

# Robot Daro: plataforma robótica para educación en ingeniería

**Daro Robot: Robotic Platform for Engineering Education\***

Recibido: 20 de junio de 2016 - Aceptado: 8 de marzo de 2017

Para citar este artículo: I. Ruge, Jiménez, O. Hernández «Robot Daro: plataforma robótica para educación en ingeniería», *Ingenium*, vol. 18, n.º 35, pp. 58-74, febrero, 2017.



Ilber Adonayt Ruge Ruge\*\*  
Fabián Rolando Jiménez López\*\*\*  
Óscar Mauricio Hernández Gómez\*\*\*\*

## Resumen

Este trabajo describe el resultado del proceso de construcción de una plataforma didáctica para el aprendizaje de robótica, cuyo objetivo es apoyar los procesos de enseñanza y aprendizaje a estudiantes de primeros semestres de ingeniería y estudiantes de básica secundaria. El sistema robótico DARO cuenta con una unidad central de proceso programable Arduino Micro basada en un microcontrolador ATmega32u4, dos (2) pulsadores para entradas digitales, dos (2) ledes y un display siete segmentos como salidas digitales, un trimmer y un sensor de temperatura LM35 como entradas analógicas. Además, el robot DARO dispone de dos (2) motores DC, dos (2) sensores optorreflectivos QRD1114 y un circuito integrado L293. La metodología de uso y aprovechamiento de la plataforma robótica, consiste en la instrucción previa de los conceptos básicos electrónicos y de programación necesarios para que el estudiante pueda realizar de manera inmediata la comprobación de la teoría sobre la plataforma. Una vez finalizada la comprobación, el estudiante afronta el reto de realizar una aplicación propuesta. El robot DARO ha sido utilizado por dos grupos de estudiantes: Un grupo de 21 estudiantes de pregrado de Ingeniería Electrónica y un grupo de 15 estudiantes

\* Grupo de investigación I2E, Facultad de Ingeniería, Proyecto de investigación diseño e implementación de módulos didácticos para la enseñanza en la ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

\*\* Ms. C. en Ingeniería de Control Industrial, ingeniero electrónico, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, docente asistente área Electrónica Digital, Facultad de Ingeniería. E-mail: Ilber.ruge@uptc.edu.co

\*\*\* Ms. C. en Ingeniería - Automatización Industrial, Especialista en Automatización Industrial, ingeniero electrónico, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Docente asistente área Circuitos Eléctricos, Facultad de Ingeniería. E-mail: d

\*\*\*\* Ms. C. en Ingeniería Electrónica, Especialista en Automatización Industrial, ingeniero electrónico, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Docente asistente área Electrónica, Facultad de Ingeniería. E-mail: Oscarmauricio.hernandez@uptc.edu.co

de octavo grado de básica secundaria. El primer grupo de trabajo utilizó un total de seis horas entre instrucción y práctica, y finalmente desarrollaron una aplicación de seguidor de línea. El segundo grupo de trabajo utilizó siete horas entre instrucción y práctica, y también lograron implementar la aplicación de seguidor de línea. Los resultados muestran una rápida comprensión de conceptos de electrónica y programación por parte del estudiantado, así como un alto índice de motivación por el aprendizaje de la tecnología. El bajo costo de producción de la plataforma robótica, hace más cercana la posibilidad de que las instituciones de educación puedan adquirir o desarrollar este tipo de instrumentos de apoyo y fomento del aprendizaje.

### Palabras clave

Robótica, microcontrolador, arduino Micro, educación en ingeniería.

## Summary

This paper describes the results of the didactic platform for learning robotics construction, whose objective is to support teaching and learning processes for first semester engineering students and secondary school students. The DARO robotic system has an Arduino Micro programmable unit central processing based on ATmega32u4 microcontroller, two (2) pushbuttons for digital inputs, two (2) LEDs and a seven segment display as digital outputs, a trimmer and a LM35 temperature sensor as analog inputs. In addition, the DARO robot has two (2) DC motors, two (2) QRD1114 optoreflexive sensors and one L293 integrated circuit. The methodology of use and utilization of the robotic platform consists of the previous instruction of the basic electronic concepts and programming necessary for the student to make an verification of the theory on the platform. Once the test is finished, the student has the challenge of making an application proposed. The DARO robot has used in two students groups: A group of 21 electronic engineering undergraduate students and a group of 15 basic secondary student. The first working group used a total of 6 hours between instruction and practice, and finally developed a line follower application. The second working group used 7 hours between instruction and practice, and implement a line follwer application. The results show a concepts of electronics and programming fast understanding, and motivation high rate for learning technology. The robotic platform production low cost, makes closer the possibility to the educational institutions of acquire or develop this instruments for support and foment learning.

### Keywords

Robotics, microcontroller, arduino micro, engineering education.

## Introducción

La Robótica con propósitos educativos difícilmente es incorporada en las aulas de clase de formación básica secundaria, dado que la profundización de las instituciones de educación son principalmente administrativas, contables o comerciales. Cuando se usa,

el papel del estudiante es a menudo para trabajar como un usuario de tecnologías en lugar del papel de hacedor, controlador o creador de una tecnología. La baja utilización de la robótica educativa en las aulas de educación refleja el supuesto de que los alumnos con necesidades individuales no tengan la posibilidad de aprender a programar o tomar ventaja de la tecnología en general [1].

