Además, en la competición pueden comprobar las diferentes soluciones utilizadas y aprender de ellas. Esto lo relaciona [14] con un aumento de la madurez intelectual de los participantes según se indica en el modelo de madurez intelectual de Perry [15].

- Experiencias personales

No hay que dejar de lado la experiencia personal que los estudiantes obtienen al trabajar en un equipo de trabajo, en viajar para asistir en una competición y compartir sus conocimientos y experiencias con personas que tienen sus mismas inquietudes. Se puede observar que los beneficios presentados no están relacionados directamente con los conocimientos técnicos específicos relacionados con la robótica (algoritmos, circuitos, etc.) sino más con habilidades más generales muy importantes en ingeniería.

Con el inicio de los nuevos grados en la Universidad de Alcalá se decidió ofertar una asignatura transversal de robótica para potenciar los conocimientos científicos y tecnológicos en todas las titulaciones. Así, la asignatura Robótica para Todos [16] se planteó para motivar a todos los estudiantes a adentrarse en el conocimiento del manejo, construcción y programación de robots con el único requisito de tener conocimientos básicos de programación en C. El objetivo es que todos los estudiantes puedan ver los aparatos tecnológicos con una visión diferente a la de un simple usuario. Al final del curso, cada estudiante debe demostrar sus conocimientos y habilidades para diseñar un robot móvil, dentro de un equipo de trabajo multidisciplinar formado por personas con titulaciones diferentes, que pueda realizar ciertas tareas sencillas. Estas tareas sencillas se evalúan sometiendo el producto final a una exhibición práctica y/o a una competición con el resto de equipos formado por la clase.

Uno de los responsables de la asignatura y coautor de este trabajo tiene experiencia en organizar y participar en

competiciones de robots [17]. Estas competiciones abarcan desde proyectos que pueden llevarse a cabo en unas semanas por parte de uno o dos estudiantes, hasta competiciones con objetivos complejos que requieren la participación de un equipo grande personas durante varios meses. Por ejemplo, se pueden mencionar las competiciones de Eurobot [18] y las Jornadas de Tecnología y Robótica [19]. Estos ejemplos de competiciones también son introducidos en la asignatura para animar a los estudiantes a participar en ellas y en otras organizadas en otros lugares del planeta.

Durante el curso 16/17 se pusieron en contacto con uno de los autores del presente trabajo algunos estudiantes que habían cursado la asignatura Robótica para Todos expuesta anteriormente. La novedad, respecto a otros cursos, fue que este conjunto de estudiantes procedía de titulaciones distintas. La idea que presentaron fue realizar un proyecto de robótica complejo que fuera capaz de participar en algún concurso internacional de robótica competitivo. Además, algunos de estos estudiantes estaban también interesados en realizar un Trabajo Fin de Grado (TFG) que incluyera la realización de un proyecto de robótica dentro de sus objetivos fundamentales.

Esta iniciativa ha resultado ser pionera dentro de la Universidad de Alcalá. Esto es debido a que la normativa de esta universidad no permite que los TFG's puedan realizarse en grupos. Por lo tanto, la inmensa mayoría de los TFGs realizados (desde la implantación de los nuevos grados en 2010) involucraban a un estudiante y a un profesor, sin fomentar de ninguna forma el trabajo en equipo y mucho menos el trabajo en equipo en grupos multidisciplinarios que puedan implicar la participación de estudiantes y profesores de diferentes titulaciones y áreas de conocimiento.

El reto de esta iniciativa era proponer un conjunto de tareas que fueran lo suficientemente independientes para que pudieran desarrollarse de forma individual para realizar los TFG's pero que a la vez estuvieran relacionadas para que los estudiantes pudieran trabajar en equipo en la integración de las diferentes partes y en la puesta a punto de un robot para participar así en el concurso.

El presente documento intenta reflejar las experiencias de estudiantes y profesores durante los meses donde se preparó el trabajo para participar en el encuentro anual Robotic Day [20] y se realizaron los TFGs. Las personas implicadas fueron cinco estudiantes, que pertenecen a tres grados distintos (Electrónica y Automática Industrial, Ingeniería Informática y Administración y Dirección de Empresas), y dos profesores que pertenecen a diferentes áreas de conocimiento (Tecnología Electrónica y Mecánica) y departamentos.

El documento continúa con una breve descripción del concurso. En la sección III se incluye la planificación del proyecto. En la sección IV se resume los trabajos realizados y en la Sección V se termina con un resumen de las experiencias y sus principales conclusiones, destacándose los problemas encontrados por estudiantes y profesores y un análisis cualitativo de las principales experiencias, tanto positivas como negativas.

II. LA COMPETICIÓN

El grupo de estudiantes y profesores se propuso como primer objetivo participar en el concurso Eurobot. La incertidumbre

sobre si se iba a realizar o no durante el año 2017, hizo decantarse al grupo por la prueba RoadSide Assistance [21] del encuentro Robotic Day. Robotic Day es un encuentro a nivel europeo dentro del campo de la robótica, donde se celebran multitud de actividades y competiciones. Este encuentro tiene lugar en la Facultad de Matemáticas y Física de la Charles University of Praga, República Checa. El evento suele tener una duración de dos días, siendo el primero solo para participantes y el segundo además para todo el que quiera asistir como público a las competiciones.

