



LA FORMACIÓN DE INGENIEROS:
UN COMPROMISO PARA EL
DESARROLLO Y LA SOSTENIBILIDAD

15 al 18
DE SEPTIEMBRE

20
20

www.acofi.edu.co/eiei2020

SISTEMA EMBEBIDO ROBOT MINISUMO SIT-UV: UNA HERRAMIENTA DE EDUCACIÓN

**Daniel Alejandro Caicedo Benavides,
Jorge Luis Leiton Arias, Giosman
Andrés Domínguez Martínez, Johan
Enriquez Salazar**

**Universidad del Valle
Cali, Colombia**

Andrés Fernando Restrepo Álvarez

**SENA
Cali, Colombia**

Resumen

En este proyecto se presenta el desarrollo y construcción de una tarjeta de control modular para robots, basándose en las diferentes categorías de competencias, en específico la modalidad Minisumo avanzado; con enfoque al aprendizaje de estudiantes con mínimo conocimiento de robótica móvil. Siguiendo como paradigma la metodología de diseño, inicialmente se realizó una contextualización por medio de una investigación donde se logra evidenciar que el campo de la robótica ha tenido un incremento en cuanto a sus competencias y facilidad de desarrollo, convirtiéndose en una oportunidad para llegar a las diferentes poblaciones académicas. En una segunda instancia, se establecieron los requerimientos y limitaciones que destacan los aspectos más importantes de las diferentes competencias de robótica como son: las etapas de alimentación, control, potencia, sensorica y de comunicación, estos aspectos sirven como base para la enseñanza de la robótica móvil. Finalmente, se realizó el prototipo de la tarjeta utilizando el módulo de programación Arduino el cual cuenta con una comunidad Open Source que facilita el aprendizaje y el uso de diversas librerías. Además, se desarrolló una estructura para el robot con una impresora 3D, lo que permite una gran variedad de diseños para el mismo.

El desarrollo de los diferentes prototipos del robot minisumo han permitido competir en distintos torneos de robótica, en la modalidad minisumo avanzado, logrando el pódium en dos de tres competencias realizadas en la ciudad de Santiago de Cali en el año 2019. Gracias a este tipo de experiencias, se ha logrado una gran realimentación que ha permitido hacer notables modificaciones al robot y, por ende, un mejor desempeño en competencias y mayor conocimiento en esta área, lo cual abre la posibilidad de implementar y desarrollar talleres o diferentes actividades para la transferencia de conocimiento con personas aficionadas a la tecnología, sin

importar su edad; ya que dicha tarjeta es reprogramable y de bajo costo. A través de estos talleres se busca potenciar la creatividad y desarrollar diferentes habilidades en robótica móvil, diseño y programación, promoviendo la aplicación de los conocimientos en la solución de problemas del entorno social e incentivar a las futuras generaciones.

Palabras clave: robot minisumo; robótica educativa; impresión 3D

Abstract

This project presents the development and building of a modular control circuit for robots, based on the different categories of competitions, specifically the advanced mini-sumo category; focused on student learning with minimal knowledge of mobile robotics. Following the design methodology as a paradigm, a contextualization was initially carried out through an investigation where it is possible to show that the field of robotics has had an increase in terms of competitions and ease of development, becoming an opportunity to reach the different academic populations. In a second instance, the requirements and limitations that highlight the most important aspects of the different robotics competitions were established, such as: the stages of source, control, power, sensors and communication, these aspects are the basis for the teaching of mobile robotics. Finally, the printed circuit board was prototyped using the Arduino programming module which is supported by an open source community that facilitates learning and the use of many libraries. In addition, a structure for the robot was developed with a 3D printer, allowing a wide variety of designs for it.

The development of the different prototypes of the mini-sumo robot have allowed to participate in different robotics tournaments, in the advanced mini-sumo category, achieving the podium in two of three competitions held in the city of Santiago de Cali in 2019. Thanks to this type of experience, a great feedback has been achieved that has allowed to make notable modifications to the robot and, therefore, a better performance in competitions and greater knowledge in this area, which opens up the possibility of implementing and developing workshops or different activities for the transfer of knowledge with people fond of technology, regardless of their age; since this module is reprogrammable and low cost. Through these workshops it seeks to foster creativity and develop different skills in mobile robotics, design and programming, promoting the application of knowledge in solving problems of social environment and encourage future generations.