El robot se ha utilizado para transmitir la práctica de una serie de temas de conocimientos en las ciencias de la computación, introducción a los sistemas digitales, electrónica, cálculo, álgebra e incluso inglés, lo que permite plantear proyectos multidisciplinarios. Parte del éxito del proyecto de incorporación de la robótica en los espacios de formación académica, es que los profesores se involucren con este recurso dando la posibilidad de incorporar un nuevo entorno educativo compatible con las tendencias de la tecnología moderna [2].

Un factor determinante para garantizar el éxito de los robots en la educación es el costo. Así, como el costo de la informática ha caído de manera exponencial en la última década, la disponibilidad de material robótico didáctico con propósitos educativos sigue siendo costosa. La capacidad de diseñar robots mediante controladores a precios accesibles para las escuelas, es una alternativa viable para facilitar la incorporación de la tecnología en las instituciones educativas. Piezas mecánicas de bajo costo y sensores electrónicos comerciales, aunque no proporcionan la misma precisión que sería necesaria en un robot industrial, son suficientes para los propósitos educativos [3].

El robot DARO como plataforma robótica de aprendizaje, surge como una iniciativa del grupo de trabajo del semillero de investigación Robótica-UPTC de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede Tunja, Colombia, para ofrecer una herramienta de fácil construcción y aprendizaje de la robótica no solo para los estudiantes de primeros semestres de Ingeniería Electrónica y áreas afines, sino también para instituciones de educación básica secundaria, buscando motivar e incentivar al estudiantado en la exploración y explotación de sus capacidades y habilidades que le permitan un mejor desempeño profesional.

## 1. Estado del Arte

Diversas alternativas de plataformas robóticas de propósito educativo se disponen a nivel comercial y algunas creadas a nivel investigativo. La plataforma LSMaker EV1 desarrollada por la Ramon Llull University, es una plataforma basada en Arduino Mega ADK y consta de módulos Ethernet, SD-Card y algunos sensores para el desarrollo de prácticas educativas [4]. El costo de desarrollo dado por los autores es de US\$235. Una interesante revisión sistemática acerca del uso de plataformas robóticas educativas es realizada por Fabiane Barreto [5], donde encontró una predominancia del 90 % en el uso de robots Lego® en las actividades de educación, y a pesar de encontrar diferentes proyectos de desarrollo robótico, muy pocos de estos evidencia el aprendizaje a través de la aplicación de la robótica. Un ejemplo de este tipo de investigación es presentado por Cruz-Martín [6], quien expone un aprovechamiento para el aprendizaje mediante plata-

forma LEGO Mindstorm NXT, y efectivamente evidencia un alto componente motivacional dado que los estudiantes encuentran más atractivas las sesiones de laboratorio frente a las actividades convencionales. Un kit de robótica Lego® MindStorms EV3 contiene un bloque inteligente con microprocesador de 32 bits, tres servomotores interactivos con sensores de rotación que permite mantener una velocidad precisa, 577 elementos Lego Technic para una construcción robusta, ambiente de programación basado en iconos de arrastrar y soltar, sensores de toque, sensor de sonido, sensor de luz y sensor ultrasónico. El valor comercial de esta plataforma es de \$3.200.000. Los costos de adquisición de estas plataformas son elevados considerando el público objetivo establecido en el planteamiento del desarrollo de la plataforma robótica expuesta en la presente investigación. El kit de robótica mBot-STEM de industrias Makeblock [7], es una plataforma robótica cuyo software de desarrollo está inspirado en Scratch 2.0, puede ser utilizada usando bluetooth o mediante un módulo de comunicación inalámbrica 2.4GHz. Esta es una plataforma fácil de ensamblar y provee diversas posibilidades para aprender Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas. Su valor comercial de adquisición es de US\$80 y se convierte en una alternativa por su bajo costo, siendo este parámetro un aspecto importante del proceso de investigación abordado.

## 2. Consideraciones generales de diseño

El mínimo número de ruedas requerido por un robot móvil con ruedas estable son dos, sin embargo, condiciones de centro de masa, diámetros de rueda y torque de motores deben ser estrictamente definidos. Convencionalmente, la estabilidad de un robot móvil con ruedas requiere un mínimo de tres ruedas [8]. La disposición propuesta para la movilidad del robot DARO es dos ruedas de tracción independiente ubicadas en la parte posterior, y una rueda omnidireccional sin alimentación en la parte frontal. Las tres ruedas estarán ubicadas en configuración triángulo lo que garantiza la estabilidad del robot. Las dimensiones del chasis son 10cm x 7cm. La figura 1 muestra la disposición adoptada para el robot.

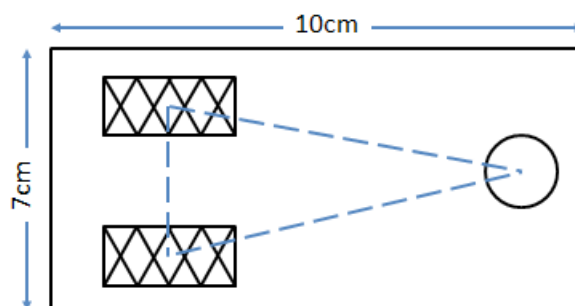


Figura 1. Configuración de ruedas del robot. Fuente: El autor

Para propósitos de trabajos futuros, se analiza el modelo del robot como un cuerpo rígido sobre ruedas, operando sobre un plano horizontal. Para especificar la posición del robot sobre el plano, se establece una relación entre la posición global de referencia y el marco de referencia global del robot [8], tal como se muestra en la figura 2.

