

# PLATAFORMA ROBÓTICA DE BAJO COSTE Y RECURSOS LIMITADOS BASADA EN ARDUINO Y DISPOSITIVOS MÓVILES.

A. Soriano, L. Marín, R. Juan, J. Cazalilla, A. Valera, M. Vallés, P. Albertos  
{ansovi, leomarpa, jcazalilla, giuprog, mvalles, pedro}@ai2.upv.es  
Instituto de Automática e Informática Industrial  
Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain

## Resumen

*Este trabajo presenta una plataforma didáctica basada en materiales de bajo coste que se encuentran en pleno auge de desarrollo y que frecuentemente se están implantando como herramientas de uso cotidiano en educación e investigación. Desde el punto de vista hardware, la plataforma consiste en un vehículo móvil capaz de manipular objetos mediante un brazo articulado. Para controlar el funcionamiento de ésta se ha dispuesto de una tarjeta Arduino a la que se ha añadido un dispositivo de comunicación vía Bluetooth y se ha desarrollado una aplicación para su control y manejo basada en el sistema operativo Android. La plataforma se ha programado completamente mediante el entorno Simulink, un software bien conocido en el campo de la automática y que recientemente ha incorporado librerías de programación para las tarjetas Arduino. Mediante estas librerías la programación de código queda encapsulada en el entorno gráfico Simulink, ofreciendo una abstracción absoluta del código C/C++ con el que originalmente se programa Arduino, lo cual facilita su uso en prácticas de laboratorio.*

*La plataforma permite la enseñanza de conceptos incluidos dentro del campo de la automática como el control de motores, el control de posición y velocidad, control de trayectorias, refuerzo de conocimientos sobre electrónica, manejo de comunicaciones inalámbricas, integración con sistemas Android... de una manera aplicada y sin requerir conocimientos avanzados de programación. Así, el artículo describe los elementos hardware utilizados para la construcción de la plataforma educativa y el procedimiento seguido para la construcción de ésta, el software utilizado para su programación y algunas actividades docentes que es posible realizar con la misma.*

**Palabras Clave:** Automática, robótica, educación en automática, Arduino, Matlab-Simulink, plataforma móvil didáctica, tecnología pedagógica.

## 1 INTRODUCCIÓN

La automática y, en concreto, su enfoque hacia la robótica móvil, es un campo de éxito dentro de ciclos formativos, en la educación de bachillerato y de universidad debido a una combinación de factores [18]. El uso de una herramienta adecuada para el trabajo de laboratorio se convierte en una decisión crítica para promover la motivación de experimentar físicamente conceptos teóricos que se estudian en clase. Tiempo atrás, el material educativo que ofrecía el mercado resultaba altamente costoso. No obstante, hoy en día el campo de la educación en automática está en constante evolución; cada día surgen productos y plataformas nuevos sobre los que aplicar conceptos propios de esta área. Además existe una tendencia generalizada que está desencadenando la expansión de productos de hardware libre de bajo coste [7] con la intención de aportar simplicidad, estandarización y, en resumen, facilidades a las comunidades investigadoras o educativas para hacer uso de estos dispositivos.

Por otro lado, la educación en programación [15] es un área que comienza a abrirse paso entre las asignaturas de educación en institutos de bachillerato y ciclos formativos. Generalmente, la introducción a la programación no se lleva a cabo mediante el aprendizaje directo de un lenguaje de programación, si no que se realiza mediante organigramas o mediante programación en bloques por ser una metodología más intuitiva y mediante la cual la curva de aprendizaje es mucho más relajada. Existen diferentes herramientas multiplataforma con estas características como Scratch (desarrollada por Massachusetts Institute of Technology) [16], Blockly (desarrollada por Google) [8], Alice (desarrollada por Carnegie Mellon University) [4], Greenfoot (University of Kent) [9] y herramientas con la misma filosofía pero que ofrecen un mayor potencial como Simulink [14] o Labview [10]. Este modo de programar ofrece rápidos resultados que ayudan a promover la motivación del alumnado.

Al mismo tiempo, la rápida evolución de la tecnología ha desembocado en un conocimiento generalizado del uso y la familiarización de sistemas inalámbricos como tabletas o teléfonos móviles. Hoy en día, con cierta edad, los jóvenes conocen al detalle

su manejo y prácticamente le dan un uso diario. El área de la educación poco a poco debe ser capaz de aprovechar la familiarización con esta tecnología y su inherente asociación al ocio para explotar su uso como herramienta educativa.

Este artículo presenta una plataforma orientada a la educación que integra dispositivos hardware de bajo coste junto con una programación sencilla e intuitiva mediante bloques, a la vez que incorpora el uso de tabletas o teléfonos móviles para interactuar con ella.