El “Robotic Day” incluye competiciones de distintos niveles, desde robots telecontrolados por cable diseñados por niños hasta una competición de robots autónomos que tienen que interactuar con diferentes elementos del campo de, “Roadside Assistance”. Esta competición simula un accidente de tráfico a pequeña escala, donde cada equipo participante debe ser capaz de crear un robot que, de forma autónoma, brinde asistencia como si de una carretera real se tratase. En cada partido se enfrentan dos equipos con un robot cada uno, los cuales compiten a ver quién obtiene más puntos.

Hay tres cometidos principales en los cuales el robot deberá demostrar sus habilidades. Ellos son: recoger y depositar unas baterías en unos coches, retirar de la carretera un camión accidentado a la vez que se recoge toda su carga que se encuentra esparcida de forma aleatoria para llevarla a otro camión, y por último colocar unas señales de advertencia. En la Figura 1 se muestra la vista superior del campo de juego que tiene unas dimensiones de 3 m de ancho por 2 metros de largo. En el perímetro del campo hay seis soportes que pueden ser utilizados por los equipos para colocar unas balizas que les ayuden en el posicionamiento autónomo de los robots.

III. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

En los trabajos conjuntos de varias personas existe el riesgo de que uno no realice su parte por diferentes razones. Cuando las diferentes partes se pretende que sean el Trabajo Fin de Grado de varios estudiantes, el que una persona no realice su trabajo no debe condicionar que el resto de personas no pueda completar su trabajo individual. Por lo tanto, todas las partes deben tener una funcionalidad mínima y deben integrarse adecuadamente.

El trabajo técnico, que fue llevado a cabo por los cuatro estudiantes de ingeniería, se dividió en las siguientes partes:

- Sistema de manipulación
- Sistema motriz
- Sistema de balizas y comunicación
- Sistema de estrategia de alto nivel

Las tareas de marketing, búsqueda de financiación y estudio de viabilidad económica del proyecto fueron realizadas por la estudiante de Administración y Dirección de Empresa. Aunque ella fue la cara visible del marketing, en todo momento el resto de integrantes trabajaron junto a ella realizando tareas más técnicas como la búsqueda de empresas del ámbito tecnológico que pudieran mostrar interés en el patrocinio o como la aportación de inventarios detallados del material necesario para el estudio de la viabilidad económica. De esta forma los integrantes “técnicos” aprendían métodos de marketing y la

estudiante de Administración y Dirección de Empresa adquiría experiencia en el trato con empresas del sector tecnológico.

Se expuso también todo el proyecto multidisciplinar al director de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alcalá, en cuya exposición participaron todos los integrantes.



Figura 1: Visión superior del campo de juego de Roadside Assistance construido en la Universidad de Alcalá.

Para la dirección de los trabajos técnicos se juntaron profesores de dos departamentos con el objetivo de que cada uno aportara su experiencia y conocimiento. Uno de los profesores con experiencia en el diseño y programación de robots móviles y otro profesor con experiencia en el análisis y diseño de mecanismos. De esta forma, el profesor de robótica supervisaba todos los trabajos y el profesor de mecánica coordinaba todos los aspectos mecánicos de los sistemas de manipulación y motriz.

Respecto a la tarea de marketing y búsqueda de financiación, cabe destacar la dificultad para encontrar “padrinos” públicos y privados. También debe mencionarse que se realizó un proyecto previo para ayudar a conseguir apoyos económicos para la realización del robot y para tener una visión general del proyecto, proponiéndose varias alternativas económicas. El resultado de todo este trabajo fue una financiación menor de la esperada, lo que implicó un reajuste en el proyecto técnico original, que tuvo que adaptarse a las nuevas restricciones económicas.

Dentro de las modificaciones técnicas que hubo que realizar para reducir el presupuesto, cabe destacar principalmente tres relacionadas con el sistema de manipulación, el sistema motriz y la estrategia de alto nivel. El sistema de manipulación se centraba en la parte de la recogida de los cubos (representan la carga del camión accidentado). Esta tarea era la que permitía obtener mayor puntuación. Para esta tarea se iban a emplear dos brazos robóticos idénticos que iban a ir colocando todos los cubos dentro del robot de forma ordenada para poder expulsarlos todos a la vez en el otro camión cuando hubieran sido recogidos. Para ello, la plataforma móvil debía contener a los dos manipuladores junto con los cubos. Aunque se diseñaron completamente y se simulaban estos manipuladores, no pudieron implementarse por ser demasiado caros para el presupuesto disponible. En su lugar, el equipo decidió diseñar unos actuadores tipo “montacargas” para coger otros elementos del campo de juego.

La plataforma móvil debería también identificar con precisión la localización de los diferentes elementos para poderlos recoger. El sistema de visión necesario para identificar la posición de las piezas integrado con el sistema de control de alto nivel requería de una plataforma hardware de más prestaciones de la que finalmente se utilizó por lo que el reconocimiento de imágenes hubo que reducirlo al mínimo.

El robot debía desplazarse con velocidad y precisión a los puntos que indicaba el nivel de estrategia para lo cual eran necesarios motores potentes con encoders incorporados. En el diseño final se utilizaron motores de muy bajo coste que hacía el movimiento más lento. En la figura 2 se muestra el robot final construido.



Figura 2: Visión del robot construido.

IV. TRABAJOS REALIZADOS

A continuación, se resumen los principales trabajos realizados.