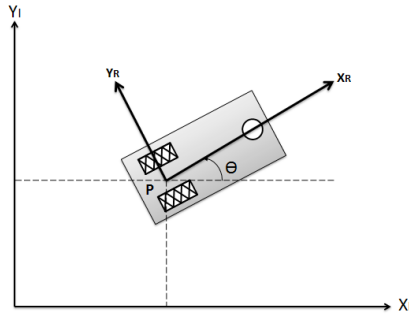


Figura 2. Marco referencial local del robot DARO para modelamiento. Fuente: (Siegwart, 2011).

Los ejes  $X_i$  y  $Y_i$  definen una base inercial arbitraria sobre el plano como un marco de referencia global sobre el mismo origen  $O: \{X_i, Y_i\}$ . Para especificar la posición del robot, se escoge un punto  $P$  sobre el chasis del robot como punto de referencia posicional. La base  $\{X_r, Y_r\}$  define dos ejes relativos a  $P$  sobre el chasis del robot como marco de referencia local del robot. La posición de  $P$  en el marco de referencia global es dado por las coordenadas  $x$  y  $y$ , y la diferencia angular entre el marco de referencia local y global está dado por  $\theta$  [8]. La posición del robot se puede describir como un vector entre estos tres elementos.

$$\xi_I = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

Para describir el movimiento del robot en términos de estos componentes, es necesario mapear el movimiento a lo largo de los ejes del marco de referencia global al movimiento a lo largo de los ejes del marco de referencia local del robot. El mapeo es una función de la posición actual del robot. Este mapeo es realizado usando la matriz de rotación ortogonal.

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Esta matriz puede ser usada para mapear el movimiento en el marco de referencia global  $[X_i, Y_i]$  al movimiento en términos del marco de referencia local  $\{X_r, Y_r\}$ . Esta operación es denotada por  $R(\theta)\dot{\xi}_I$ .

$$\xi_R = R\left(\frac{\pi}{2}\right)\dot{\xi}_I \quad (3)$$

Por ejemplo, si se considera el robot ubicado según la figura 3, entonces  $\theta = \frac{\pi}{2}$ , entonces se puede computar la matriz de rotación instantánea  $R$  como:

$$R\left(\frac{\pi}{2}\right) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Y la velocidad se puede calcular como:

$$\dot{\xi}_R = R\left(\frac{\pi}{2}\right) \dot{\xi}_I = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{y} \\ -\dot{x} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad (5)$$

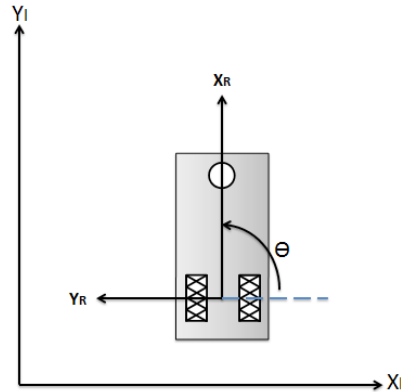


Figura 3. Robot móvil alineado con ejes globales. Fuente: (Siegwart, 2011).

Uno de las tareas más importantes de un sistema autónomo de cualquier tipo es adquirir conocimiento de su entorno. Esto es hecho por la toma de mediciones usando varios sensores. Para los propósitos básicos de aplicación de la plataforma robótica, se propone un robot seguidor de línea, y estas mediciones generalmente son realizadas por sensores op- torreflectivos. La función de estos sensores es determinar si la superficie es de color blanco o color negro. La trayectoria a seguir por el robot está conformada por figuras geométricas sencillas como círculos, cuadrados u óvalos. El espacio considerado para la movilización del robot es una superficie totalmente plana sin ningún tipo de obstáculo. La figura 4 muestra la disposición estándar de los sensores y el espacio propuesto para el recorrido del robot.

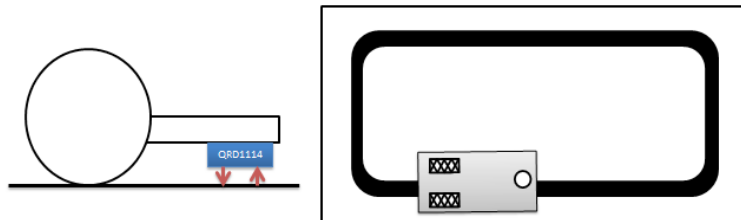


Figura 4. Sensor de color de superficie y trayectoria de planeación de robot. Fuente: El autor.

### 3. Descripción del robot Daro

La metodología adoptada para el desarrollo del robot DARO corresponde a la desarrollada por el equipo de ingeniería del Centro Interactivo de Ciencia y Tecnología Maloka ubicado en la ciudad de Bogotá Colombia [9]. Bajo la premisa metodológica adoptada, se consideró que tanto materiales de construcción como elementos electrónicos deben estar disponibles en el mercado local, y que la herramienta de software debe usar un lenguaje de programación de fácil comprensión para el público objetivo y estar disponible de manera gratuita para no inferir en mayores costos.