## 2 HARDWARE UTILIZADO

La plataforma debe ofrecer cierta versatilidad y al mismo tiempo, no encarecer su coste. El hardware escogido para la construcción del prototipo viene a ser una combinación de dispositivos que cada vez en mayor medida se utilizan como material didáctico para experimentos educacionales y/o demostrativos. A continuación se detallan los dispositivos que forman la plataforma desarrollada.

### 2.1 TARJETA MICROCONTROLADORA

Para este trabajo se ha escogido una tarjeta Mega de Arduino (Figura 1) con un microcontrolador ATmega2560. Arduino [17] es un hardware libre de bajo coste fácilmente programable en lenguaje C/C++. Ofrece librerías para comunicación serie y convertor Analógico-Digital. Tiene 54 pines de entrada/salida digital, 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie), una memoria flash de 256 KB, una frecuencia de reloj de 16 MHz y un puerto USB para conectarlo a cualquier computador. Las cuatro UARTs dotan al sistema de mayor flexibilidad permitiendo hacer funcionar cada una en una frecuencia de baudios distinta.

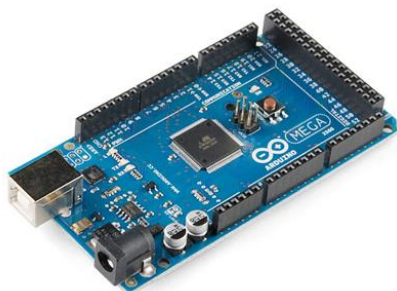


Figura 1: Arduino Mega

Para el control de motores, la misma compañía ofrece una tarjeta de expansión denominada Arduino Motor Shield la cual se monta sobre la misma placa MEGA y permite el control de dos motores de corriente continua con la posibilidad de invertir el sentido (integra un puente en hache).



Figura 2: Arduino motor shield

Para programar la placa Arduino el fabricante ofrece un software libre multiplataforma denominado IDE Arduino el cual está disponible en su propia página web. Es necesario también instalar los drivers para el puerto FTDI que incorpora la placa y conectarlo por USB al computador. El entorno del IDE Arduino consiste en un “sketch”, un simple editor de texto que permite cortar/pegar y buscar/remplazar texto para escribir el código, un área de mensajes, una consola de texto útil para depurar y verificar el código, un compilador para código C/C++ y una barra de herramientas con botones para las funciones comunes como compilar el código, descargar el programa a la placa, creación, apertura y guardado de programas, monitorización serie, selección del puerto de comunicaciones asignado a la placa, etc.

No obstante, debido a que la transmisión de datos entre el PC y el Arduino es serie, la programación se puede llevar a cabo desde cualquier lenguaje de programación que ofrezca este soporte, desde java hasta Simulink, el cuál es el método empleado en este trabajo.

Debido a su bajo coste y su política de hardware libre, en pocos años Arduino ha conseguido extenderse ampliamente dentro de la comunidad investigadora y científica. Formando parte como cerebro de distintos proyectos como desarrollos de impresoras 3D [5], creación de robots [1], gestión de redes [6], controladoras de brazos manipuladores [11], investigación en vehículos submarinos [3], e incluso en sus versiones más ligeras, en vehículos aéreos no tripulados[13].

### 2.2 MOTORES LEGO MINDSTORMS NXT

Para construir el vehículo móvil correspondiente a la plataforma desarrollada se ha utilizado la plataforma LEGO Mindstorms NXT y se ha establecido la forma de controlar los motores de la plataforma desde la tarjeta Arduino. La plataforma LEGO Mindstorms NXT [12] es una herramienta muy utilizada hoy en día en asignaturas de introducción a la robótica y a la automática debido a su bajo coste y a su amplia oferta de posibilidades con las que explotar el producto. A pesar de que se trata de una plataforma cerrada, en cualquiera de sus versiones comerciales, los kits incluyen unos motores de corriente continua que incorporan encoders (Figura 3), permitiendo obtener una realimentación de la posición del motor al aplicar cierta acción de control.

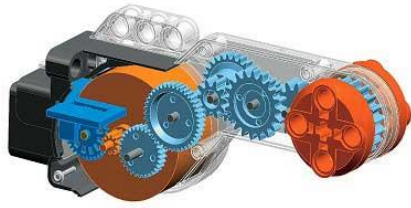


Figura 3: Motor de LEGO NXT.

Estos motores funcionan a 9 voltios mediante un puerto I2C que contiene 6 cables. Dos de ellos son la alimentación de los encoders a 4.3 voltios y tierra. Otros dos se encargan de enviar la potencia mediante una señal PWM a una frecuencia que determina la velocidad y mediante su inversa, el sentido al que debe moverse el motor. Y los dos últimos se utilizan para la lectura de los encoders. Como se muestra en la Figura 4, los pulsos de los encoders están desfasados de modo que es posible determinar la dirección del motor según la secuencia que se detecte. De esta manera, a pesar de ofrecer una resolución real de 720 grados por vuelta, en la práctica se reducen a la mitad debido a la necesidad de usar dos ciclos para la detección del sentido del motor.