A. Sistema de manipulación

El diseño del sistema de manipulación se propuso en el TFG titulado “Diseño de un robot autónomo: estudio cinemático y diseño mecánico de un brazo robótico de cuatro grados de libertad” realizado por un estudiante del Grado en Ingeniería en Electrónica y Automática Industrial (4º autor).

En el diseño de este brazo se definió primero el campo de trabajo del mismo y se estableció una estrategia a la hora de recoger todos los cubos (representan la carga del camión accidentado) y llevarlos al de sustitución. Estas primeras decisiones fueron tomadas por todos los integrantes del grupo de estudiantes, ya que todo el conjunto de las partes que integrarían el robot estarían interactuando entre sí y compartiendo un mismo espacio físico. Así, entre todos ellos, se consiguió definir el campo de trabajo y la estrategia de esta parte a la vez que ajustaban a medida el resto de partes, obteniendo una visión muy general del conjunto. Consecuentemente, estas decisiones son las que permitieron definir la estructura del brazo (tipo de articulaciones, longitudes de eslabones y tipo de efector final entre otras cosas). La decisión fue optar por un brazo con una articulación lineal para el desplazamiento vertical, dos articulaciones rotacionales para el posicionamiento horizontal, y una tercera rotacional para la orientación en torno al eje vertical, resultando ser la típica estructura de un robot SCARA. Como efector final se eligió una ventosa. El siguiente trabajo fue el análisis cinemático de la estructura planteada a partir de la aplicación de Denavit-Hartenberg [22]. Con ello se obtuvieron las ecuaciones de la cinemática directa e inversa y se procedió al

diseño de las trayectorias del brazo para establecer qué velocidades y aceleraciones eran necesarias.

En todo momento este análisis Denavit-Hartenberg [22] fue supervisado por otros dos miembros del grupo estudiantes en Ingeniería Electrónica y Automática Industrial y discutido junto con el autor de esta parte, reajustando parámetros ya que, como se exponía anteriormente, el resto de partes dependían de esos parámetros.

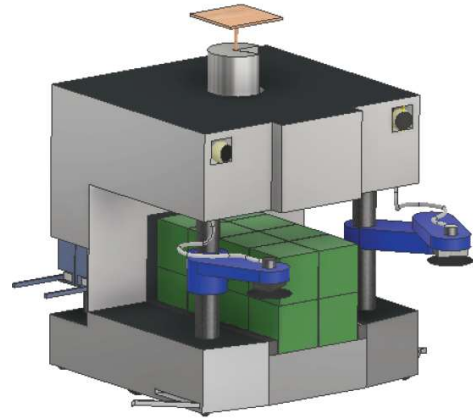


Figura 3: Esquema del robot diseñado.

Para las trayectorias se eligió las de tipo trapezoidal, es decir, con una fase inicial de aceleración positiva, otra con aceleración nula y velocidad constante, y finalmente una tercera fase de aceleración negativa hasta detenerse. Otro aspecto importante es que se ha llevado a cabo mediante interpolación articular, pero teniendo en cuenta las posiciones límite articulares que provocarían que el extremo del brazo colisionase con algún obstáculo.

Después de establecer las trayectorias, mediante una elección de tiempos en función de la estrategia global del equipo a la hora de abordar la prueba completa, se establecieron las velocidades y aceleraciones más acordes para las articulaciones. Para ello se emplearon simulaciones en Matlab variando las aceleraciones y velocidades de las articulaciones hasta llegar a un resultado competitivo en términos de tiempo de trayectorias.

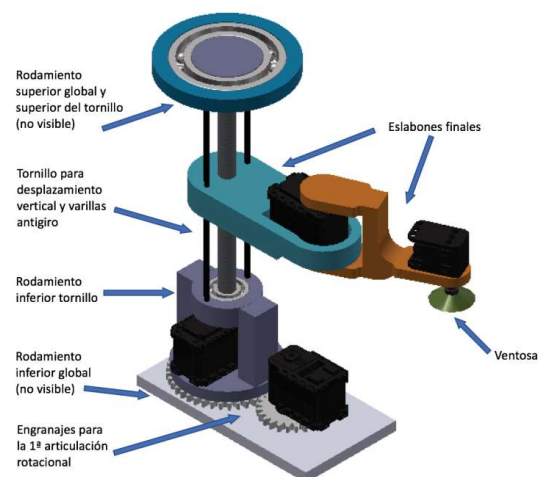


Figura 4: Estructura detallada del manipulador.

Una vez finalizado en el análisis cinemático, se realizó un análisis de la resistencia de los componentes del robot. Para ello se analizaron las secciones más problemáticas desde el punto de vista de resistencia de materiales. Luego se comprobó si los materiales y secciones elegidas eran las adecuadas, estudiándose las situaciones más críticas que demandarían el máximo par a los actuadores mediante algunas suposiciones y sobredimensionamientos. Con estos datos y los de velocidad se eligieron modelos comerciales para los actuadores más adecuados.

Aunque el diseño se completó con éxito y se demostró, de forma analítica, su viabilidad, las restricciones económicas hicieron inviable la construcción y montaje de los dos manipuladores dentro del sistema motriz. En su lugar, se diseñaron y construyeron dos manipuladores al estilo de pequeños montacargas o toro mecánico industrial para coger otros elementos del campo de juego.

El dimensionado de estos montacargas y el sistema principal de su elevación fue planificado y diseñado por todos los estudiantes del grupo, ya que como su construcción no se planificó en un inicio hubo que reestructurar sobre todo la parte del sistema motriz por temas de espacio y encajar así ambas. La mecánica interna más específica corrió a cargo del autor del sistema de manipulación.