### 3.1 Arduino promicro

Como resultado de la consulta se definió utilizar tarjetas electrónicas Arduino, ya que es una plataforma electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquier interesado en crear entornos u objetos interactivos. Las tarjetas pueden ser fabricadas caseramente o comprar una tarjeta preensamblada, y el software puede ser descargado gratuitamente. Los diseños de referencia están disponibles bajo una licencia de código abierto, así que cualquiera es libre de adaptar el diseño a sus necesidades, además, una de las razones por las que se recomienda Arduino, es que la curva de aprendizaje permite que el alumno aumente sus habilidades en electrónica y programación rápida y de manera divertida, siendo una herramienta didáctica que muchas universidades, y hasta colegios deberían considerar [10]. Estas características sumado a la disponibilidad amplia en el mercado y los precios de adquisición económicos, fueron los factores principales para seleccionar esta plataforma programable como elemento procesador del robot DARO.

Por otro lado, Arduino ofrece una gama amplia de tarjetas como Arduino Uno, Arduino Pro Mini, Arduino Nano, Arduino Micro, Arduino Leonardo, Arduino Due, Arduino Mega entre otras. De las anteriores, el Arduino ProMicro fue seleccionado, considerando su economía, su tamaño, es una placa electrónica basada en ATmega32u4, cuenta con 16 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 12 se pueden utilizar como entradas/salidas digitales y 4 entradas como analógicas), un oscilador de 16 MHz, una conexión micro USB, un header ICSP, y un botón de reinicio [11]. El Arduino Micro es similar al Arduino Leonardo, solo que el ATmega32u4 incorpora la comunicación USB, eliminando la necesidad de un procesador secundario para la programación. La figura 5 muestra el aspecto físico de la board de desarrollo Arduino ProMicro.

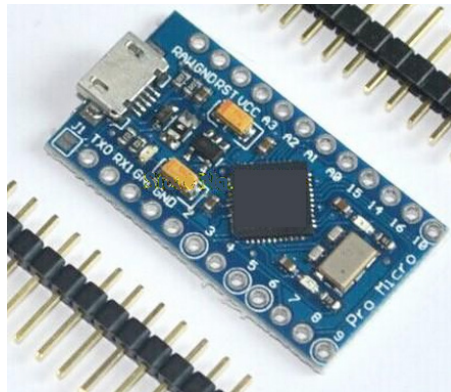


Figura 5. Arduino ProMicro como procesador del robot DARO. Fuente: (Arduino, 2015).

### 3.2 Periféricos

El robot DARO puede recibir señales analógicas y digitales, y también cuenta con los elementos básicos de entrada/salida para realizar aplicaciones básicas previas para iniciar el desarrollo de aplicaciones de robótica fundamental. La figura 6 muestra la distribución de entradas y salidas funcionales del robot didáctico.

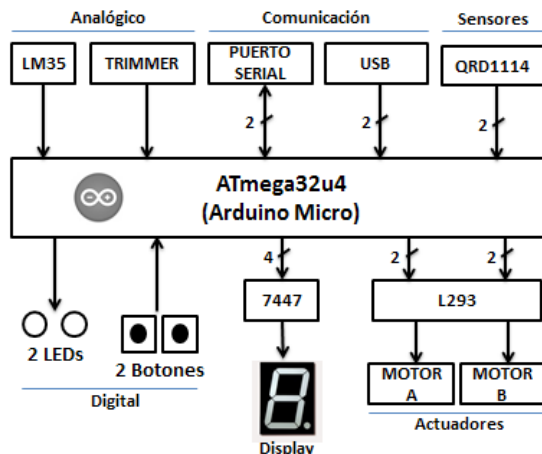


Figura 6. Diagrama de bloques del robot DARO. Fuente: El autor.

La plataforma de entrenamiento para propósitos de educación en robótica, cuenta con dos entradas analógicas suministradas por un sensor de temperatura LM35 y un divisor de voltaje conformado por un trimmer (pequeño resistor ajustable con destornillador). La idea de incorporar estas dos entradas parte del hecho de ofrecer un medio que permita al robot interactuar con el medio externo, considerando que la variable «temperatura» es una de las variables físicas típicas en ambientes industriales. El sensor LM35 es un sensor de temperatura de precisión que entrega un voltaje de salida lineal y proporcional a la temperatura en grados Celsius. No requiere calibración externa, garantiza un factor de escala constante de  $10\text{mv}/^{\circ}\text{C}$ , usa una fuente de alimentación simple y presenta un índice de pérdida por autocalentamiento menor a  $0.1^{\circ}\text{C}$  [12]. Al igual que el sensor LM35, muchos sensores comerciales entregan un voltaje de salida proporcional a la variable medida, por tal razón se pensó en disponer de una entrada analógica de voltaje basada en un divisor de voltaje generado con un trimmer.

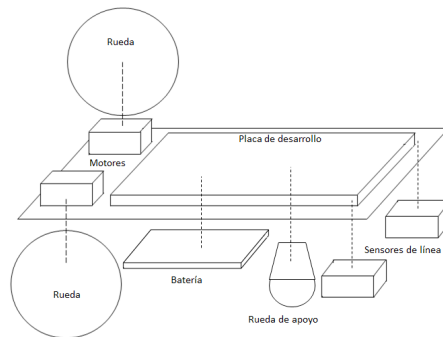
Por otro lado, el robot dispone de dos entradas digitales proporcionadas por dos pulsadores en configuración push-pull y seis salidas digitales distribuidas para dos diodos emisores de luz ledes y las cuatro restantes para un decodificador binario a BCD 74LS47 respectivamente, este último para propósitos de visualización en display siete segmentos.

