

Sinergia LEGO Mindstorms – Arduino: aprovechamiento de las ventajas de ambas plataformas

Emilio Fernández Moreno
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Madrid) - Spain
ernandezm@edu.uah.es

Julio Pastor-Mendoza
Departamento de Electrónica
Universidad de Alcalá
Alcalá de Henares (Madrid) - Spain
julio.pastor@uah.es

Abstract— Las plataformas más utilizadas en la enseñanza de la tecnología, programación y robótica en enseñanzas medias son LEGO Mindstorms y Arduino. Las plataformas robóticas de LEGO se caracterizan por su sencillez en la programación y en el montaje mecánico mientras que su principal inconveniente es el alto precio de los componentes. Los sensores y actuadores disponibles para Arduino son bastante económicos, pero son difíciles de integrar en una estructura mecánica multifuncional. El presente trabajo analiza las ventajas y desventajas del uso de las plataformas de LEGO Mindstorms y Arduino en la enseñanza y presenta dos alternativas para integrar ambos mundos aprovechando las ventajas de cada uno de ellos: en la primera, LEGO Mindstorms controla sensores y actuadores de índole comercial, llegando hasta mantener una comunicación maestro-esclavo con Arduino; en la segunda línea, Arduino se encarga de controlar los periféricos de LEGO Mindstorms.

Keywords—LEGO Mindstorms, Arduino, sensores, actuadores, microcontrolador.

I. INTRODUCCIÓN

LEGO Mindstorms es una plataforma robótica desarrollada por LEGO muy utilizada en enseñanza secundaria. Hasta la fecha han sido desarrolladas tres generaciones RCX, NXT y EV3. La introducción en el mercado de EV3 ha obligado a muchos centros educativos a realizar nuevas inversiones si quieren tener el software actualizado. Si bien la plataforma EV3 es más potente, tiene más precisión en los movimientos y funciones más avanzadas que su antecesora, el NXT resuelve con creces las necesidades de los centros formativos de enseñanza secundaria.

Por otro lado, en los centros educativos de todo el mundo se están introduciendo actividades con la plataforma Arduino, menos orientada a niños, pero con muchas ventajas ya que se pueden conseguir muy altas funcionalidades a precios bastante económicos. Por ejemplo, en la Comunidad de Madrid (España), desde hace 3 años hay una asignatura obligatoria para los estudiantes de enseñanza secundaria en 1º, 2º y 3º de ESO y optativa en 4º ESO denominada “Tecnología, Programación y Robótica” donde, dependiendo de los centros, utilizan tecnologías muy diversas.

La plataforma LEGO Mindstorms es también muy utilizada en estudios de Grado para introducir a los estudiantes en la

programación en titulaciones relacionadas con la informática [1][2] o dentro de asignaturas de diseño en grados orientados al diseño industrial [3]. En otras universidades existen cursos de iniciación a la ingeniería donde estos robots se utilizan para trabajar de forma experimental con sistemas que posteriormente analizarán desde un punto de vista teórico [4][5][6].

Muchos centros educativos de secundaria y universitarios han hecho grandes inversiones en material de Lego Mindstorms NXT que ya no es mantenido por LEGO. Este proyecto pretende dar una solución a este problema proponiendo una sinergia entre LEGO Mindstorms NXT y Arduino, para lo que se muestra el diseño de dos prototipos completamente funcionales.

II. PLATAFORMAS UTILIZADAS

A. LEGO Mindstorms




La plataforma LEGO Mindstorms consiste en un controlador programable, motores, sensores y piezas de construcción diseñadas para ser acopladas entre sí. LEGO Mindstorms fue desarrollado como un juguete ambicioso por LEGO en 1998. Seymour Papert, que trabajó en el consejo asesor de LEGO durante muchos años, fue uno de los promotores de esta plataforma con el objetivo de que los niños aprendan jugando con la ayuda de la tecnología. Incluso la marca "Mindstorms" se deriva de su libro llamado "Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas" [7]. El objetivo principal del proyecto LEGO Mindstorms fue crear un entorno de aprendizaje que permitiera "aprender haciendo". Papert introdujo esta frase pegadiza para representar la idea del constructivismo [8].

Hasta la fecha han sido desarrolladas tres generaciones de LEGO Mindstorms. En la Tabla 1 se muestran las principales características de cada una [9] [10].