B. Sistema motriz

El diseño del sistema motriz fue propuesto en el TFG “Diseño de un robot autónomo: plataforma base y control del movimiento”. Este TFG fue realizado por un estudiante del Grado en Ingeniería en Electrónica y Automática Industrial (3^{er} autor).

En este trabajo se afrontó la parte de la plataforma base y el control del movimiento del robot por el campo de juego. Se contempló el diseño y construcción de la parte motriz y todo el software de control que ello conllevaba. La finalidad del proyecto fue crear una estructura robusta, versátil en cuanto al control de los movimientos y de carácter modular que permitiera al resto de compañeros desarrollar el resto del robot en paralelo, lo que directamente implicaba a todo el grupo en la planificación de la distribución de los elementos motrices (motores, baterías, ...) en la parte baja del robot. Para el análisis teórico de los aspectos cinemáticos y mecánicos del robot y el dimensionamiento de los motores se basó en Trabajos Fin de Carrera de estudiantes que participaron en la competición internacional Eurobot en diferentes ediciones [23] y [24]

Este trabajo se dividió en 3 bloques principales: diseño mecánico, diseño electrónico y diseño software. En el primer bloque del diseño mecánico se describieron los cálculos de los parámetros dinámicos del robot, de la elección de los motores y del diseño de todos los elementos mecánicos del proyecto. Especialmente se analizaron la aceleración máxima que debe alcanzar el robot, la potencia requerida por los motores y todo el diseño de los elementos mecánicos y estructurales. Para este análisis fue necesaria una planificación grupal de cada parte, para conocer el peso y distribución aproximado de todos los elementos de las distintas partes de todo el robot. Destacar que en un principio se diseñaron unos encoders propios con piezas impresas en 3D (figura 5), aunque finalmente se sustituyeron por

encoders comerciales ya que era necesario aumentar las prestaciones del control del movimiento.

Todas las piezas de los encoder inicialmente construidos mediante impresión 3D fueron diseñadas por el autor del sistema motriz, pero su construcción fue llevada a cabo también por otros dos integrantes más. Así se pudo paralelizar el diseño con la impresión 3D, ya que para calibrar las tolerancias se requiere una inversión considerable de tiempo imprimiendo piezas prototipo.

La arquitectura hardware se realizó utilizando como centro de control la tarjeta Mini-DK2/LPC1768 basada en el microcontrolador LPC1768, Cortex-M3 de ARM estudiado a lo largo de la carrera en dos asignaturas, hecho que ayudó a la colaboración del resto de estudiantes de esta misma carrera a supervisar la programación y optimización de la tarjeta. La CPU de esta tarjeta trabaja a 100 MHz y sus periféricos a 25MHz, suficiente velocidad para el correcto funcionamiento de este proyecto.

A la tarjeta de control se le añadió un puente en H basado en los circuitos integrados basa en los integrados VNH2SP30 con capacidad de entregar hasta 30A a cada motor, una electrónica de acondicionamiento de la señal de los encoders y unas tarjetas de distribución de las señales de alimentación. También tenía conectados diversos sensores de distancia situados en el perímetro del robot utilizados para detectar a los robots oponentes y evitar colisiones. En la figura 6 puede observarse el diagrama de bloques del sistema diseñado.

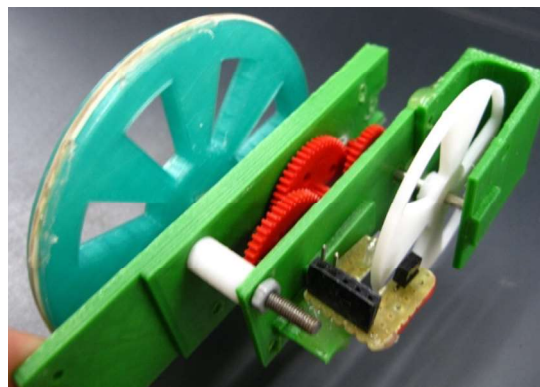


Figura 5: Encoder diseñado con piezas de impresión 3D

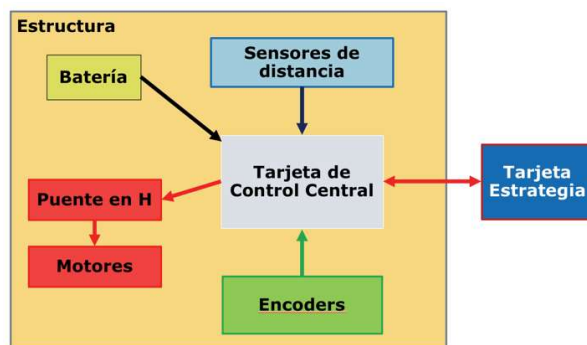


Figura 6: Esquema de conexionado del sistema

En el diseño software, y tercer bloque principal de este trabajo, se describió todo el diseño a nivel software del proyecto,

el diseño y simulación del sistema de control y las diferentes consideraciones tenidas en cuenta en su implementación en la tarjeta de control.

Se diseñaron dos controladores Proporcional Integral (PI) para los motores comprobando su funcionamiento en simulación con Matlab y posteriormente en el sistema real. Unas inestabilidades del eje de los motores hacían inviable el uso de una componente derivativa en el controlador.