Con los anteriores recursos, se desarrollaron una serie de prácticas orientadas al manejo básico de entradas y salidas tanto analógicas como digitales. El propósito es ofrecer al estudiante los conceptos básicos de electrónica y fundamentación básica de programación.

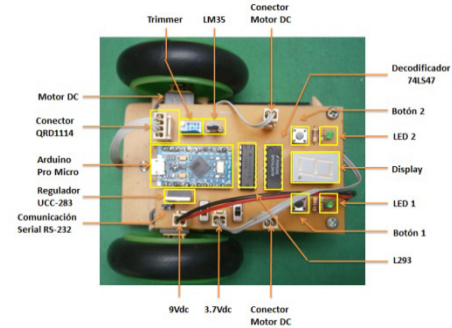
Para propósitos de desarrollo de aplicaciones de mayor complejidad, el robot DARO dispone de dos entradas digitales suministradas por dos sensores reflectivos QRD1114, los cuales consisten en un diodo emisor de infrarrojos y un fototransistor de silicio NPN. La radiación en el eje del emisor y la respuesta en el eje del detector son perpendiculares, lo que permite al fototransistor responder a la radiación emitida por el diodo cuando un objeto o superficie reflectante está en el campo de visión del detector [13]. Para el manejo de motores DC se dispone de un circuito integrado L293, el cual es un conductor cuádruple bidireccional en configuración H, diseñado para proporcionar corrientes hasta de 1A,



adecuado para manejar cargas inductivas como relés, solenoides, motores DC y motores paso a paso bipolares. Los motores DC dispuestos en el robot DARO, son motores DC miniatura con caja reductora 1:100, voltaje nominal de alimentación de 6v, velocidad de 150rpm/min sin carga y 120rpm/min con carga y corriente nominal de 200mA. La figura 7 muestra el detalle de construcción del robot DARO junto con los periféricos descritos.



a.) Estructura robot DARO



b.) Vista superior robot DARO

Figura 7. Vista superior del robot DARO. Fuente: El autor.

## 4. Software de desarrollo

El entorno de Arduino es de código abierto y fácil de usar. Está escrito en Java y basado en Processing. Se ejecuta en varias plataformas como Windows, Mac OS y Linux. Está diseñado para introducir la programación para personas no familiarizadas con el desarrollo de software, lo que hace que sea conveniente para los estudiantes. Un código o programa escrito para Arduino se denomina «sketch». El entorno de desarrollo Arduino contiene un editor de texto para escribir el código, un área de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas con botones para las funciones comunes y una serie de menús. Este se conecta a la tarjeta Arduino para descargar los códigos y comunicarse con el mismo [14].

Cuando se escribe un código en Arduino, existen dos partes principales:

- La función `setup()`: Lugar donde se definen las variables que se van a utilizar y su respectiva asignación. Aquí es donde se establecen las condiciones iniciales de las variables y el código aquí definido corre preliminarmente solamente una vez. Un ejemplo de cómo escribir el código de la función es:

```
void setup () {
```

Código correspondiente a las definiciones preliminares

```
}
```

- La rutina `Loop()`: Este es el lazo que ejecuta el código principal de manera reiterativa. Un ejemplo de cómo escribir el código de la rutina es:

```
void loop () {
  Código principal. Se ejecuta de manera repetitiva
}
```

La figura 8 muestra las partes principales del Entorno de desarrollo integrado IDE de Arduino [15].

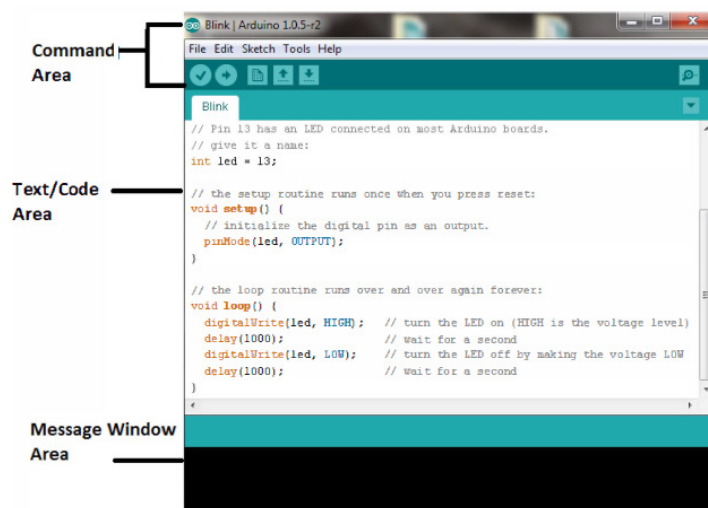


Figura 8. Principales partes del entorno IDE Arduino. Fuente: (Abdullahi, 2014).

## 5. Aplicaciones

Para interactuar con los diferentes componentes que integra el robot DARO, a continuación se describen algunos temas claves que pueden aplicarse en la plataforma de aprendizaje:

### 5.1 Aplicaciones orientadas al manejo de puertos I/O

#### 5.1.1 Secuencia led

Aplicación orientada al aprendizaje de conceptos básicos de electrónica (Voltaje, corriente, resistencia, circuito eléctrico y diodos emisores de luz). El estudiante desarrolla un algoritmo que permita encender y apagar los LED0 y LED1 del robot DARO en tiempos establecidos, de tal forma que genere una secuencia luminosa determinada.