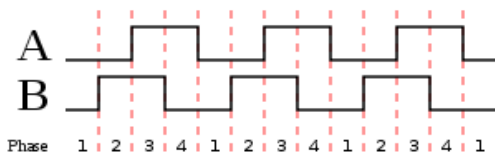


Figura 4. Relación entre las secuencias de encoders.

### 2.3 BRAZO ROBÓTICO

Con el fin de ampliar la versatilidad de la plataforma se ha incorporado a la misma un brazo robótico manipulador (Figura 5) de bajo coste con 4 grados de libertad.



Figura 5. Brazo robótico AL5D y controladora SSC-32.

El brazo se compone de 5 servomotores: uno en la base, uno en función de hombro, uno como codo, otro en la muñeca y el quinto para la apertura y cierre de la pinza.

El control de los motores se realiza mediante una controladora de servos SSC-32 que permite una

conexión serie para el envío y recepción de comandos. Los comandos guardan el siguiente formato: "#X PY TZ <cr>". Donde X es el identificador del servo que se desea mover, Y corresponde a la posición donde se desea que se posicione el servo y Z es el tiempo que se desea que dure la operación. Para finalizar cualquier comando siempre es obligatorio incluir el carácter de retorno de carro.

### 2.4 TABLETA O DISPOSITIVO INALÁMBRICO BASADO EN ANDROID

La integración de dispositivos de uso cotidiano para la educación supone, además de un ahorro en coste de material, tener la ventaja de que el alumno ya conoce el manejo del aparato y también el hecho de que aprender a sacarle el máximo partido, aumenta su interés y motivación.

Existen multitud de dispositivos inalámbricos basados en el sistema operativo libre Android. Poseer un dispositivo Android tiene la ventaja de que al tratarse de software libre, la marca ofrece todo lo necesario para el desarrollo libre de aplicaciones. Además su publicación y distribución dentro del mercado Android puede ser totalmente gratuita, algo que no ocurre en otros sistemas.

Para este trabajo se ha utilizado una Tableta modelo Samsung Galaxy Note 10.1 (Figura 6) con una pantalla de 10.1 pulgadas a una resolución de 1280x800, con un procesador de cuatro núcleos a 1,4 GHz, A-GPS, una memoria de 32 GB, 2 GB de RAM, conexión WI-FI, Bluetooth y con opción a la conexión 3G.



Figura 6. Samsung Galaxy Note 10.1

No obstante, cualquier dispositivo Android con conectividad vía Bluetooth es suficiente para el desarrollo de la aplicación que se propone en este trabajo.

## 3 SOFTWARE UTILIZADO

En cuanto al software utilizado en este trabajo, se debe hacer una diferenciación de entre las distintas aplicaciones planteadas.

Por lo que se refiere al control de la plataforma con el brazo robot, el algoritmo necesario se ejecutará en el Arduino. Como se ha comentado anteriormente, se tiene la opción de utilizar el entorno IDE de Arduino para llevar a cabo esa programación directamente en la placa. Pero, puesto que uno de los objetivos de este trabajo es la programación de manera sencilla e intuitiva mediante bloques, se ha utilizado Matlab-Simulink junto con la integración de bloques para Arduino para realizar esta tarea.

Por otro lado, para poder interactuar con la plataforma de manera remota, se ha implementado una aplicación Android para la tableta anteriormente comentada usando el entorno de desarrollo Eclipse, con la SDK de Android.

### 3.1 ARDUINO SUPPORT FOR SIMULINK

Como es bien conocido, Matlab es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo con un lenguaje propio de programación de alto nivel. Además, sobre el entorno de programación de Matlab se encuentra Simulink, siendo una herramienta de extremada utilidad para analizar, modelar y simular sistemas.

Pese a que Matlab ya es de por sí un lenguaje de alto nivel, el uso de Simulink permite programar directamente por bloques y de forma gráfica, pasando a un segundo plano la generación de código. También, debido a la gran cantidad de bloques disponibles en Simulink, la complejidad y funcionalidad de los modelos que se implementan vienen determinados por el nivel de conocimientos del diseñador. Esto hace que sea una herramienta de trabajo verdaderamente interesante en cualquier ámbito académico (desde la Educación Secundaria hasta la Universidad).

En cuanto al uso de bloques de Simulink para la placa Arduino, se ha distribuido recientemente la librería "Arduino support from Simulink", la cual ofrece una serie de bloques diseñados específicamente para la placa en cuestión. De este modo, se puede implementar el esquema deseado en Matlab-Simulink y transferirlo a la placa Arduino de una forma totalmente transparente para el usuario, despreocupándose de la conversión entre bloques de Simulink y código para Arduino.