Aunque la versión EV3 es la que actualmente está en el mercado, muchos centros educativos de enseñanza secundaria y universidades disponen de la versión NXT (controlador, motores y sensores) que es un material robusto y potente, que rivaliza con muchos de los microcontroladores que se pueden encontrar actualmente. Uno de los objetivos de este proyecto es

proporcionar grandes posibilidades de ampliación a esta plataforma.

TABLA I. COMPARACIÓN ENTRE LAS TRES GENERACIONES DE LEGO MINDSTORMS [11][12][13]

Generación	RCX (1ª)	NXT (2ª)	EV3 (3ª)
Procesador	Hitachi H8/3292	Atmel ARM7	Texas Instruments ARM9
Frecuencia de trabajo	16 Mhz	48 Mhz	300 Mhz
Memoria	16 Kb ROM 32 Kb RAM	256 Kb FLASH 64 Kb RAM	16 Mb FLASH 64 Mb RAM
Comunicaciones	3 para motores 3 para sensores	3 para motores 4 para sensores	4 para motores 4 para sensores
			

B. Arduino

Arduino surgió en el año 2005, como un proyecto enfocado a los estudiantes del Interaction Design Institute Ivrea (IDII) en el norte de Italia [14] ante la necesidad que tenían los estudiantes y profesionales de diseño de disponer de una plataforma hardware fácil de programar y utilizar por personas que no tuvieran un perfil técnico, ya que las que había en el mercado eran de un coste elevado y con herramientas de programación que, además de no ser intuitivas, no eran multiplataforma.

Se trata de uno de los proyectos más exitosos de “open source hardware” (fuentes de hardware abiertas), donde tanto su software como su hardware son accesibles para que cualquier usuario pueda verlo y modificarlo si fuese necesario.

Dentro del mundo Arduino hay diversos modelos de tarjetas con características diferentes, tanto a nivel físico como a nivel de hardware. Las más utilizadas son Arduino UNO, Arduino Nano y Arduino Mini (Fig. 1).

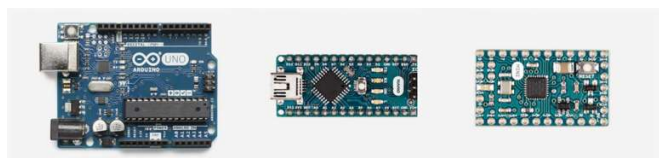


Fig 1. De izda. a dcha. tarjetas Arduino UNO, Arduino Nano y Arduino Mini [15]

Para la realización de este trabajo se ha elegido la tarjeta Arduino Nano debido a su reducido tamaño y a la simplicidad con la que se puede establecer la comunicación con el ordenador, ya que incluye un circuito integrado FT232RL adicional que tiene un interfaz USB.

A raíz del éxito de la plataforma Arduino, se han desarrollado innumerables sensores y actuadores de bajo coste pensados para ser conectados directamente a la tarjeta, con suficiente documentación y ejemplos de uso que ha convertido Arduino en una plataforma base para los aficionados del DIY

(“Do It Yourself”) con una ingente capacidad de ampliación con costes muy económicos.

III. ADAPTACIÓN DE AMBAS PLATAFORMAS

Mediante un estudio detallado de ambas plataformas se han podido evaluar las ventajas e inconvenientes que presentan cada una de ellas.

Una de las ventajas importantes de LEGO Mindstorms es la gran difusión que tiene en todo el mundo, lo que se traduce en una gran comunidad de usuarios trabajando con la plataforma y desarrollando complementos, especialmente software, como son diferentes lenguajes de programación gráficos y textuales. Algunas de las herramientas más utilizadas en el campo de la robótica como ROS (Robotics Operating System), Matlab o LabView tienen paquetes para utilizar las plataformas de Lego Mindstorms.

La mayor ventaja es sin duda la capacidad de relacionar la programación, con la electrónica (sensores y actuadores) y el diseño mecánico mediante piezas ensamblables y reutilizables. El diseño mecánico permite desarrollar competencias de visión espacial y creatividad, a la vez que facilita la transmisión de conocimientos físicos, mecánicos y de estructuras.

La simplicidad en la conexión de los sensores, de los motores y del sistema de control entre sí, es también un punto a favor de la plataforma de LEGO.

Uno de los mayores inconvenientes con que cuenta la plataforma LEGO Mindstorms, además de su elevado precio, es su limitado número de puertos de entrada destinados a la conexión de sensores, tanto digitales como analógicos. Esto, sumado a que LEGO no tiene una gran variedad de sensores y actuadores, hace que la plataforma en ocasiones se quede corta cuando se quieren realizar proyectos de cierta complejidad.

