

Implementación de Algoritmos de Control PID y Lógica Difusa Basado en la Enseñanza de la Robótica Aplicado a niños del Nivel Primario y Secundario, Perú

Milagros del Carmen Castañeda Barbarán
mcastaneda@crece.uss.edu.pe
Universidad Señor de Sipán

Resumen. Este documento de la presente investigación, constituye la *Implementación de Algoritmos de Control Robótico*, aplicados al ámbito educativo con la finalidad de aportar a la enseñanza de la Robótica a estudiantes del nivel primario y secundario. Los robots móviles de tipo educativo, desarrollan sistemas de control básico, por lo que solamente se está limitando en el área de robótica, el uso de algoritmos de control básico presentan dificultades en el funcionamiento de sus tareas. Al evaluar los Algoritmos de Control Robótico (Algoritmo PID y Lógica Difusa) en los casos de aprendizaje educativo contribuye un mejor desempeño en la enseñanza de la robótica educativa.

Palabras clave: Algoritmos de Control Robótico PID y Lógica Difusa, Tecnología Educativa, Robótica y la Inteligencia Artificial, Aprendizaje Robótico, Electrónica Digital, Programación de Robots en Arduino.

Implementation of PID Control Algorithms and Fuzzy Logic Based on the Teaching of Applied Robotics to Children of the Primary and Secondary Level, Peru

Abstract. This document of the present investigation, constitutes the *Implementation of Robotic Control Algorithms*, applied to the educational field with the purpose of contributing to the teaching of Robotics to students of primary and secondary level. The mobile robots of educational type, develop basic control systems, so it is only limited in the area of robotics, the use of basic control algorithms present difficulties in the functioning of their tasks. When evaluating the Robotic Control Algorithms (PID Algorithm and Fuzzy Logic) in the cases of educational learning contributes a better performance in the teaching of educational robotics.

Key words: Robot Control Algorithms PID and Fuzzy Logic, Educational Technology, Robotics and Artificial Intelligence, Robotic Learning, Digital Electronics, Robot Programming in Arduino.

1. Introducción

Según los ingenieros investigadores (Daniel, Osio, & Martín, 2006) la Robótica en el ámbito educativo está siendo usada en distintos países con la finalidad de promover ambientes de aprendizajes robóticos donde los estudiantes adquieran habilidades para estructurar investigaciones y resolver problemas. Un ambiente de aprendizaje con Robótica Pedagógica, es una experiencia que contribuye al desarrollo de la creatividad y el pensamiento de los estudiantes. El docente plantea situaciones problemáticas que deberá resolver el Robot, esto implica la implementación de Algoritmos de Control. Para que el método sea aplicable, los Robots deben poseer ciertas características especiales, como versatilidad, confiabilidad, dimensiones acotadas, facilidad en su programación y de bajo coste para que todos tengan la posibilidad de usarlo.

Este método se considera apropiado, teniendo en cuenta el contenido a enseñar y la necesidad de incluir en la enseñanza de la programación, basados en la tecnología.

Es así que en la revista Red de Revista Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (Moreno, y otros, 2012) presenta y analiza la Robótica Educativa como una herramienta de apoyo de enseñanza-aprendizaje, orientada principalmente a asignaturas complejas como la matemática, física e informática, entre otras. El objetivo principal fue demostrar como la Robótica aplicada a la educación, facilita y motiva la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y las tecnologías. Los resultados demostraron que la robótica se puede convertir en una herramienta excelente para comprender conceptos abstractos y complejos en asignaturas del área de las ciencias y las tecnologías; así como también permite desarrollar competencias básicas tales como trabajar en equipo.

Así mismo en este estudio Concepción, Chile (González, 2011) se muestra la utilidad de la Robótica Educativa desde la perspectiva del docente, los resultados revelan cómo se organiza y estructura el ambiente de aprendizaje al interior del aula de manera que sea favorable al desarrollo cognitivo. Esta investigación concluye con la propuesta de un Modelo Pedagógico de Robótica Educativa (MOPRE) el cual sintetiza los mecanismos de aprendizaje producidos en el aula como: formulación del problema de la realidad, planificación y organización del proyecto, construcción del robot, programación.