#### 5.1.2 Secuencia LED condicionada

Aplicación orientada al manejo de señales digitales de entrada y manejo de instrucciones condicionales. El estudiante desarrolla un algoritmo que genere una secuencia luminosa dependiendo del estado de los dos (2) botones del robot DARO. Si no se presiona ningún botón, los dos ledes permanecen apagados, si se presiona el Botón1 se genera una secuencia y si se presiona el Botón2 se genera una secuencia diferente a la anterior.

### **5.1.3 Contador incremental/decremental**

Aplicación orientada al conocimiento de codificación binaria y elementos de visualización numérica como el display siete segmentos. El estudiante debe generar un algoritmo para un contador incremental cuando presione el Botón1 y decremental cuando presione el Bóton2. El valor del contador se visualiza en el display siete segmentos.

## **5.2 Aplicaciones para manejo de entradas analógicas**

### **5.2.1 Voltímetro**

Aplicación orientada al conocimiento de conversión analógica/digital. El estudiante genera un algoritmo para leer el voltaje entregado por el divisor de voltaje conformado por el trimmer, aplica la ecuación característica para obtener la magnitud del voltaje medido y visualizarlo en el Serial Monitor.

### **5.2.2 Termómetro**

Aplicación orientada al conocimiento de variables físicas, dispositivos electrónicos que entregan voltaje proporcional a la variable medida (sensores) y conversión analógica/digital. El estudiante genera un algoritmo que mida el voltaje entregado por el sensor LM35, aplica la ecuación matemática característica necesaria para obtener el valor correspondiente a temperatura y visualiza su magnitud en el serial monitor.

## **5.3 Aplicación básica de robótica**

Aplicación orientada al conocimiento de los sensores reflectivos QRD1114 y el circuito integrado L293 para manejo de motores DC. El estudiante genera un algoritmo para leer el voltaje analógico suministrado por los dos (2) sensores QRD1114, y establecer la activación de los motores DC de tal forma que la locomoción del robot permita seguir una línea negra.

## **6. Resultados**

La plataforma robótica se desarrolló para propósitos de apoyo al proceso de enseñanza/aprendizaje, y como herramienta motivacional al uso de la tecnología en estudiantes de básica secundaria y primeros semestres de ingeniería electrónica. Por tanto, la validación y simulación del modelo cinemático del robot DARO planteado en este artículo no se realizó. Sin embargo, se describen las ecuaciones y matriz de movilidad del robot para futuras investigaciones y trabajos sobre la plataforma robótica. Es importante indicar, que para evaluar las ecuaciones planteadas se requiere adicionar los sensores de lectura de orientación y velocidad para determinar tales parámetros.

A nivel técnico, la plataforma DARO ofrece los recursos básicos necesarios para realizar un proceso de inducción al estudiante. Considerando las características técnicas de una plataforma comercial como el kit de robótica Lego® Mindstorms EV3,

puede resultar evidente que esta última supera considerablemente las prestaciones didácticas, pero así mismo el costo de adquisición es muy elevado considerando el público objetivo de la presente investigación. El kit de robótica mBot - STEM educational es la alternativa más cercana considerando su bajo costo y su entorno didáctico que facilita el aprendizaje de la robótica al estudiante. Desafortunadamente, este kit es una plataforma que debe ser importada y por tanto los costos de adquisición se incrementan significativamente, haciendo no viable su adquisición. La figura 9 muestra algunas alternativas comerciales, que si bien proporcionan múltiples e interesantes formas de interactividad con la misma, su valor de adquisición sigue siendo elevado, además del valor adicional del software de desarrollo sobre el cual el estudiante debe realizar las actividades de aprendizaje.

A modo comparativo, la tabla 2 muestra los precios de adquisición de estas plataformas comerciales, frente al valor de inversión usado para la generación del robot DARO, convirtiendo este último en una alternativa viable para facilitar la incorporación de la tecnología en las instituciones educativas de educación superior y básica secundaria.



Figura 9. Plataformas robóticas educativas comerciales. Fuente: El autor.

	Descripción	Costo
HZ-Robot	Plataforma educativa robot tortuga	US\$550
Lego Mindstorm ev3	Plataforma robótica didáctica	US\$450
LSMakerduino	Plataforma Robótica LSMaker EV1 desarrollada por La Salle - Ramon Llull University	US\$235
Maker Studio	Shield beaglebond para Lego Mindstorm	US\$220
Ruilongmaker inc.	Plataforma móvil omnidireccional Freescale	US\$180
3pi Robot	Plataforma robótica de pololu	US\$110
STEM robot kit	Plataforma mBot de Makeblock®	US\$80
Robot DARO	Plataforma robótica educativa desarrollada por Robótica-UPTC	US\$30

Tabla 2. Cuadro comparativo de precios de plataformas robóticas comerciales. Fuente: El autor.