Por otro lado, la plataforma Arduino tiene como aspectos positivos fundamentales: su reducido precio de adquisición, tanto de las tarjetas de control como de la mayor parte de sensores y actuadores disponibles; la gran variedad de periféricos (sensores, actuadores, periféricos de comunicaciones, ...) que se le pueden conectar; la gran cantidad de documentación disponible que hace muy sencillo trabajar con ella; y un alto número de entradas y salidas multifuncionales disponibles.

El mayor inconveniente de Arduino para su uso en robótica es su difícil integración con elementos hardware mecánicos por lo que la colocación de los sensores y actuadores en una estructura suele ser una tarea compleja y normalmente no reutilizable.

Analizando las ventajas e inconvenientes de las dos plataformas se evidencia que, uniendo las dos arquitecturas, se podría conseguir una sinergia que permitiera conseguir resultados mucho mejores que con las dos plataformas por separado. Esto es especialmente interesante cuando se intentan realizar proyectos de robótica relativamente complejos, donde se requiere un gran número y variedad de sensores y actuadores, y a la vez fuera interesante tener la posibilidad de realizar prototipos mecánicos con facilidad.

A continuación, se presentan dos robots diseñados como prototipos de la integración LEGO Mindstorms – Arduino: un robot tiene como núcleo el controlador de LEGO Mindstorms NXT que está situado en una plataforma robótica convencional (no LEGO) y que utiliza sensores y actuadores comúnmente utilizados con Arduino; el otro robot tiene como núcleo de controla la tarjeta Arduino, y utiliza sensores y actuadores de LEGO Mindstorms estando a su vez integrado el controlador con la estructura mecánica de LEGO.

A. Robot A

Para el desarrollo de este robot se ha utilizado el ladrillo inteligente NXT (brick) como núcleo de control de sensores y actuadores que no son de LEGO y que se encuentran fácilmente por a bajo coste. También se ha añadido al sistema una tarjeta Arduino Nano, que se comunica con el controlador mediante un bus bajo la norma RS-485, permitiendo de esta manera ampliar las prestaciones que tiene el controlador NXT. En la Fig. 2 se puede ver el diagrama de bloques del sistema.

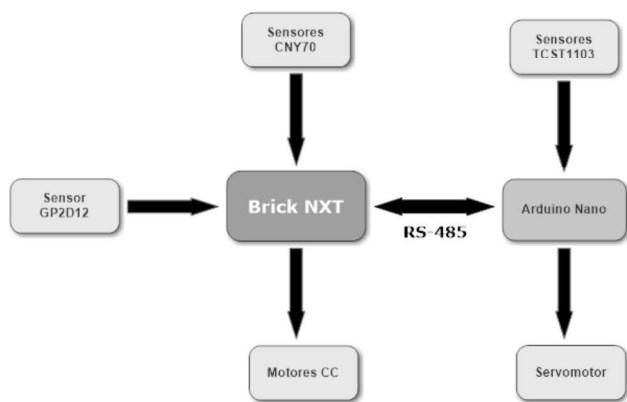


Fig 2. Diagrama de bloques del robot A

Los puertos de salida del controlador NXT contienen seis conexiones que pueden ser diferenciadas en tres secciones: control de motores, alimentación y sensores de rotación (Tabla II).

TABLA II. CONEXIONES PUERTO DE SALIDA BRICK NXT [16]

Pin	Nombre	Función	Color
1	MA0	Señal de salida PWM	Blanco
2	MA1	Señal de salida PWM	Negro
3	GND	Tierra	Rojo
4	POWERMA	+4.3V	Verde
5	TACHOX0	Señal de entrada encoder	Amarillo
6	TACHOX1	Señal de entrada encoder	Azul

Los puertos de entrada del brick (Tabla III) tienen seis conexiones que, al igual que los puertos de salida, se pueden diferenciar en tres secciones: señales analógicas, alimentación y señales digitales.