De entre los bloques para Arduino que se proporcionan, destacan los siguientes (figura 7):

- **Arduino Analog Input.** Mediante este módulo, se puede leer el voltaje que se esté aplicando por un pin determinado. La precisión de la salida que proporciona este bloque será de 10 bits.

- **Arduino PWM.** A través de este bloque se envía una señal PWM por el pin seleccionado. La frecuencia de la señal cuadrada es fija a 490Hz, pudiéndose modificar el *duty cycle* con una precisión de 8 bits (valores entre 0 y 255).

- **Arduino Digital Input/Output.** Con estos dos bloques se pueden leer y escribir señales digitales en los puertos seleccionados.

- **Arduino Serial Receive/Transmit.** Mediante estos bloques se es capaz de enviar y recibir bytes de datos mediante el puerto serie.

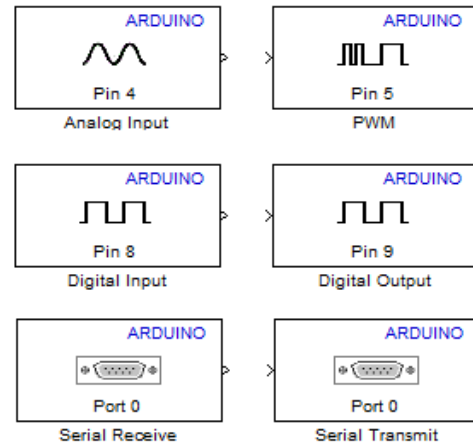


Figura 7: Bloques Arduino Simulink

Como se puede observar, la placa Arduino, junto con la integración para Simulink, permite a los estudiantes entender el proceso de desarrollo de software para sistemas embebidos sin realizar necesariamente una programación manual del algoritmo, sino de una forma tan sencilla e interactiva como es añadiendo, conectando y modificando bloques con una funcionalidad completa.

### 3.2 PROGRAMACIÓN EN ANDROID

Para poder desarrollar la aplicación de control nativa para dispositivos con el sistema operativo Android es necesario en primer lugar preparar el entorno de desarrollo.

Para facilitar el trabajo a los desarrolladores, Google facilita de manera gratuita y libre un paquete con la última versión del IDE Eclipse junto con el SDK de Android y las herramientas ADT (Android Developer Tools) necesarias. Su instalación es tan sencilla como descomprimir el contenido del paquete descargado de la página de desarrolladores de Android [2] en una carpeta del sistema. Dentro se encuentra el ejecutable del Eclipse el cual lanzará el IDE con todos los componentes necesarios instalados para empezar a desarrollar aplicaciones Android.

La aplicación desarrollada ha sido pensada para ejecutarse en una Tableta de la marca Samsung modelo Galaxy Note 10.1. Para la correcta comunicación del dispositivo con el entorno de desarrollo, es necesaria la previa instalación de la aplicación Kies, software de Samsung que proporciona los drivers y software necesario para la comunicación entre la Tableta y el PC. Una vez instalado el software, el dispositivo es reconocido por

el sistema, y desde el IDE Eclipse es posible cargar los programas realizados directamente al dispositivo, simplemente seleccionando como target del proyecto el propio dispositivo.

## 4 INTEGRACIÓN Y MONTAJE DEL HARDWARE.

Para la construcción de la plataforma móvil robotizada se ha construido una base sólida apoyada sobre dos motores en configuración diferencial y cada uno con una tracción de tipo oruga no orientable como puede observarse en la Figura 8. Todo mediante piezas de LEGO fáciles de ensamblar.

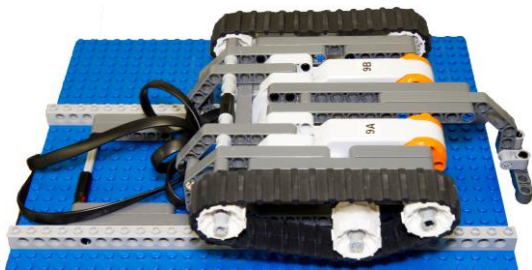


Figura 8. Base de la plataforma montada mediante piezas de LEGO vista desde abajo.

Sobre la base, en el centro, se ha situado el brazo robótico AL5D junto a la controladora SSC-32, de modo que la plataforma queda balanceada con el peso del brazo y de modo que no se despeguen las ruedas del suelo a pesar de cualquier posición que pueda adoptar el manipulador. Al mismo tiempo, a cada lado del brazo robótico se han posicionado dos placas de Arduino MEGA para ofrecer la posibilidad de controlar los movimientos del brazo y el control de motores al mismo tiempo. Esto es necesario debido a que, por el tipo de programación utilizada no es posible realizar operaciones multihilo en el microcontrolador y por tanto, si se desea gestionar procesos concurrentes, es necesario añadir un controlador por proceso.