Aunque el diseño de los controladores corrió a cargo del autor de esta parte, el ajuste de los mismos fue realizado a partes iguales entre otro de los integrantes del grupo y el autor del sistema motriz. Esto así porque en el ajuste de un controlador para motores eléctricos es fácil perder la “orientación”, obteniendo peores resultados que los originales. Así pues dos puntos de vista distintos aportaban más que el doble a este objetivo.

Finalmente se describió la lógica de comunicación con la tarjeta de estrategia y la odometría desarrollada para el cálculo de la posición del robot en el campo de juego. La comunicación fue diseñada a partes iguales entre el estudiante de Ingeniería Informática y el autor de esta parte, ya que la comunicación a realizar era entre esta parte y la tarjeta de la estrategia (desarrollada por el otro estudiante). Es por ello que era necesario una colaboración directa y desarrollar conjuntamente un protocolo propio de comunicación para la transmisión de datos. También, aunque la odometría fue diseñada por el autor de esta parte, su implementación tuvo lugar en la tarjeta de estrategia, por lo que el otro estudiante tuvo que comprender la lógica de la odometría. Al mismo tiempo el autor de esta parte tuvo que ser capaz de abstraerse al nivel de la programación del ingeniero informático para poder adaptar el diseño de la odometría.

C. Sistema de balizas y comunicación

El diseño del sistema de balizas y comunicación se propuso en el TFG “Diseño de un robot autónomo. Posicionamiento por balizas y comunicación interna del robot”. Este TFG fue realizado por el un estudiante del Grado en Ingeniería en Electrónica y Automática Industrial (5º autor).

Este proyecto tenía como objetivo dotar al robot de un sistema que complementara la información de la odometría para conocer con más precisión la posición del robot. También tenía el objetivo de diseñar un bus de comunicaciones que interconectara los diferentes sistemas en el interior del robot.

Se desarrollaron dos sistemas de comunicación válidos para implementar en un robot: BUS CAN, que es robusto y rápido; y UART (comunicación serie asíncrona), que es sencillo y funcional. Los dos sistemas se implementaron físicamente, pero la opción utilizada finalmente en la competición fue la de UART, realizando varias comunicaciones serie punto a punto sobre USB entre la tarjeta de estrategia y el resto tarjetas hardware. En la comunicación BUS CAN se utilizaron librerías RL_ARM de Keil, ejecutadas sobre un sistema operativo de tiempo real. Debido a problemas de tiempo para tener el robot funcional para la competición y a dificultades a la hora de integrarlas en la tarjeta de estrategia, se optó por utilizar las comunicaciones serie.

Igual que se exponía anteriormente, el protocolo de comunicación a más alto nivel de los dos sistemas debía diseñarse por todos los que fueran a hacer uso de él. Así, fue diseñado por los tres estudiantes de Ingeniería en Electrónica y Automática Industrial, siendo el autor de esta parte el encargado de la realización del mismo. En todo momento fue supervisado por sus compañeros ya que según evolucionaba el proyecto conjunto se decidió cambiar el tipo de comunicación (del BUS CAN a UART).

En lo respectivo al sistema de balizado, cabe destacar que se dividió en dos partes: posicionamiento del robot dentro del campo y posicionamiento del robot oponente. Para posicionar el robot dentro del campo se utilizaron conjuntos de leds infrarrojos situados en balizas estáticas que emitían pulsos modulados en distintas frecuencias (una frecuencia para cada baliza), recibidos en el robot por un fototransistor situado en una parte móvil que giraba constantemente de modo que en cada vuelta detectaba la posición de las tres balizas. Por medio de un algoritmo que calculaba distancias a partir de los ángulos entre las balizas detectados y utilizando el método de trilateración se calculaban las coordenadas del robot.

Posicionar el robot del oponente era una tarea prioritaria en la competición ya que, en caso de colisión, el robot causante podía ser expulsado de la competición. Para ello se utilizó un sensor situado en la parte superior del robot, que enviaba un haz de luz infrarroja mientras giraba y una baliza pasiva catadióptrica situada en el robot oponente. Cuando el haz de luz del sensor estaba apuntando a la baliza se reflejaba, siendo así detectado el robot oponente. Conociendo el diámetro de la baliza y midiendo el ancho del pulso recibido se calculaba la distancia de la misma. Conociendo la distancia y el ángulo de giro en el momento de la detección se determinaba la posición del oponente. Ambos sensores eran movidos por un motor paso a paso y estaban conectados a una tarjeta Mini-DK2/LPC1768 similar a la utilizada en el sistema de tracción.

El sistema completo incorporado al robot estaba formado por la tarjeta de control; los sensores que giraban con el motor y estaban unidos a éste con piezas impresas en 3D; la fuente de alimentación de la tarjeta con sus baterías; y el controlador del motor paso a paso.

Al igual que en las partes anteriores, las piezas 3D fueron diseñadas por el autor de esta parte, pero impresas tanto por él como por el resto de integrantes, facilitando el trabajo en paralelo del diseño de más piezas. También la estructura que sustenta el sistema de balizado fue diseñado y fabricado por otro integrante del grupo, ya que se hizo pocos días antes de la competición y se requería de una aportación directa dentro de esta parte.

En la figura 7, se muestra un diagrama de bloques que representa las partes que forman el sistema y las conexiones entre ellas. Las entradas y salidas señaladas en los diferentes bloques se corresponden con los elementos seleccionados para la realización del proyecto. Como sensor de las balizas activas se utiliza un sensor TSOP4838; para la detección del oponente se utiliza un sensor de luz difusa 42JS-PNP; como tarjeta para realizar el control de todo el sistema se utiliza una mini-dk2; el motor seleccionado es un NEMA-17 y su controlador un A4988.