Keywords: mini-sumo robot; educational robotics; 3D print

1. Introducción

El uso de robots en la vida diaria es uno de los principales desafíos no solo para las grandes empresas encargadas de su producción, sino también para los usuarios que deben estar preparados para hacer un uso adecuado de los mismo (Navas, 2016). Los avances tecnológicos y su fácil disponibilidad, ha permitido el desarrollo de numerosas aplicaciones que tienen como propósito en común, facilitar las actividades del hombre y aportar de forma positiva en la calidad de vida de las personas (Acevedo, *et al.*, 2017). Por lo tanto, esto ha generado un creciente interés

en el área del conocimiento de sistemas embebidos y desarrollo de sistemas robóticos, desde aplicaciones en la salud, domótica, aeroespacial, industria, entretenimiento hasta en competencias usando robots como elementos de combate (Mont, *et al.*, 2017). Esta última aplicación ha despertado el interés de personas de todas las edades a nivel mundial, desde niños hasta adultos quienes tiene una pasión en común sobre los sistemas autónomos e inteligentes.

El desarrollo de sistemas embebidos, especialmente el desarrollo de robots para competencias en las diferentes categorías, se ha convertido en una herramienta pedagógica para la enseñanza de diversas temáticas en programas de licenciaturas e ingenieras (Pinto, *et al.*, 2010; Arias, *et al.*, 2016). Esta alternativa, ha permitido no solo afianzar conceptos, sino también desarrollar habilidades prácticas a través de la implementación de los desarrollos tecnológicos (Cerezo, 2015). Particularmente, se evidencia un mayor fortalecimiento en las capacidades de solución de problemas, programación y habilidades de implementación con los estudiantes de colegios y estudiantes universitarios de primeros semestres (Rojas, 2016). Conceptos de diseño mecánico y electrónico hace que la robótica móvil pueda ser una poderosa herramienta pedagógica para motivar la creación e innovación en múltiples aplicaciones. Este artículo presenta el desarrollo y construcción de una tarjeta de control modular para robots de competencia en la categoría minisumo, con la posibilidad de usarlo como herramienta de educación a través de la divulgación de conceptos por medio de charlas y talleres soportados en el desarrollado de una tarjeta electrónica para su uso en diferentes aplicaciones.

2. Descripción del robot minisumo

Un robot minisumo debe tener un área limitada de 10 cm x 10 cm, sin restricciones en la altura del mismo y no debe superar un peso de 500 g (Mont, *et al.*, 2017). Por lo tanto, el diseño mecánico y el algoritmo de control toman una gran importancia en el propósito de garantizar un buen desempeño del robot y que cumpla con las especificaciones mencionadas. Las competencias con robots minisumo consisten en que dos robots luchan por sacar al oponente y evitar ser expulsados de un círculo de juego llamado dohyo. El diámetro del dohyo es distinto dependiendo de la categoría, en el caso del minisumo es de 77 cm. Sin embargo, las zonas de juego de las diferentes categorías comparten que debe estar situado a una altura de 5 cm sobre el suelo, el borde debe ser de 5 cm de blanco brillante y el interior negro mate (Barbadillo, *et al.*, 2012). Además, no puede haber nada a menos de un metro de distancia del dohyo.

El desplazamiento del robot en el dohyo requiere, comúnmente, el uso de ruedas que pueden variar según la cantidad, ya sean dos, cuatro o más ruedas, y la tracción que puede ser de alta tracción o tipo oruga. Estos parámetros del número de ruedas y el tipo de tracción pueden significar un aumento en el consumo de potencia y una reducción en la velocidad de giro del robot dependiendo de la configuración seleccionada. Además, es importante resaltar que para el movimiento de las ruedas se utilizan servomotores como elementos actuadores, los cuales requieren de un circuito de control electrónico para determinar el sentido de giro de las ruedas, la configuración comúnmente usada para este propósito es el denominado puente H. El robot minisumo cuenta con sensores que detectan no solo al oponente, sino también el borde del dohyo para evitar salir del mismo. Por lo tanto, el número de sensores y la ubicación de los mismo, juega un papel importante en el

desempeño del robot, que a su vez depende del algoritmo de control que se programe en el controlador del sistema. Este algoritmo de control le permitirá al robot diferentes modos de funcionamiento dependiendo de la estrategia de combate que se defina.