TABLA III. CONEXIONES PUERTOS DE ENTRADA BRICK NXT [16]

Pin	Nombre	Función	Color
1	ANA	Señal de entrada analógica, +9V	Blanco
2	GND	Tierra	Negro
3	GND	Tierra	Rojo
4	IPOWERA	+4.3V	Verde
5	DIGIxI0	Señal de reloj I ² C (SCL), RS-485 B	Amarillo
6	DIGIxI1	Señal de datos I ² C (SDA), RS-485 A	Azul

En el pin 1 de los puertos de entrada es importante destacar que hay una resistencia interna de pull-up de 10 KΩ, que va a influir a la hora de introducir valores analógicos en él (Fig. 3).

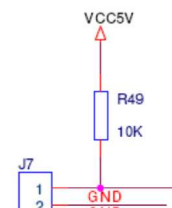


Fig 3. Entrada analógica puerto NXT

El controlador NXT dispone de una conexión RS-485 en los pines 5 y 6 del Puerto (Fig. 4). Esta norma, utiliza un bus de transmisión multipunto diferencial de dos hilos, es decir, la tensión diferencial entre los dos hilos define el nivel lógico que se va a enviar. El RS485 es ampliamente utilizado en la industria como elemento de comunicación entre controladores y sensores o actuadores, o entre controladores por lo que hay gran cantidad de dispositivos que podrían conectarse directamente al controlador por este puerto.

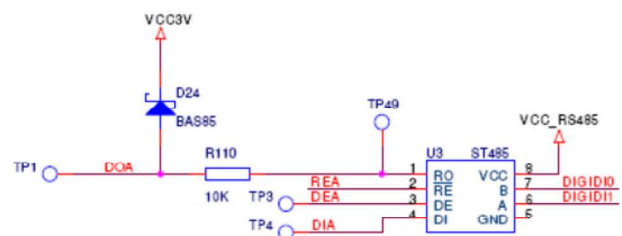


Fig 4. Circuito RS-485 brick NXT

Una vez analizado el brick NXT, se han elegido varios dispositivos electrónicos para conectarlos con él. En el apartado de sensores se han adaptado: dos sensores de infrarrojo reflexivos CNY70 cuyo cometido es permitir al robot visualizar líneas en el suelo; un sensor de distancia de infrarrojos GP2D12 para poder detectar obstáculos cercanos; y dos sensores de pulsos TCST1103 para poder evaluar el movimiento de los motores.

Los sensores analógicos tienen que conectarse al pin 1 de los puertos de entrada. Como los pines analógicos tienen una resistencia de pull-up conectada a ellos, ha sido necesario desarrollar una electrónica de acondicionamiento para que

podiesen ser funcionales, y para facilitar su integración en el sistema, se han diseñado y fabricado varias placas de circuito impreso (PCB). En las Fig. 5, 6 y 7 se muestra el esquema de los circuitos diseñados y en la Fig. 8 los circuitos impresos.

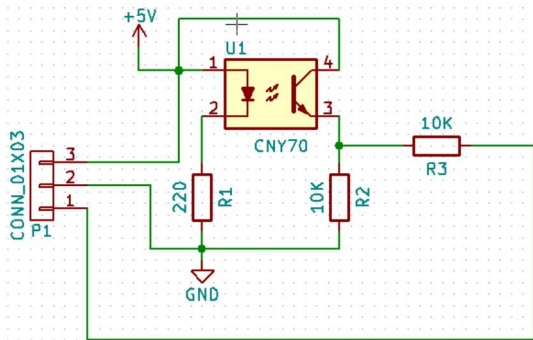


Fig. 5: Circuito adaptador CNY70

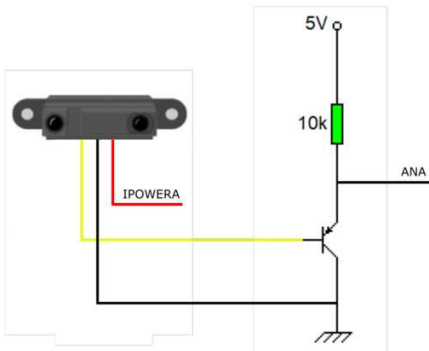


Fig. 6: Circuito adaptador GP2D12

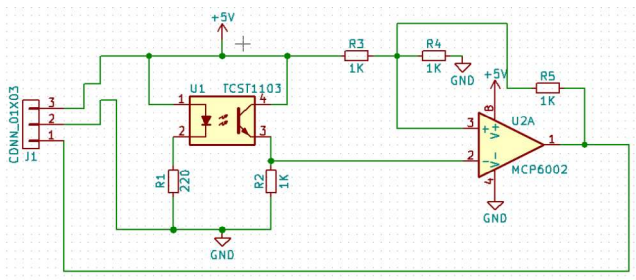


Fig. 7: Circuito adaptador TCST1103



Fig 8. PCB de adaptación de los sensores CNY70 y TCST1103 diseñados

En cuanto a los motores utilizados, se tratan de motores de corriente continua con reductora que sirve para reducir la velocidad del motor y aumentar el par.