En este trabajo se ha decidido que un Arduino se encargue de la gestión del posicionamiento del manipulador y el otro, mediante la instalación de la tarjeta de expansión Arduino motor shield, maneje el control de velocidad y de dirección los motores. Se ha instalado también un dispositivo inalámbrico Bluetooth al que están conectados los dos microcontroladores y mediante el cual se creará la conexión entre la plataforma y la Tableta.

Otro elemento fundamental para dotar de autonomía a la plataforma es la alimentación portátil. Se ha instalado una batería LiPo de dos celdas con una capacidad de 5 A. y un voltaje de 7,4 V. para alimentar las dos placas de Arduino con las extensiones de Arduino motor shield y los cinco

servomotores que forman parte del brazo robotizado. El esquema de los distintos elementos que forman la plataforma puede observarse en la Figura 9:

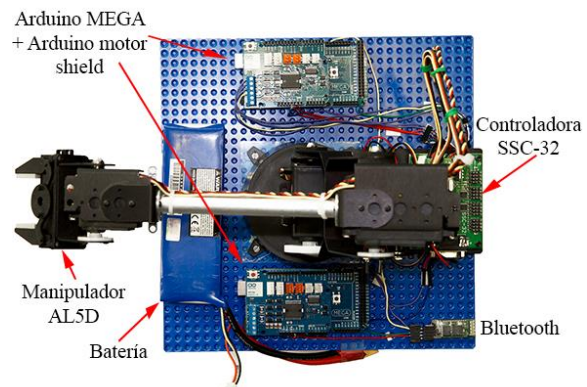


Figura 9: Vista superior de los elementos que forman parte de la plataforma educativa.

Como ya se ha comentado anteriormente, la programación de las tarjetas Arduino se ha realizado exclusivamente con la nueva librería para Simulink con soporte para Arduino. En la siguiente sección se exponen diferentes conceptos relacionados con el campo de la automática, que se han llevado a la práctica mediante la creación de la plataforma y que pueden ayudar a reforzar los métodos de aprendizaje de una manera vistosa y atractiva.

## 5 PROPUESTA EDUCACIONAL DE LA PLATAFORMA ROBÓTICA

Debido a las características que tiene la plataforma presentada en este trabajo, ésta es una herramienta muy útil y versátil que se puede utilizar para desarrollar una gran variedad de actividades prácticas relacionadas con el aprendizaje de la Automática. A continuación se proponen un conjunto de actividades, aunque por supuesto, dependiendo de los conceptos o contenidos que sean necesarios abordar, éstas se podrían ampliar mucho más.

### 5.1 ELECTRÓNICA

Para el montaje de la plataforma es necesario conocer bien el hardware y las distintas opciones de interconexión que ofrecen los distintos elementos. De esta forma, por ejemplo, es necesario conocer el voltaje que necesita cada elemento, el consumo de corriente total que puede ocasionar el sistema en el peor de los casos, saber identificar los puertos de entrada y salida, conocer el funcionamiento a bajo nivel de los motores de corriente continua y los servomotores, saber hacer uso correcto de instrumentación de medida como los polímetros y osciloscopios para verificar conexiones y parámetros, etc.

Por lo tanto, se entiende que la plataforma propuesta resulta muy motivadora y útil para los alumnos, puesto que éstos pueden trabajar de una forma práctica con diferentes cuestiones relacionadas con conceptos teóricos de la electrónica.

## 5.2 CÁLCULO DE LA CINEMÁTICA INVERSA

El cálculo de la cinemática inversa, es una parte esencial en la robótica relacionada con brazos manipuladores. De esta forma, el brazo robot AL5D que incorpora la plataforma, permite a los alumnos estudiar de una forma práctica la forma de calcular los movimientos necesarios de las articulaciones del robot cuando se desea que la herramienta terminal de éste alcance una posición X-Y-Z.

Para ello se les podría proponer a los alumnos que utilizaran por ejemplo, métodos geométricos o las conocidas matrices de transformación homogénea. La idea es llevar a la práctica las soluciones de este tipo de problemas que se plantean de manera teórica y matemática sobre un papel y comprobar visualmente los resultados sobre una plataforma real. En la plataforma, la cinemática inversa se ha desarrollado con un bloque *Embedded Function* de Simulink. En dicho bloque es posible verificar de una forma muy simple por ejemplo las dimensiones de los distintos elementos del brazo (base, hombro, codo y herramienta), permitiendo así analizar cómo afecta un cambio de dichas dimensiones en la respuesta del sistema.