Se muestra el sistema completo con todos sus elementos en la figura 8.

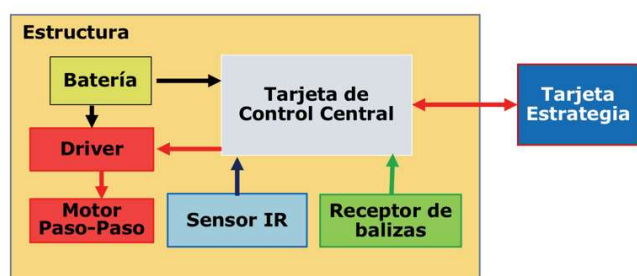


Figura 7: Esquema de conexionado del sistema

D. Sistema de estrategia de alto nivel

El diseño del sistema de estrategia de alto nivel ha sido realizado por un estudiante del Grado de Ingeniería Informática (6º autor). Este estudiante ya estaba haciendo un TFG en otra área y el trabajo lo hacía por interés personal.

La tarea que se realizó fue implementar ROS (Robotics Operating System) en una tarjeta Raspberry Pi sobre Linux comunicándose por una comunicación serie asíncrona sobre USB con las otras tarjetas. ROS dispone de funciones de alto nivel de control de robots y proporciona drivers de comunicación con multitud de plataformas robóticas estándar. El estudiante se hizo cargo de la estrategia y diseñó el driver necesario para que las tareas de alto nivel pudieran comunicarse con el hardware diseñado. En todo momento estuvo trabajando con cada uno de los integrantes del grupo, ya que para realizar la comunicación con cada uno de ellos debía diseñar juntos los protocolos de comunicación y en muchas ocasiones transcribir programas software de otros entornos distintos a ROS, como ya se exponía en el *Sistema motriz*. Esto hizo tener al autor de esta parte una visión general hardware de todo el robot, hecho muy útil ya que era él el encargado de la estrategia y debía conocer las capacidades del robot (tiempos de descarga de la batería en función del uso de los motores, tiempos de respuesta y parámetros físicos del sistema motriz, tiempos y área de trabajo del *Sistema de manipulación*, tiempos mínimos de detección del oponente mediante el balizado,...).

Uno de los problemas que se tuvo fue que todas las pruebas las realizaron utilizando un ordenador portátil. Al pasar todo el código a la Raspberry Pi hubo problemas de integración entre el Linux de la Raspberry Pi y el de ROS.

Después de varios meses de trabajo se obtuvo un robot que pudo participar en la competición. Este robot era capaz de moverse correctamente siguiendo las órdenes del sistema de estrategia, deteniéndose en caso de encontrar oponentes. Los oponentes se detectaban tanto por los sensores de distancia perimetral como por el sensor situado en la parte superior del robot. Aunque con el sistema de balizas se podía situar al robot en el campo, no se pudo integrar esta información con el posicionamiento por odometría por lo que en la competición se utilizó sólo la odometría para localizar el robot. Como se ha dicho anteriormente, el robot que participó incluía los actuadores tipo “montacargas” para recoger algunos elementos del campo de juego

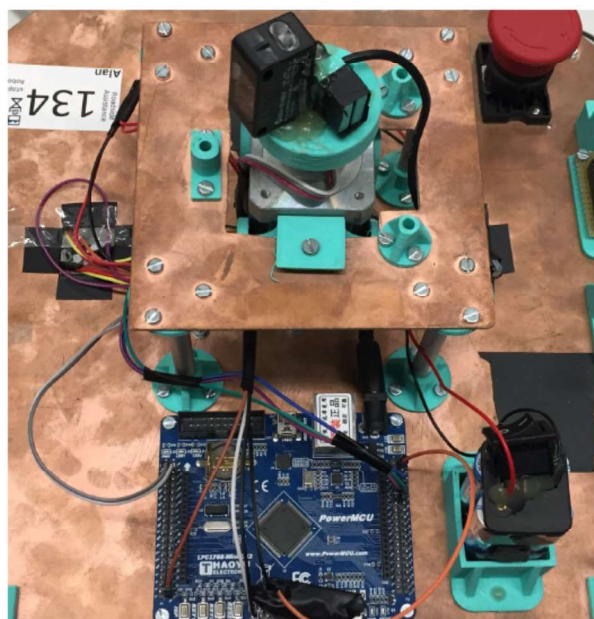


Figura 8: Montaje completo del sistema de posicionamiento.

V. ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA. CONCLUSIONES

Una de las grandes enseñanzas que se sacan con este tipo de proyectos es la importancia de tener una visión global, donde lo importante es que el sistema funcione correctamente. Para ello, las partes que lo forman tienen que funcionar, al menos con una funcionalidad mínima, pero de nada sirve que una parte esté completamente desarrollada con una calidad excelente si otras partes necesarias no funcionan.

También se evidencia la necesidad de tener en cuenta que en la integración de los diferentes sistemas pueden aparecer problemas que pueden condicionar el funcionamiento del sistema.