Ahora, desde el punto de vista didáctico y pedagógico, el robot DARO se ha creado para iniciar un proceso de capacitación en robótica básica a estudiantes de primeros semestres del programa de Ingeniería Electrónica y afines que deseen integrar el semillero de investigación Robótica-UPTC, donde se inspira al estudiante la adopción de la cultura investigativa como método para el fortalecimiento de capacidades y habilidades que complementen su formación profesional. Así mismo, se proyecta a la capacitación de los docentes y estudiantes de la Institución Educativa «Diego de Torres» del municipio de Turmequé del departamento de Boyacá. En la institución educativa se hizo una muestra técnica de robótica, donde se mostró el funcionamiento de algunos robots seguidores de línea y robots minisumo creados como ejercicio de formulación de proyectos de investigación al interior del semillero, esto como una manera práctica de motivar al estudiantado a conocer y aprender este tipo de herramientas tecnológicas. La dificultad encontrada fue la falta de plataformas de aprendizaje para hacer más partícipe al estudiante, y fue de aquí donde surgió la idea de crear una plataforma que integre los elementos necesarios para aprender y posteriormente desarrollar aplicaciones de robótica. La figura 10 muestra algunos apartes del acercamiento hecho a los estudiantes de la institución educativa «Diego de Torres».



Figura 10. Muestra robótica en la Institución Educativa «Diego de Torres». Fuente: El autor.

Una vez creada la plataforma de aprendizaje «robot DARO», se inició el proceso de capacitación a estudiantes integrantes del semillero de investigación Robótica-UPTC (grupo 1), conformado por 21 estudiantes de primero hasta quinto semestre de Ingeniería Electrónica, y 2 de ellos son el personal de apoyo en el proceso de instrucción a 2 docentes y 15 estudiantes del plantel mencionado (grupo 2). El ejercicio de capacitación inicia con la explicación magistral de los conceptos básicos de electrónica y algoritmos de programación. Posteriormente, los estudiantes realizan las aplicaciones propuestas en este documento para manejo de entradas y salidas digitales. Los códigos fuente son suministrados y los estudiantes deben analizar su contenido y estructura, formulando por su parte una propuesta de diagrama de flujo explicativo de cada aplicación. El resultado de la actividad mostró que el grupo 1 utilizó un total de 6 horas para la realización de las actividades propuestas, mientras que el grupo 2 tomó un total de 7 horas para la obtención de los resultados propuestos. La aplicación propuesta como reto, consistió en el desarrollo de un algoritmo para un robot seguidor de línea, para lo cual el grupo 1 utilizó un total de 30 minutos para su desarrollo y verificación, mientras que el grupo 2 usó un total de 60 minutos. Los resultados muestran claramente, que el tiempo total usado para comprender los conceptos de electrónica, lógica de programación y desarrollo de aplicación básica de robótica fue el equivalente a una jornada académica (8 horas), lo cual evidencia la bondad de la plataforma didáctica de aprendizaje como herramienta de apoyo en el proceso de enseñanza/aprendizaje. Así mismo, se evidencia un alto grado motivacional por parte del estudiantado, al ver materializados rápidamente los esfuerzos en la realización de cada actividad, pues tal como lo manifiestan «en actividades similares realizadas anteriormente, dichos esfuerzos quedaban solo en los conceptos teóricos, pues no teníamos cómo verificar si lo propuesto funcionaba o no».

La figura 11 muestra un aparte del proceso de formación al grupo de estudiantes del grupo 1, y la figura 12 muestra apartes de la capacitación al grupo de estudiantes del grupo 2.



Figura 11. Capacitación Arduino a estudiantes de Ingeniería Electrónica. Fuente: El autor.



Figura 12. Capacitación Arduino a estudiantes de la Institución Educativa «Diego de Torres». Fuente: El autor.

Al final de cada sesión de capacitación, se realizó una encuesta al grupo de estudiantes, con el fin de evaluar el proceso de aprendizaje. Se formularon unas preguntas básicas orientadas a identificar aspectos de orden técnico y otras de orden metodológico. La tabla 1 muestra el resultado de las preguntas más relevantes, identificando los siguientes aspectos: a) Los estudiantes contaban con conceptos básicos de programación pero no tenían conocimiento de la programación de microcontroladores. Al final del curso lograron obtener los resultados esperados en cada práctica planteada, pues dichos conceptos les permitieron familiarizarse rápidamente con el ambiente de programación de Arduino, y adicional conocieron los principios básicos de la estructura básica de un dispositivo programable. b) Encontraron en la realización de las prácticas una forma divertida y diferente de realizar las actividades planteadas.

Pregunta	Opción	Grupo 1	Grupo 2
Antes de iniciar el curso, tenía conceptos de programación de microcontroladores?	Si	6	0
	No	15	15
¿Qué piensa del modelo de programación de la plataforma Arduino?	Fácil de programar	16	10
	No es muy fácil de programar	5	5
	Difícil de programar	0	0
¿Cuál es su opinión acerca del curso de capacitación en Arduino?	Muy interesante	16	3
	Interesante	5	11
	Nada interesante	0	1
¿Cual considera fue el mayor aporte de la capacitación recibida?	Conocer nuevas tecnologías	8	3
	Motivación e interés en la robótica	13	12
	Aprovechar el tiempo libre	0	0

Tabla 1. Evaluación proceso de capacitación. Fuente: El autor.