## 5.3 CONTROL DE MOTORES

Los motores son elementos bien conocidos dentro del campo de la Automática y objeto de estudio a fondo en asignaturas relacionadas con el control de procesos, la mecatrónica o la robótica. Mediante la plataforma propuesta es posible realizar una gran variedad de tareas como por ejemplo la identificación de motores, la aplicación de filtros o el control de velocidad y posición basado en la realimentación del valor de los encoders.

## 5.4 CONTROL CINEMÁTICO

La configuración diferencial definida en la plataforma se considera una de las más sencillas ya que cuenta con dos ruedas de tipo oruga diametralmente opuestas en un eje perpendicular a la dirección del robot. Esta configuración permite realizar giros sobre el propio eje central del robot sin necesidad de avanzar, lo cual es conocido como configuración holonómica.

En una primera etapa se puede proponer a los alumnos que hagan una simulación de la configuración cinemática de este robot, analizando

cómo afectan las velocidades de los motores, y por lo tanto su control, en el movimiento de la plataforma.

Una vez comprendido el modelo cinemático se puede proponer a los alumnos tareas relacionadas con la generación de trayectorias de movimiento, y con el control de seguimiento de dichas trayectorias, como por ejemplo los métodos de control de trayectoria por punto descentralizado o el control de camino mediante persecución pura.

## 5.5 PROGRAMACIÓN MEDIANTE DIAGRAMAS DE BLOQUES

Como ya se ha mencionado anteriormente, se ha realizado una programación mediante bloques de Matlab-Simulink para facilitar la comprensión y el desarrollo de los programas sobre la plataforma que se presenta.

Por supuesto, el nivel de complejidad y el potencial de los mismos dependen únicamente del programador. En este sentido, la Figura 10 muestra por ejemplo un diagrama desarrollado en Matlab-Simulink para la programación de la placa de Arduino encargada del manejo del brazo robótico mediante la recepción de mensajes vía Bluetooth.

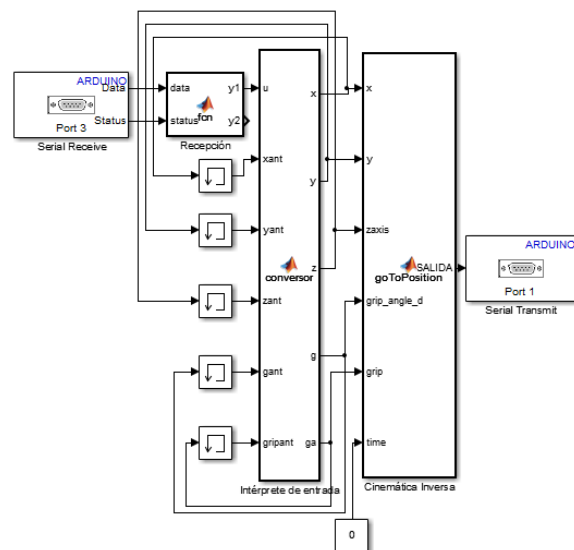


Figura 10: Esquema Simulink para el control del brazo robótico mediante mensajes Bluetooth para Arduino.

En este caso, se puede comprobar como el dispositivo Bluetooth está conectado al puerto serie número 3 de la placa de Arduino. El bloque de *Recepción* realiza una espera activa de la trama de datos y el Bloque del *Intérprete de entrada* es el encargado de desglosar la trama recibida e interpretarla como posiciones x, y, z del brazo robótico donde se desea posicionar, así como la posición de la pinza. Por último, el bloque *Cinemática inversa*, calcula los comandos necesarios para situar al robot en esa posición y se envían por el puerto serie número 1, que es donde se ha conectado la controladora SSC-32.

Para el control de motores mediante comandos vía Bluetooth, la plataforma utiliza una segunda tarjeta Arduino. Para dicho control se ha desarrollado el esquema presentado en la siguiente figura:

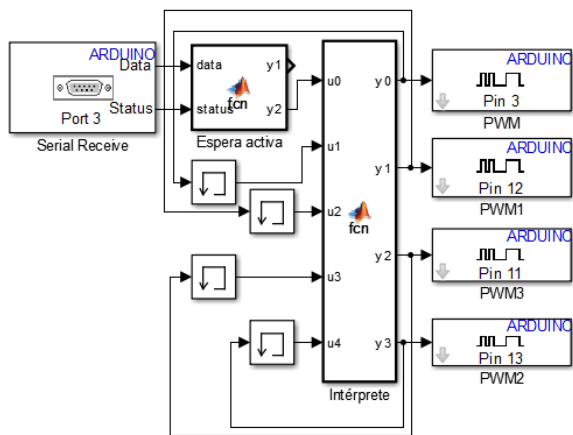


Figura 11: Esquema Matlab-Simulink para Arduino, para el control de motores vía Bluetooth.