En Salamanca, España (Barranco Candanedo, 2012) realizó un estudio donde el Ministerio de Educación propone un nuevo reto a todos los docentes de Tecnología Informática que consiste en construir y programar robots sin tener experiencia previa, lo que obliga a los profesores a capacitarse de manera intensiva e inmediata, ya que son pocos los docentes a nivel nacional que cuentan con experiencia en Robótica Educativa y con poco o ningún conocimiento en la utilización de Kits de Robótica, que es fundamental para el buen desarrollo de la asignatura. Esto pudiera considerarse una limitación que la mayoría de los docentes la ponderamos como buena: nos actualizamos por un lado y enseñamos lo aprendido a nuestros estudiantes por el otro. La expectativa que nos hemos propuesto es que los estudiantes puedan aprender de manera significativa conceptos que pudieran ser difíciles de entender y que de manera natural se apliquen y se ejecuten en las diferentes áreas del conocimiento con la ayuda de un Kits de Robótica como herramienta para resolver problemas del entorno donde ellos habiten; como también, el kits sea un instrumento que no ayuda a superar el reto principal.

En nuestro país (Perú) (WEDO, 2013) no se es ajeno a estos avances, en el mes de Junio del 2013, el programa de empleo Robótica Educativa WeDo en Lima evaluó la problemática educativa: En algunas Instituciones Educativas no hay suficiente Kits Robóticos para trabajar con alumnos, no cuentan con un buen soporte técnico; algunos profesores no aplican el manejo apropiado de herramientas tecnológicas en aula; las Instituciones Educativas no hacen uso de Robótica Educativa, algunos de los profesores todavía tienen un poco de temor de no saber manejar las herramientas tecnológicas en aula.

Esta evaluación fue a cargo de especialistas de la Facultad de Educación de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) en coordinación académica con la Universidad Tufts, Bostón-Massachusetts, en la relación de Instituciones Educativas de la promoción del programa Robótica Educativa WeDo, las Instituciones Educativas han venido participando en el programa en los 3 años previos al estudio (75%) y el total de directores manifiestan opiniones positivas o muy positivas sobre el WeDo; constituyen una ayuda para la labor docente y su impacto es alto y positivo (79%); casi la totalidad de directores (98%) sostiene que favorece el aprendizaje significativo, y el 64% manifiesta que dicha influencia es amplia y elevada. En relación a la promoción del Programa WeDo, más de la mitad sólo realizan labores rutinarias, los casos de iniciativas creativas adicionales con la participación de ferias, la realización de concursos o la participación de padres de familia, ascienden al 43% del total. Según el investigador (Inojosa, Nelson, 2007) nos dice las experiencias de la aplicación de la Robótica en Universidades Latinoamericanas, en Perú, El Director del Programa Académicos de Ingeniería Industrial y Sistemas de la Universidad de Piura, explica que los planes de estudios de las

diferentes facultades así como de la educación básica se deberían incluir a la robótica para una mejor comprensión y familiarización de esta tecnología que comienza a manifestarse. No se puede negar el beneficioso impacto que ha generado la presencia del robot en los diferentes campos de la vida. Continua expresando que *“La robótica en Perú se está introduciendo a través de las universidades como una especie de Robótica Pedagógica, en la que los alumnos desarrollan equipos sencillos para probar estrategias de control o ensayar programas de simulación”*.

Según el investigador (Barrios, Dennis, 2008) nos dice que la robótica engloba tres áreas: mecánica, electrónica y computación. Es por eso que alrededor del mundo no es difícil encontrar proyectos de investigación en robótica en facultades o departamentos académicos de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería de Computación, Ciencia de la Computación y en Ingeniería Mecatrónica. Cada profesión realizará aportes a la Robótica con mayor énfasis en su área de formación. La Robótica Educativa, en estos tiempos se ha vuelto indispensable la creación de KITS que permiten el aprendizaje de robótica de forma simple e intuitiva tanto para niños como personas con poca o ninguna intimidad con el área tecnológica. Así, muchas instituciones en el mundo vienen sumándose a estos esfuerzos, los cuales nacen en ambientes académicos universitarios. Es importante observar que existen muchas áreas de convergencia entre la computación y la Robótica en el Perú no podemos estar ajenos a esta realidad ya que se espera que en el futuro los robots se vuelven populares y su utilización sea masiva en los más diversos campos de acción.

1.1. Aprendizaje robótico

Según los investigadores (Ibañez & Pérez, 2009) podríamos considerar la Robótica como una de las nuevas tecnologías mencionadas en la sección de la problemática, y del mismo modo la robótica puede presentarse y utilizarse de muy diferentes maneras en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

La forma de cómo se aborda el proceso de enseñanza de la robótica comprende 3 cosas importantes: Como objetivo de aprendizaje, la robótica objeto de estudio en primaria y secundaria y aprendizajes profesionalizados ligados al uso o desarrollo de robots.