A nivel de formación docente, los estudiantes del Grado en Ingeniería Electrónica y Automática Industrial pudieron comprobar la importancia de materias como Matemáticas (Cálculo I y II, Álgebra y Ecuaciones Diferenciales), Mecánica (Sistemas Mecánicos y Resistencia de Materiales), Electrónica (Electrónica Analógica y Digital, Tecnología Electrónica, Electrónica de Potencia, Instrumentación Electrónica y Sistemas Electrónicos Digitales), Control (Ingeniería de Control I y II e Ingeniería de Control Electrónico) y Sistemas Robotizados. En muchos casos, el TFG supuso una oportunidad para ampliar los contenidos ya dados y para afianzar otros, que bien por la distancia entre asignaturas (algunas están en primero y otras en último curso).

También, los estudiantes tuvieron la oportunidad de afianzar y/o aprender herramientas software nuevas. Por ejemplo, muchos de ellos incrementaron el dominio de Matlab para el diseño de robots. Otros tuvieron la oportunidad de emplear software para analizar y simular mecanismos, como Autodesk Inventor, el cual es una herramienta de diseño y fabricación de piezas, las cuales pueden ser construidas en el propio laboratorio con el uso de las impresoras 3D de la facultad.

Los participantes en esta experiencia coinciden en que es necesaria una mayor integración de contenido práctico en algunas asignaturas del grado, en algunos casos a través de un proyecto que sirva para unir varias asignaturas a la vez, reduciendo así la carga de trabajo global, pero acercando a los estudiantes a una situación de diseño más realista y educativa. Esto ayudaría a afianzar conceptos de una forma más satisfactoria e incrementaría la motivación de los estudiantes.

A nivel de trabajo en equipo, los integrantes han experimentado lo que supone embarcarse en un proyecto conjunto; un proyecto con un objetivo final y un equipo para cumplirlo. Sin restar importancia al ámbito técnico, el aspecto humano ha primado desde inicio a fin, siendo un factor clave en el éxito y en el aprendizaje de lo que significa un proyecto real.

Los participantes del trabajo se han enfrentado a la realidad de tener que organizar su propio trabajo y el del resto del equipo. En un principio el equipo dividió el trabajo por partes, surgiendo así este proyecto. Esta idea inicialmente funcionó muy bien, pero según todo el proyecto del robot avanzó, esa idea necesitaba de flexibilidad. Al plantearse cada parte del robot como un TFG por separado hubo momentos en los que miembros del equipo no tenían carga de trabajo, mientras que otros la tenían en exceso. Hacia el final de todo el proyecto conjunto este hecho cambió, y la implicación directa de todos en todas las partes ayudó a acelerar considerablemente la construcción del robot.

También hay que destacar que a algunos componentes del equipo tuvieron que dedicar mucho tiempo al cálculo teórico de distintas partes del proyecto, dejando a un lado la creación de prototipos y las pruebas en general. Esto provocó que a largo plazo el proyecto conjunto se frenara, ya que es más importante la creación de prototipos intermedios funcionales que el cálculo de parámetros finales. Muchos de esos cálculos no fueron usados a lo largo del proyecto, comprendiéndose que primero ha de tenerse una idea aproximada del proyecto (prototipos) y después afinarla para un resultado final (cálculos y construcción precisa).

Los dos principales consejos dados por los estudiantes para futuros proyectos son la importancia de formar un equipo multidisciplinar que cubra varias áreas de la ingeniería y que no pierdan el tiempo construyendo algo desde cero cuando ya existe en el mercado, dado que al final va a resultar más barato, fiable y preciso. Un ejemplo de ello fueron los encoders de la plataforma móvil.

Como valoración crítica, los estudiantes piensan que se puede mejorar el resultado si los problemas se hubieran abordado de forma más sencilla. En un principio se aspiró a construir un robot demasiado complejo para los conocimientos que se tenían en esos momentos, por lo que se perdió mucho tiempo y energías. También en el aspecto económico el esfuerzo realizado para conseguir financiación, elaborando presupuestos y buscando sponsors, sumando a la espera respuestas hicieron perder también mucho tiempo.

Como conclusión para los estudiantes, este proyecto ha servido para afianzar el conocimiento adquirido durante los años de estudio en la universidad y para adentrarse en el mundo real, dando una visión muy necesaria del entorno laboral futuro, donde la forma de trabajar es en equipo. También este trabajo intenta hacer de guía y base para futuros ingenieros y sus

proyectos en el ámbito de la robótica. Para que puedan aprender tanto de los éxitos como de los fracasos en el recorrido de este proyecto, pudiendo plantear los suyos propios de una forma más organizada y eficiente.

Desde el punto de vista de los profesores implicados, esta experiencia les ha permitido conocer mejor el funcionamiento interno de cada uno de los departamentos y de la Escuela Politécnica Superior donde imparten la mayor parte de su docencia. Este conocimiento les será útil para involucrar a más profesores de otras asignaturas en proyectos futuros. Este hecho tiene dos consecuencias positivas. La primera es que, a mayor número de docentes implicados, mayor será la capacidad de enseñanza a los futuros estudiantes que se involucran en proyectos de envergadura. Esta relación entre profesores de diferentes áreas también puede ayudar a reorientar algunos contenidos de las asignaturas, para hacerlas más prácticas y relacionarlas entre ellas. Esto las hará más atractivas y reducirá la carga de trabajo de los estudiantes. Además, la implicación de un número mayor de profesores facilitará la captación de fondos docentes de los departamentos, de la escuela y de la universidad.