Al igual que ocurría con la primera tarjeta, el dispositivo Bluetooth se ha conectado al puerto serie número 3 de Arduino. En este caso el módulo *Intérprete*, traduce la trama recibida a los módulos de salida PWM de Arduino motor Shield. El motor derecho está conectado a los puertos de PWM 3 y 12. El puerto número 3 define la potencia que se desea aplicar al motor y el 12 define el sentido. Del mismo modo, el motor izquierdo está conectado a los pines 11 y 13.

En este sentido, dependiendo del nivel de los alumnos y de los contenidos que se deseen impartir, se pueden proponer diferentes actividades. La más simple sería que los alumnos tuvieran que verificar los distintos módulos y que vieran cómo se puede generar el código y realizar la programación de las tarjetas de control de Arduino.

Por supuesto, se les podrían proponer tareas mucho más complejas, como por ejemplo que fueran ellos los encargados de programar alguna de las funciones embebidas de Matlab para la generación de las señales de PWM de los motores, de las comunicaciones serie, etc.

## 5.6 DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN ANDROID PARA EL CONTROL DE LA PLATAFORMA

Una vez programadas las dos tarjetas de Arduino se podría proponer a los alumnos el desarrollo y la programación de aplicaciones para la interacción vía Bluetooth entre la plataforma robotizada y cualquier dispositivo móvil.

A pesar de que últimamente los dispositivos móviles gozan de gran aceptación y de que hay muchos alumnos interesados en el desarrollo de aplicaciones de dichos dispositivos, su programación no es una

tarea simple puesto que, por ejemplo no existe una metodología orientada a la programación mediante organigramas o diagramas de bloques. Por lo tanto, se requiere tener unos conocimientos mínimos de programación mediante código para abordar el desarrollo en este tipo de dispositivos.

No obstante, adquiriendo ciertos conocimientos sobre programación en JAVA, el salto de desarrollar cualquier programa normal en un PC a programar en una tableta no requiere más que conocer los pasos de configuración del entorno de desarrollo.

Para el manejo de la plataforma se ha desarrollado una aplicación en Android a modo de control remoto. La aplicación está basada en un ejemplo proporcionado por Google para la comunicación con dispositivos Bluetooth, en la que un servidor atiende todas las conexiones entrantes por sockets Bluetooth propios del sistema operativo Android.

Como con cualquier dispositivo Bluetooth, lo primero que tendrá que hacer el usuario de la aplicación es dirigirse al menú de opciones de la aplicación, buscar y conectarse al dispositivo Bluetooth receptor de la plataforma. De ésta manera se establecerá la comunicación bidireccional necesaria para el envío de órdenes desde el panel de mandos a la plataforma.

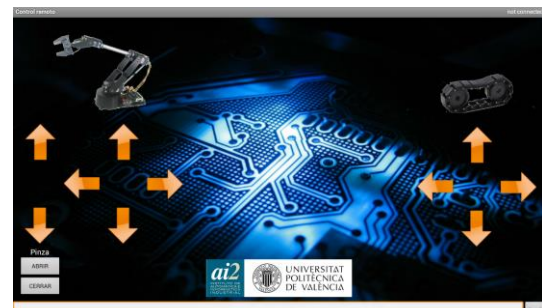


Figura 12: Interfaz de la aplicación Android desarrollada para el control de la plataforma.

Para el control de los motores y del brazo robot de la plataforma móvil, la aplicación dispone de dos mandos de control, izquierdo y derecho, Figura 12. El mando derecho, es el encargado del control de los motores de la plataforma y está compuesto con cuatro botones de dirección intuitivos para el usuario que hacen avanzar, retroceder o girar en los dos sentidos al robot. El mando izquierdo por otra parte, se compone de los controles necesarios para desplazamiento de la herramienta del brazo robot en sus 3 ejes de libertad (x, y, z). Además éste último mando incorpora dos botones para abrir y cerrar la pinza del extremo del brazo, y de ésta manera, poder coger y manipular objetos del entorno.

En este sentido, al igual que en el apartado anterior, dependiendo del nivel de los alumnos, se les podría proponer diferentes actividades, desde la más simple que sería programar una aplicación básica que estableciera simplemente la comunicación Bluetooth

entre la tableta y la plataforma robotizada, hasta aplicaciones más avanzadas que permitiera la programación de la trayectoria del robot o el control remoto de éste.



Figura 13: Plataforma manipulando piezas ensamblables.

## 6 CONCLUSIONES.

Se ha presentado una plataforma robotizada de bajo coste orientada hacia la educación en el campo de la automática en institutos y universidades. El sistema reúne elementos típicos estudiados en problemas de control y automatización como el control de motores, el cableado electrónico, la gestión de puertos serie, la cinemática inversa de un brazo manipulador, la gestión de comunicación inalámbrica..., y es escalable al nivel de dificultad que se desee profundizar.