Al final de la encuesta, se dispuso de un espacio para la libre opinión del estudiante, y algunas de estas observaciones se muestran a continuación:

- *En general el desarrollo del proceso del mini curso fue muy bueno, la metodología empleada se efectuó integralmente tanto en la parte teórica como practica.*
- *“En este espacio he logrado encontrar una muy buena forma de aprender sobre la programación e investigación de la robótica, me parece un excelente semillero y creo que es un espacio donde podemos compartir nuestras experiencias en programación y robótica”.*
- *“Considero que este espacio del minicurso es bastante importante para el aprendizaje y acercamiento a los lenguajes de programación cuando no se tiene ningún conocimiento de estos, y para el manejo de este tipo de plataformas que permiten una amplia variedad de aplicaciones y que están siendo bastante usadas en la actualidad”.*
- *“Es muy interesante este tipo de espacios no solo para aprender sino también para relacionarnos con las demás personas de la carrera”.*

## 7. CONCLUSIONES

Las plataformas robóticas Lego® Mindstorms son las más utilizadas en procesos de formación pedagógica, puesto que las herramientas de desarrollo que dispone facilita la aplicación de diversas didácticas para un mejor proceso de aprendizaje por parte del aprendiz, pero sus costos elevados de adquisición no facilita que las instituciones de educación básica secundaria e instituciones de educación superior del orden público las consideren para su compra. Por otro lado, la plataforma DARO, cuenta con sensores, actuadores y dispositivos electrónicos suficientes y necesarios para que el estudiante pueda realizar aplicaciones orientadas a obtener las habilidades y capacidades previas para abordar el desarrollo de un proceso robótico más avanzado, iniciando el desarrollo de aplicaciones básicas donde aplique los conceptos de programación, matemáticas y electrónica requeridas para tal fin. Los aspectos más importantes de la plataforma DARO son su bajo costo de desarrollo y que los elementos necesarios para su implementación están totalmente disponibles en el mercado local.

Los resultados obtenidos en los procesos de capacitación tanto a los estudiantes de primeros semestres de ingeniería electrónica y afines como a los estudiantes de la Institución Educativa «Diego de Torres», indican que el método de aprendizaje basado en constructivismo facilitan la obtención de resultados en corto tiempo, dado que el aprendiz adopta un rol activo durante el proceso de formación y evidencia un alto contenido motivacional y de interés por el «aprender haciendo». Para esto es importante que el grupo de estudiantes cuente con las plataformas de entrenamiento y desarrollo, para que lo aprendido se evidencie y verifique de forma práctica y no solamente quede como una obtención de contenidos sin comprensión práctica.



## 8. Referencias bibliográficas

- [1] Karna-Lin, E., Pihlainen-Bednarik, K., Sutinen, E. y Virnes, M. (2006). Can robots teach? Preliminary Results on Educational Robotics in Special Education. Proceedings of Sixth International Conference on Advance Learning Technologies ICALT'06, Kerkrade, The Netherlands.
- [2] Albo-Canals, J., Vernet, D., Canaleta, X. y Vilasis-Cardona, X. (2013). LSMaker: A robotic platform for engineering education. IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), Barcelona, España, ISSN: 0271-4302.
- [3] Weinberg, J. y Yu, X. (2006). Robotics in education: Low-cost platforms for teaching integrated systems. IEEE Robotics & automation magazine, 10(2), pp. 4-6, ISSN: 1070-9932.
- [4] Albo-Canals, J., García-Casulleras, M., Córdoba, D. y Canaleta, X. (2014). The Educational Robotic Platform LSMaker EV1: Standardization vs Customization. 9<sup>th</sup> Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Barcelona.
- [5] Barreto, F. y Vavassori, B. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computer & Education*, vol. 58, pp. 978-988.
- [6] Cruz-Martín, A., Fernández Madrigal, J., Galindo, C., González Jiménez, J. y Stockmans Daou, C. (2012). A LEGO Mindstorms NXT Approach for Teaching at Data Acquisition Control Systems Engineering and Real Time Systems Undergraduate Courses. *Computer & Education*, vol. 59, pp. 974-988.
- [7] Makeblock, (2016). mBot STEM Educational Robot kit, Makeblock, 14 3 2016. [En línea]. Available: <http://www.makeblock.cc/mbot/>. [Último acceso: 14 3 2016].
- [8] Siegwart, R., Nourbakhsh, I. y Scaramuzza, D. (2011). Introduction to Autonomous Mobile Robots. Second Edition. ISBN 978-0-262-01535-6. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts.
- [9] Corrales, D., Piedrahita, G., Franco, M. y Pérez, T. (2006). Didactic material Development for Robotics non-formal Technology Education. IEEE 3rd Latin American Robotics Symposium LARS '06, Santiago de Chile, ISBN: 1-4244-0537-8.
- [10] Arduino, (2016). Arduino Introduction. Recuperado (2016, enero 15) de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
- [11] Arduino, (2016). Arduino boards. Recuperado (2016, Enero 15) de <http://store.arduino.cc/category/11>.
- [12] Texas instruments, (2016). LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors. Recuperado (2016, enero 15) de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>.
- [13] Fairchild system corporation, (2016). QRD1114 Reflective Object Sensor. Recuperado (2016, Enero 15) de [www.fairchild-semi.com/datasheets/qr/qr1114.pdf](http://www.fairchild-semi.com/datasheets/qr/qr1114.pdf).
- [14] Galadima, A. (2014). Arduino as a learning tool. 11<sup>th</sup> International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO), Abuja, Nigeria, ISBN: 978-1-4799-4108-7.
- [15] Abdullahi, Y. (2014). The working principle of an Arduino. 11<sup>th</sup> International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO), Abuja, Nigeria, ISBN: 978-1-4799-4108-7.