Para terminar, en la Tabla I se enumeran algunos índices para cuantificar el grado de satisfacción de la experiencia. Para ello se recoge la puntuación dada por los cinco integrantes del equipo. La calificación es de 1 a 10, donde 10 es muy favorable 1 es no favorable

TABLA I. VALORACIÓN DE LA EXPERIENCIA

<i>Cuestión</i>	<i>Valoración</i>
¿Recomendarías la participación en concursos de robótica a estudiantes de la UAH?	8
¿Te parece adecuado que los TFGs se propongan como parte de un proyecto mayor, permitiendo así la relación entre estudiantes de titulaciones diferentes?	8
¿La participación en este proyecto te ha permitido aprender conocimientos nuevos?	9
¿Cómo valorarías el apoyo institucional a este tipo de iniciativas?	4
¿Es necesario reorientar los contenidos de las asignaturas impartidas para fomentar las competencias transversales?	10
¿Es necesario reorientar los contenidos de las asignaturas impartidas para reducir la carga de trabajo y hacerlas más prácticas?	10

AGRADECIMIENTOS

El trabajo realizado y su presentación en Congreso TAAE ha sido posible gracias al apoyo del Departamento de Electrónica y del Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones al proporcionar algo de material y ceder un laboratorio donde poder trabajar. También se agradece a la empresa Electrónica Alcalá por donar los componentes electrónicos utilizados.

REFERENCIAS

- [1] J. Ruiz-del-Solar. "Robotics-Centered Outreach Activities: An Integrated Approach," ToE 2010 vol. 53, no. 1, pp. 38-45, Feb 2010. 2010.
- [2] D.J. Mehrl, M.E. Parten, D.L. Vines Robots Enhance Engineering Education 1997 Frontiers in Education Conference Proceedings. Pág 613. 1997.
- [3] Messom, C.H., Carnegie, D., Xu, P., Demidenko, S., Bailey, D., 'Robotic Competitions: Motivation for Engineering Programmes', Proceedings of

- the Ninth New Zealand Electronics Conference, Dunedin, New Zealand, 2002, pp 55-60, ISBN: 0-473-09117-8.
- [4] <https://scratch.mit.edu> (Última vez consultada 2/03/2018).
- [5] <https://www.arduino.cc> (Última vez consultada 2/03/2018).
- [6] R.R. Murphy. "'Competing' for a robotics education," Robotics & Automation Magazine, IEEE vol. 8, pp. 44-55, 2001.
- [7] J. Pastor Mendoza y F.J. Rodríguez Sánchez. "Work in Progress: Robot Contest as an element of motivation and professional improvement in students," Proceedings of 36th Frontiers in Education Conference, San Diego - California (USA), 2006.
- [8] J. Pastor, I. González y F.J. Rodríguez. "Participation in international robot competitions as a way of potentiating basic professional abilities," Eurobot International Conference on Research and Education in Robotics, Heidelberg, Germany, 2008.
- [9] S. Villanueva-Rosa. "Competición intercentros: Propuesta de un marco de acción para el aprendizaje de robótica y tecnología por medio de ABP". Trabajo fin de máster (Formación del profesorado de educación secundaria, obligatoria y formación profesional). Curso 16/17.
- [10] <http://www.robocupjuniorspain.es/robocup-junior-spain-2017/> (Última vez consultada 2/03/2018).
- [11] E. Amy. "[RoboCupJunior for promoting STEM education, 21st century skills, and technological advancement through robotics competition](#)", vol. 75, pp. 692-699 –Subdivisión B, 2016
- [12] T. Ning, M. Rajesh, F. Shaohui et al. "IDC Robocon: A Transnational Teaming Competition for Project-Based Design Education in Undergraduate Robotics", Robotics vol. 5 (3), 2016.
- [13] R.R. Murphy, 'Competing' for a Robotics Education IEEE Robotics & Automation Magazine. (2001).
- [14] M. Asada, R. D'Andrea, A. Birk, H. Gitano, M. Veloso. Robotics in Edutainment. 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation Proceedings. pp. 795-800. 2000.
- [15] G. P. Brooks. Perry: Fact, Fiction and Outcomes Assessment. Annual Meeting of the Mid-Western Educational Research Association (Chicago IL, October 1998)
- [16] https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_asignaturas/asig100008/informacion_academica(Última vez consultada 2/03/2018).
- [17] <http://asimov.depeca.uah.es/robotica/>(Última vez consultada 2/03/2018).
- [18] <http://asimov.depeca.uah.es/robotica/mod/resource/view.php?id=1452>(Última vez consultada 2/03/2018).
- [19] <http://asimov.depeca.uah.es/robotica/course/view.php?id=69>(Última vez consultada 2/03/2018).
- [20] <http://roboticday.org/> (Última vez consultada 2/03/2018).
- [21] http://roboticday.org/2018/rules/2018-Roadside_Assistance-ENv1.pdf(Última vez consultada 2/03/2018).
- [22] A. Barrientos, L. F. Peñín, C. Balaguer, y R. Aracil. "Fundamentos de Robótica". McGraw-Hill. 1997.
- [23] R. Salazar-Arcucci, M. Caponata. "Un robot que juega al golf: control del movimiento. Trabajo Final de Carrera de Ingeniería Técnica Industrial de la Universidad de Alcalá. 2006
- [24] J. Baliñas-Santos, Javier. "Manual de referencia para el desarrollo de robots de Eurobot". Trabajo Fin de Carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Alcalá. 2016.