2.1. Desarrollo electrónico

Teniendo en cuenta las condiciones de operación del robot minisumo en las competencias de robótica (ROBOMATRIX, 2020), se realiza la selección de componentes, tales como sensores, actuadores y controlador, para posteriormente diseñar la estructura mecánica del robot. En la figura 1 se muestra el diagrama de bloques del sistema de control del robot minisumo SIT-UV, donde se pueden identificar los siguientes componentes:

- El **sistema de control** se basa en el módulo Arduino nano el cual se encarga de recibir las consignas de operación y la información de los sensores para generar las señales correspondientes a los servomotores.
- Como **elementos receptores** se tienen dos sensores infrarrojos QTR-1A para la detección de los bordes del dohyo y cinco sensores infrarrojos SHARP-GP2Y0A815 encargados de detectar al oponente.
- Como **actuadores** se tiene a los motores de 7 V con relación 70:1 con su respectivo driver TB6612FNG.
- Por último, se tiene el movimiento del robot minisumo que dependerá del algoritmo de control programado en el módulo Arduino.

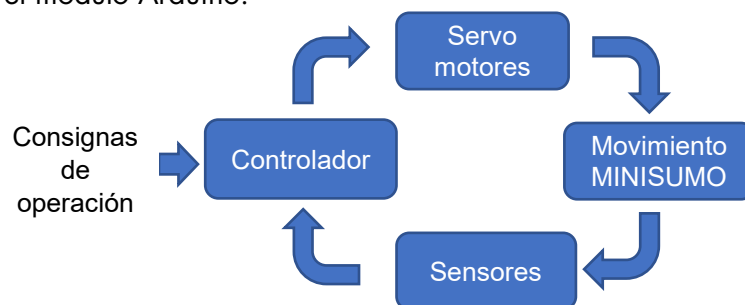


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema de control del robot minisumo SIT-UV

Una vez dimensionados y seleccionados cada uno de los componentes del sistema de control, se realiza la definición y programación del algoritmo de control que será de alta importancia al momento de tomar decisiones rápidas y acertadas durante las competencias. Una de las principales tareas que el robot debe realizar, es la búsqueda del oponente, dependiendo de la estrategia de control, entre más rápido se detecte al oponente, más probabilidad de victoria tendrá el robot (Nieva, *et al.*, 2009). En algunos otros casos, la estrategia de control se relaciona con acciones de evadir y aguantar a que el oponente cometa el error de salirse de la zona de juego. El algoritmo de control propuesto para el robot minisumo SIT-UV se basa en la rápida búsqueda del oponente usando los sensores SHARP para embestirlo, teniendo en cuenta la detección del borde del dohyo para evitar salir de la zona de combate.

Se tuvo la oportunidad de realizar el proceso de fabricación de la tarjeta electrónica PCB ya que se contaba con las herramientas pertinentes. La tarjeta electrónica cuenta con dos pulsadores, los

cuales permiten seleccionar el modo de ataque y el inicio del robot respectivamente, once conectores pin head de tres pines cada uno, que permiten conectar los sensores, batería y motores. También se cuenta con pines hembra que sirven para insertar el módulo Arduino y el circuito puente H. Además, se cuenta con un regulador de voltaje a 5 V, así como resistencias y condensadores para circuitos de polarización y acople. En la figura 2 se presenta el diseño e implementación de la tarjeta electrónica para el control del robot minisumo SIT-UV, donde se pueden observar los diferentes componentes descritos anteriormente.

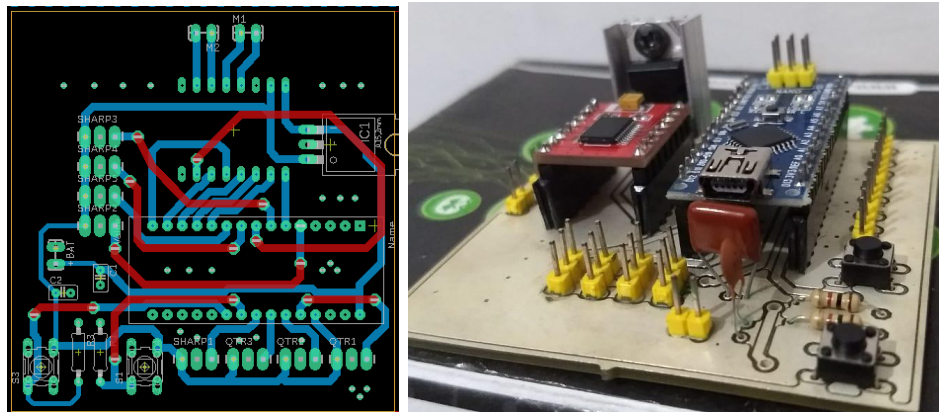


Figura 2. Diseño e implementación de la tarjeta electrónica del robot minisumo SIT-UV