El robot en total utiliza cinco sensores y el brick sólo tiene 4 puertos de entrada, por lo que se ha hecho uso del puerto de comunicaciones a alta velocidad para conectar en él una tarjeta Arduino Nano, y así ampliar el número de puertos de entrada (Fig.9). Se ha diseñado una PCB que integra la tarjeta y el driver que permite una comunicación mediante el bus RS-485.

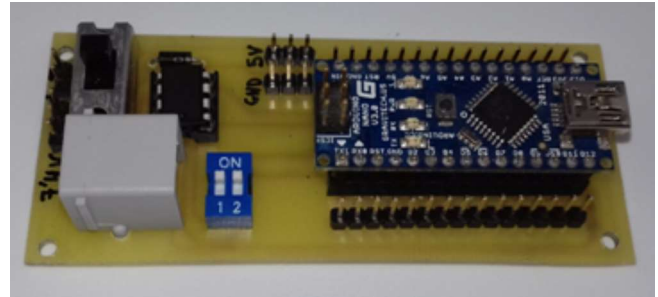


Fig. 9 Interfaz comunicación NXT – Arduino

Debido a que se ha utilizado el puerto de entrada número 4 para establecer una comunicación con la tarjeta Arduino Nano, solo quedan disponibles tres puertos de entrada del brick. En esos tres puertos van a ir conectados los tres sensores reflexivos, todos ellos analógicos, mientras que los sensores de transmisión van conectados a la tarjeta Arduino.

Esta decisión se ha tomado así, ya que los sensores de transmisión forman parte del encoder de los motores y es necesario utilizar interrupciones externas para tener medidas más precisas.

Los encoder también cuentan con dos discos codificadores, diseñados mediante impresión 3D, que permitirán al robot tener un control preciso de la velocidad de giro. En la Fig. 10 se pueden ver el motor con reductora y el encoder.

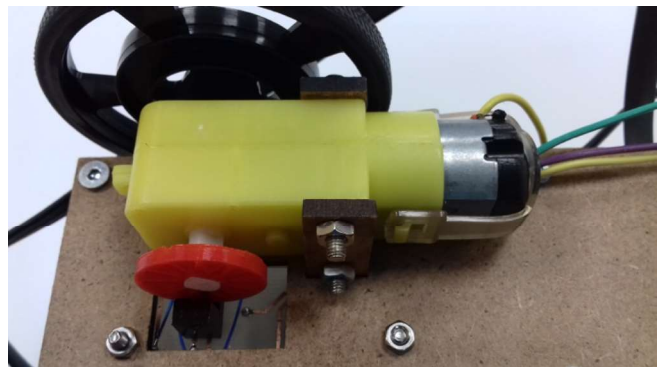


Fig 10. Motor de corriente continua y Encoder del robot

El chasis se diseñó con DM (densidad media), cortado mediante la técnica del corte por láser y estructurado en dos plantas para que pueda ser más compacto, lo podemos ver en la Fig. 11.

A la configuración básica se le ha añadido un mando de la videoconsola Wii, conocido como Nunchuck. Este mando es útil debido a que contiene dos botones, un joystick bidireccional y un acelerómetro de tres ejes. Además se

comunica mediante un bus I2C, muy sencillo de utilizar. También se conectó a la tarjeta Arduino un servomotor de aeromodelismo que era controlado también desde el NXT a través del RS485.

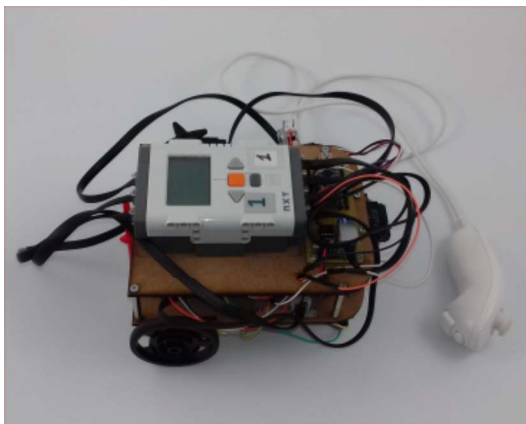


Fig 11. Apariencia externa del Robot A

Junto con el diseño de las tarjetas adaptadoras y el montaje del robot, se realizó un programa para el NXT en lenguaje NXC y se programó la tarjeta Arduino dándole una funcionalidad completa al robot.