Se ha detallado el montaje y los conceptos didácticos aplicables a la plataforma y la manera de afrontar su programación mediante organigramas y diagramas de bloques de una manera atractiva e intuitiva para el alumnado.

Se ha incorporado la interacción entre la plataforma y sistemas inalámbricos de uso cotidiano hoy en día como Tablets o SmartPhones basados en el sistema operativo Android.

En resumen, se ha presentado una plataforma completa de bajo coste basada en parte en software libre con el fin de facilitar la enseñanza de conceptos relacionados con la automática, a través de su desarrollo y programación.

### Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Ministerio de Ciencia e Innovación de España por la financiación parcial de este trabajo bajo los proyectos de investigación DPI2011-28507-C02-01 y DPI2010-20814-C02-02. Además se agradece el soporte financiero por parte de la Universidad de Costa Rica y el apoyo recibido por Instituto U. de Automática e Informática Industrial (ai2) de la U. Politècnica de València con el Plan de Ayudas a la I+D+i 2012.

## Referencias

- [1] Al-Busaidi, A. M. (2012, November). *Development of an educational environment for online control of a biped robot using MATLAB and Arduino*. In Mechatronics (MECATRONICS), 2012 9th France-Japan & 7th Europe-Asia Congress on and Research and Education in Mechatronics (REM), 2012 13th Int'l Workshop on (pp. 337-344). IEEE.
- [2] Android Development Kit. *Developer.android.com*
- [3] Busquets, J., Busquets, J. V., Tudela, D., Perez, F., Busquets-Carbonell, J., Barbera, A. y Gilabert, J. (2012, September). *Low-cost AUV based on Arduino open source microcontroller board for oceanographic research applications in a collaborative long term deployment missions and suitable for combining with an USV as autonomous automatic recharging platform*. In *Autonomous Underwater Vehicles (AUV)*, 2012 IEEE/OES (pp. 1-10). IEEE.
- [4] Cooper, S., Dann, W., & Pausch, R. (2000, April). *Alice: a 3-D tool for introductory programming concepts*. In *Journal of Computing Sciences in Colleges* (Vol. 15, No. 5, pp. 107-116). Consortium for Computing Sciences in Colleges.
- [5] Evans, B. (2012). *3D Printer Toolchain*. In *Practical 3D Printers* (pp. 27-47). Apress.
- [6] Faludi, R. (2010). *Building Wireless Sensor Networks: with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing*. O'Reilly Media, Incorporated.
- [7] Fisher, D. K., & Gould, P. J. (2012). Open-source hardware is a low-cost alternative for scientific instrumentation and research. *Modern Instrumentation*, 1(2), 8-20.
- [8] Google (maintained by Neil Fraser), 2013 "*Blockly - a visual programming editor*". Disponible: <http://code.google.com/p/blockly/>
- [9] Henriksen, P., & Kölling, M. (2004, October). *Greenfoot: Combining object visualisation with interaction*. In *Companion to the 19th annual ACM SIGPLAN conference on Object-oriented programming systems, languages, and applications* (pp. 73-82). ACM.
- [10] Johnson, G. W. (1997). *LabVIEW graphical programming: practical applications in instrumentation and control*. McGraw-Hill School Education Group.
- [11] Kadir, W. M. H. W., Samin, R. E., y Ibrahim, B. S. K. (2012). Internet Controlled Robotic Arm. *Procedia Engineering*, 41, 1065-1071..
- [12] Kelly, J. F. (2010). *Lego Mindstorms NXT-G Programming Guide*. Apress.
- [13] Lim, H., Park, J., Lee, D., y Kim, H. J. (2012). Build your own quadrotor: Open-source projects on unmanned aerial vehicles. *Robotics & Automation Magazine, IEEE*, 19(3), 33-45.



- [14] MathWorks, "Simulink". Disponible en: <http://www.mathworks.es/products/simulink/>
- [15] Piech, C., Sahami, M., Koller, D., Cooper, S., y Blikstein, P. (2012, February). Modeling how students learn to program. In Proceedings of the 43rd ACM technical symposium on Computer Science Education (pp. 153-160). ACM.
- [16] Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernández, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K. y Kafai, Y. (2009). Scratch: programming for all. *Communications of the ACM*, 52(11), 60-67.
- [17] Thompson, C. (2008). *Build it. share it. profit. Can open source hardware work.* Wired Magazine, 16(11), 16-11.
- [18] Weinberg J. B. y X. Yu, (2003) "Robotics in education: Low-cost platforms for teaching integrated systems," IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 10 Issue:2, pp.4 – 6.