2.2 Estructura mecánica

El diseño de la carrocería del robot se realizó a partir del reglamento de la competencia en la categoría de minisumo, en el cual se manifiestan las restricciones de dimensión y peso mencionadas anteriormente, entre otras que se describen a continuación:

- El robot no puede disparar proyectiles.
- El robot no puede tener un dispositivo que lo fije al dohyo y le impida moverse.
- No se puede diseñar el robot para que se divida en diferentes piezas al empezar el combate.

Considerando un enfoque no solo orientado a las competencias de robótica sino también hacia su uso como una herramienta de educación, que pueda ser modular, se propone el diseño 3D de la carrocería del robot minisumo SIT-UV como se muestra en la figura 3, la cual debe tener no solo la capacidad de servir como contenedor de los diferentes componentes, tales como la tarjeta electrónica, batería, servomotores, sensores y ruedas, sino también la forma externa adecuada para cumplir con el propósito de sacar al oponente de la zona de combate (ver figura 3a). Por otra parte, como se muestra en la figura 3b, los sensores QTR se encuentran en la parte inferior, ubicados a una distancia de aproximadamente 3 mm con respecto al piso, según recomendación del fabricante; mientras que los sensores SHARP se ubican de la siguiente forma: 3 sensores se organizan de tal manera que estén a 90° cubriendo la parte frontal y los laterales (flechas azules), los otros 2 sensores se ubican a 30° con respecto al sensor frontal con el propósito de ampliar el rango de detección frontal del oponente.

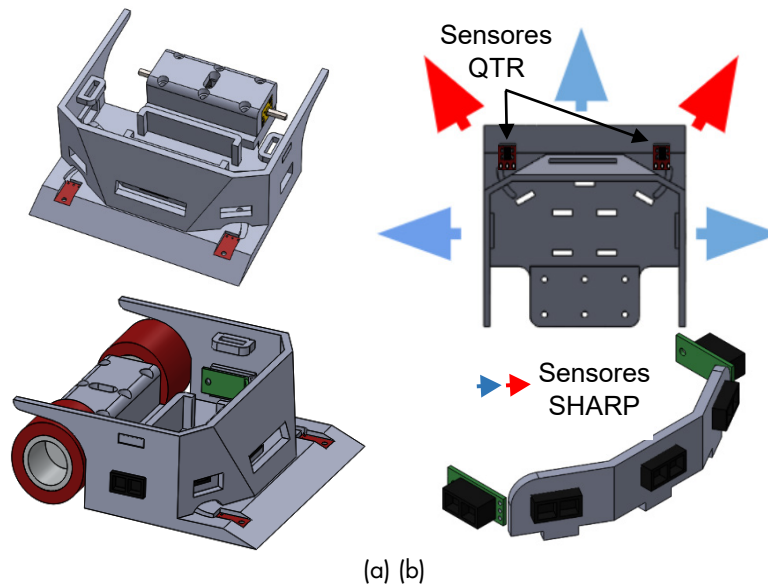


Figura 3. Diseño 3D robot minisumo SIT-UV. (a) Contenedor y forma externa. (b) Ubicación de sensores

La tracción del robot se realiza por medio de servomotores, que se sitúan en la parte trasera del robot ajustados a una pieza modular por medio de tornillos para una fácil extracción de los mismos, mientras que la parte frontal del minisumo es aquella que debe estar más unida al piso, esta disposición de la parte frontal se realiza con el propósito de levantar al oponente en el momento de embestirlo (ver figura 3a). Además, la carrocería no debe estar totalmente unida al piso, debido a la fricción y gasto innecesario de potencia para mover el robot, la propuesta de solución consiste en realizar una pequeña inclinación de 1° con respecto a la punta del robot, logrando así que las llantas logren tener una buena superficie de agarre con el piso. El prototipo final desarrollado se puede ver en la figura 4, contiene el sistema electrónico de control y potencia de la figura 2, sus entradas digitales en total son 7 sensores infrarrojos, 5 digitales y 2 analógicos, sus salidas dos servomotores y su respectiva alimentación una batería lipo de 7.4 V a 1000 mAh.