B. Robot B

El segundo robot tiene como núcleo de procesamiento una la tarjeta Arduino Nano, que se conecta a los sensores y actuadores del kit LEGO Mindstorms NXT. En la Fig. 12 se puede ver el diagrama de bloques del sistema de prueba construido.

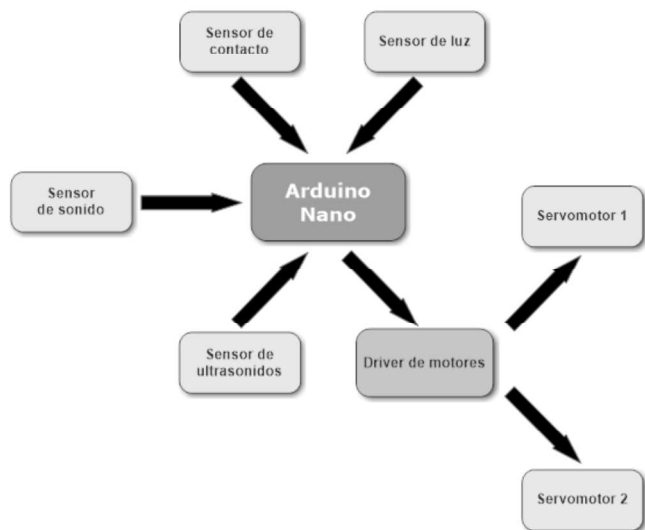


Fig 12. Diagrama de bloques del Robot B

El primer inconveniente que aparece es la dificultad que existe para conectar los periféricos de LEGO con una tarjeta Arduino. Por esta razón se diseñó una tarjeta (Fig. 13) donde estaba integrado el controlador con un Puente en H para poder controlar dos motores de corriente continua y seis conectores

RJ12 (similares a los utilizados en el NXT). En este robot se utilizan los sensores de contacto, sonido, luz y ultrasonidos del kit, además de dos motores.

El puente en H utilizado es el DRV8835 de doble canal capaz de manejar corrientes de hasta 1.2 A por cada motor, más que suficiente para los motores de LEGO Mindstorms.

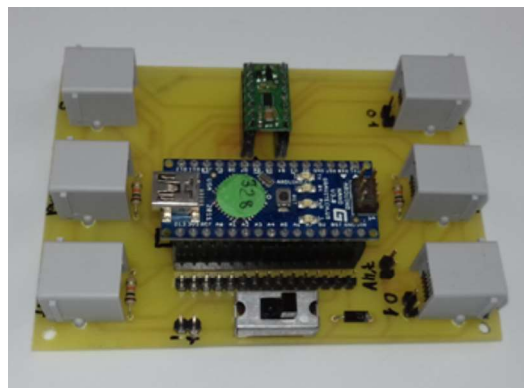


Fig 13. PCB sistema embebido

Una vez creada la tarjeta de control, se diseñó un recubrimiento estructural de la tarjeta que dispone de agujeros compatibles con las piezas de Lego Technic que utiliza Lego Mindstorms NXT y que fue impreso en una impresora 3D. La tarjeta de control con su recubrimiento estructural se completó con piezas de LEGO (Fig 14) formando un robot con un núcleo de control de Arduino programable en C++ (o en cualquier otro entorno de programación compatible).

El diseño hardware se completó con un conjunto de funciones que permitían leer de los sensores y actuar en los motores.

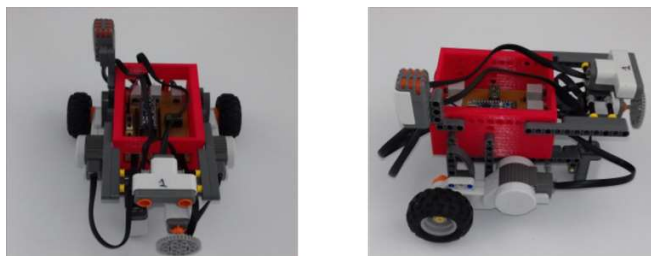


Fig 14. Vista frontal y lateral del Robot B donde se observa el recubrimiento estructural de la tarjeta de control impreso en 3D

IV. CONCLUSIONES

A la vista de los prototipos diseñados, montados y probados controlando sensores y actuadores de LEGO desde Arduino y viceversa, junto de la adaptación mecánica para unir la tarjeta de Arduino a un diseño de Lego Technic, se puede decir que se ha conseguido la integración exitosa entre ambas plataformas y que esta integración puede utilizarse fácilmente para diseñar robots mucho más complejos que los montajes estándar de LEGO Mindstorms NXT.