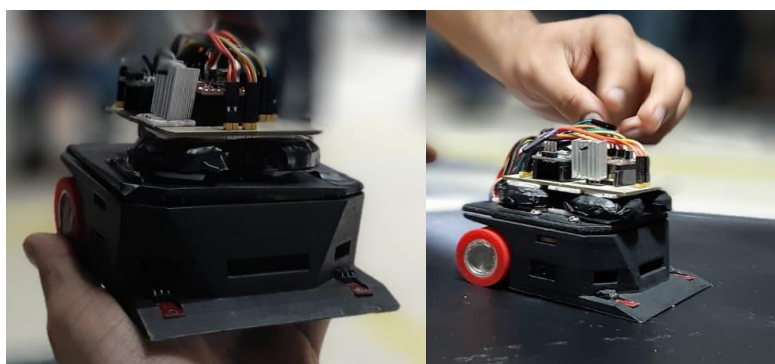


Figura 4. Prototipo desarrollado del robot minisumo SIT-UV

3. Participación en competencias

A lo largo del desarrollo del robot minisumo SIT-UV, se ha logrado la participación en tres eventos de ámbito local en la ciudad Santiago de Cali como se muestra en la figura 5, los cuales son:



(a) (b) (c)
Figura 5. Participación en competencias de robótica. (a) FastBot. (b) LatinBot. (c) TecnoFest

- **FastBot:** esta competencia se realizó en la Universidad Autónoma de occidente en el año 2018, se participó en la categoría de minisumo avanzado, donde los principales concursantes eran estudiantes de las diferentes universidades de la región y además se contaba con la participación de estudiantes de colegios de la ciudad. La competencia tenía como objetivo desarrollar un robot minisumo en 24 horas con ciertos elementos que se entregaban en la competencia. Finalmente, se logró obtener el tercer puesto de la competencia.
- **LatinBot:** este evento se realizó en la Universidad del Valle sede Meléndez en el año 2019, en el que se participó en la modalidad de minisumo avanzado, donde los principales concursantes eran estudiantes de las diferentes universidades del país y además se contaba con la participación concursantes extranjeros. En esta competencia no se logró quedar pódium, pero sirvió de aprendizaje para implementar en la siguiente versión del robot.
- **TecnoFest:** esta competencia hizo parte de la programación del III Festival de Innovación, Diversión y Progreso de Cali que se realizó en el coliseo del pueblo en el año 2019, en la que se participó en la categoría de minisumo avanzado, donde los principales concursantes eran estudiantes de universidades, colegios y público aficionado de la ciudad. Como resultados de la participación, se logró obtener el tercer puesto después de dos días de competencia.

Una de las principales ventajas que tiene este proyecto es la versatilidad en cuanto a funcionamiento, diseño y facilidad de uso. Al tener un microcontrolador, Arduino, permite que se puedan acceder a todas las librerías ya desarrolladas por la comunidad. Además, cuenta con diez entradas para conectar diferentes dispositivos teniendo una distribución de ocho entradas para sensores y dos para motores, permitiendo una mayor versatilidad al momento de disponer de estrategias para el funcionamiento del robot. Por otro lado, el diseño está pensado para que se pueda tener flexibilidad al momento de desarrollar el robot. Actualmente, se está planeando la estrategia de transferencia de conocimiento, que consiste en socializar toda la experiencia que se ha adquirido a lo largo del desarrollo de este proyecto, para que jóvenes, especialmente de los colegios y estudiantes universitarios de primeros semestres, puedan adquirir todo este conocimiento y además, poder ofrecerles un kit de desarrollo que les permita adquirir y fortalecer las habilidades

en: programación, conocimiento de componentes electrónicos (resistencias, pulsadores, microcontroladores, etc.), habilidades técnicas, potencializar la creatividad para resolver problemas, entre otras.

Gracias a las diferentes competencias en las que se ha participado, se ha logrado aprender, mejorar y además adquirir experiencia de personas que ya llevan más tiempo en este tipo de competencias, las cuales cuentan con robots que ya son de talla internacional y ha sido de gran ayuda para la constante mejora en todos los aspectos (tamaño, peso, potencia, estrategias y demás) del robot minisumo SIT-UV.