Además, a lo largo de la realización del trabajo se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- La tecnología del brick NXT, a pesar de ser del 2006, no está obsoleta y puede competir todavía con mucha de la que existe actualmente en el mercado.
- Arduino es una plataforma que está en constante crecimiento.
- El kit LEGO Mindstorms es compatible con otros dispositivos que pueden hacer de él una plataforma más potente.
- Arduino y LEGO Mindstorms son dos plataformas que pueden acercar a la gente a la robótica de una forma fácil y sencilla.
- Las técnicas de corte por láser e impresión 3D son muy útiles en robótica.
- La aparición de plataformas *open source* han potenciado el desarrollo de la robótica entre la población.

REFERENCIAS

- [1] Klassner, Frank, and Scott D. Anderson. "Lego MindStorms: Not just for K-12 anymore." IEEE Robotics & Automation Magazine 10.2 (2003): 12-18.
- [2] Williams, Andrew B. "The qualitative impact of using LEGO MINDSTORMS robots to teach computer engineering." IEEE Transactions on Education 46.1 (2003): 206.
- [3] Langer, Constanze, and Christine Strothotte. "The benefits of integrating LEGO mindstorms into design education: Course" Media Systems". DS 43: Proceedings of E&PDE 2007, the 9th International Conference on Engineering and Product Design Education, University of Northumbria, Newcastle, UK, 13.-14.09. 2007. 2007.
- [4] Pastor Mendoza, Julio; Revenga de Toro, Pedro A.; "Aprendizaje basado en proyectos en una asignatura transversal de robótica móvil". Actas del XI Congreso TAAE (Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica), , Bilbao, 2014.
- [5] Straub, Jeremy, Scott Kerlin, and Eunjin Kim. "Analysis of Student Characteristics and Feeling of Efficacy in a First Undergraduate Artificial Intelligence Course." Submitted to the Journal of Educational Computing Research (2017).
- [6] Gonçalves, Rogério Sales. "Application of LEGO Mindstorms Kits for Teaching Mechatronics Engineering." International Journal for Innovation Education and Research 5.10 (2017): 99-113.
- [7] Papert, S.: Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas. (Perseus Books, 1999).
- [8] Papert, S. and Harel, I.: Constructionism (Ablex Publishing Corporation, 1991).
- [9] M. Pablo Turmero (2015), "Lego Mindstorms - Monografias.com", Monografias.com. [Online]. Disponible: <http://www.monografias.com/trabajos105/lego-mindstorms/lego-mindstorms.shtml>
- [10] "Comparativa Mindstorms NXT vs. EV3-electricBricks", Blog.electricbricks.com, 2014. [Online]. Disponible: <http://blog.electricbricks.com/2014/07/comparativa-mindstorms-nxt-ev3/>
- [11] "CSC 126 Lab #13", Faculty.berea.edu. [Online]. Disponible: <https://faculty.berea.edu/faculty/pearcej/CSC126/bottasks/L13-NXT-prog.html>
- [12] L. 9841, "LEGO NXT Intelligent Brick Set 9841 | Brick Owl - LEGO Marketplace", Brickowl.com, 2015. [Online]. Disponible: <http://www.brickowl.com/catalog/lego-nxt-intelligent-brick-set-9841>
- [13] "LEGO® MINDSTORMS® EV3", Robotshop.com, 2016. [Online]. Disponible: <http://www.robotshop.com/ca/en/lego-mindstorms-ev3-us.html>
- [14] Kushner, David. "The making of arduino." IEEE Spectrum 26 (2011)
- [15] "Arduino - Home", Arduino.cc, 2015. [Online]. Disponible: <https://www.arduino.cc/>
- [16] "LEGO NXT wire pinout", Salvius the Robot, 2012. [Online]. Disponible: <https://blog.salvius.org/2012/04/lego-nxt-wire-pinout.html>