4. Conclusiones

De los resultados mostrados, de su análisis y experiencia se pueden obtener las siguientes conclusiones del desarrollo del robot minisumo SIT-UV: 1) Desarrollar un robot desde cero permite poder aprender diferentes habilidades o herramientas para el desarrollo del mismo, con el fin de poder aplicar este tipo de conocimiento en proyectos más complejos. 2) Se logró aprender el proceso de fabricación de una tarjeta PCB, además de adquirir ciertos conocimientos para la realización más óptima de la misma. Este tipo de conocimientos ha permitido hacer modificaciones a la tarjeta de desarrollo para que cada versión sea más completa y además poder llegar al nivel de las tarjetas profesionales que se desarrollan para los robots minisumos. 3) Poder desarrollar una estructura modular ha sido de mucha utilidad ya que se puede hacer un análisis de la disposición electrónica y de sensores del robot, para que sea lo más óptimo posible y cumplir con los requerimientos que se piden en las competencias en cuanto a peso y tamaño. 4) Se espera hacer una nueva versión del minisumo que permita dar paso a participación en competencias de talla internacional y poder así representar al país con un diseño y tarjeta propia. Esta experiencia permite promover charlas de divulgación en eventos tales como conferencias, seminarios y demás; tanto en colegios, universidades, así como en encuentros sobre avances en la tecnología e innovación, con el fin de poder transmitir el conocimiento a las diferentes personas interesadas en adquirir bases de cómo desarrollar proyectos como este que, además de ser muy entretenido, ayuda a adquirir conocimientos que pueden ser aplicados en proyectos de mayor complejidad.

5. Referencias

- Acevedo, J. A., Caicedo, E. y Castillo, J. F. (2017). Aplicación de tecnologías de rehabilitación robótica en niños con lesión del miembro superior. Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud, Vol. 49, No. 1, pp. 103-114.
- Arias, R. A., Ayala, G. Y., Bravo, E. P., Campaña, M. E. y Cuero, L. M. (2016). La robótica pedagógica como herramienta para la construcción de aprendizajes significativos en el aula. VII Coloquio Internacional de Educación, Universidad del Cauca, Popayán – Colombia, 34 p.
- Barbadillo, G. y Pina, A. (2012). Proyecto Arduino: Sumo robótico. Trabajo de grado: Universidad Pública de Navarra, Pamplona – España, 211 p.

- Cerezo, F. (2015). Laboratorios virtuales y docencia de la automática en la formación tecnológica de base. Tesis doctoral: Universidad Politécnica de Madrid, Madrid – España, 328 p.
- Mont, M. A., Sevilla, J., León, J. P., Herrera J. L. y Bautista, J. C. (2017). Diseño, construcción y programación de un robot minisumo con Arduino. Universidad Politécnica de Puebla, 5 p.
- Navas, S. (2016). Smart robots y otras máquinas inteligentes en nuestra vida cotidiana. Revista CESCO de Derecho de Consumo, No. 20, pp. 82-109.
- Nieva, S. y Breña, J. A. (2009). Estrategias de solución para la prueba del Minisumo, Madrid-Bot 2009, Madrid – España, 42 p.
- Pinto, M. L., Barrera, N. y Pérez, W. J. (2010). Uso de la robótica educativa como herramienta en los procesos de enseñanza. Ingeniería Investigación y Desarrollo, Vol. 10, No. 1, pp. 15-23.
- ROBOMATRIX Liga Latinoamericana de Robótica en Competencias. (2020, abril). Reglamento Sumo. Consultado el 10 de junio de 2020 en <http://robomatrix.org/wp-content/uploads/2016/08/ReglamentoSumo.pdf>
- Rojas, D. (2016). Inclusión de la robótica como herramienta pedagógica en el área de tecnología e informática en la institución educativa el rosario del municipio de Paipa. Trabajo de grado: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Duitama – Colombia, 77 p.

Sobre los autores

- **Daniel Caicedo:** Tecnólogo en diseño e integración de automatismos mecatrónicos, estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Valle. caicedo.daniel@correounivalle.edu.co
- **Jorge Leiton:** Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Valle. jorge.leiton@correounivalle.edu.co
- **Giosman Domínguez:** Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Valle. giosman.dominguez@correounivalle.edu.co
- **Johan Enríquez:** Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Valle. johan.enriquez@correounivalle.edu.co
- **Andrés Restrepo:** Ingeniero Electrónico, Magister en Ingeniería con énfasis en Automática, Doctor en Ingeniería de la Universidad del Valle. Gestor de la Línea de Electrónica y Telecomunicaciones del Tecnoparque Nodo Cali. afrestrepoa@sena.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)