Como medio de aprendizaje, Tal y como sucede en el área tecnológica, tanto en primaria, secundaria como en la universidad, se desarrollan contenidos que pueden ser trabajos en el aula vía construcción y/o programación de robots permitiendo además una visión global en un contexto real.

Como apoyo al aprendizaje, utilizar robots en el aula como herramienta de apoyo al

aprendizaje, es decir, una herramienta favorece el acercamiento a los contenidos del currículo de un modo diferentes, y que por sus propias características facilitan el aprendizaje por indagación.

Una vez dicho creo que cuando se habla de Robótica Educativa la robótica como objeto de aprendizaje queda fuera de dicho concepto y que es precisamente el uso como apoyo al aprendizaje el más importante a la más importante a la vez que el menos conocido y desarrollado. Un amplio espacio de investigación y de desarrollo de experiencias.

1.2. Algoritmos robóticos de estudio

ALGORITMO DE CONTROL PID

¿Qué es un controlador PID? Según el investigador (Motos, 2013), un controlador PID (proporcional, integral, derivado) es un mecanismo de control retroalimentado en bucle cerrado ampliamente utilizado en sistema de control industrial. Un controlador PID calcula el error como la diferencia entre el valor actual del sistema y un valor de referencia objetivo.

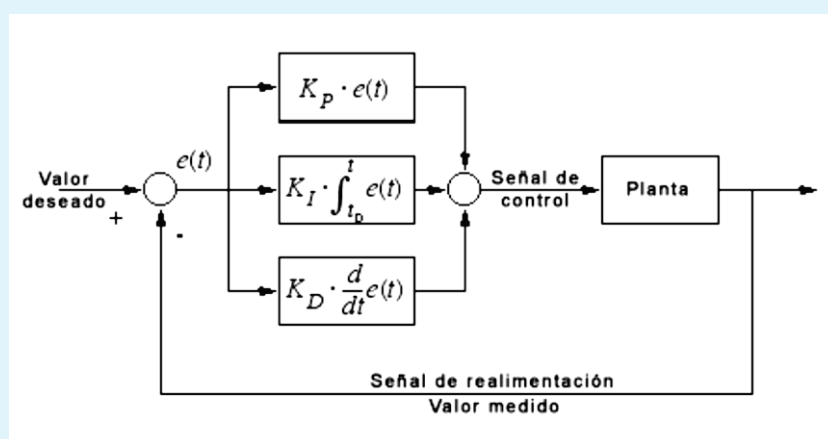


Figura 01: Diagrama de bloques de un controlador PID
Fuente: Según el investigador José Luis Pérez Motos

En el cálculo del controlador PID intervienen tres parámetros, los cuales pueden ser interpretados en función del tiempo. La parte *proporcional* P depende del error actual, la parte *integral* I depende de la suma de todos los errores pasados y la parte *derivada* D es la predicación de los tres términos permiten ajustar un proceso mediante un elemento de control como por ejemplo la velocidad que debe alcanzar un motor de corriente continua.

$$U = P + I + D$$

Mediante el ajuste de estas tres constantes del algoritmo de control PID, el controlador es capaz de proporcionar acciones de control específicas a los requerimientos de un sistema. La efectividad del controlador se puede medir con tres parámetros. El ajuste estos parámetros se logran mediante el análisis del sistema.

Término Proporcional

El término proporcional modifica la salida proporcionalmente con el error actual. La respuesta proporcional se puede ajustar multiplicando el error por una constante K_p , conocida como ganancia proporcional.

$$P = K_p e(t)$$

Siendo “ e ” el error en un instante de tiempo, cuanto mayor sea este error más rápida será la respuesta y viceversa.

Un controlador proporcional no siempre alcanzará su valor objetivo, ya que no se eliminará el error de estado estacionario. Para eliminarlo hay que emplear el término integral.

Término Integral

El término integral es proporcional a la magnitud del error y a la duración del error. Es decir, la suma de todos los errores en cada instante de tiempo “ o ”, como indica su

nombre, la integración de todos los errores. Esta suma compensa la diferencia que debería haber sido corregida anteriormente. El error acumulado se multiplica por la ganancia integral K_i que indicará la cantidad integral respecto de toda la acción de control.

$$I = K_i \int_0^t e(t) dt$$

Al usar la integral junto al proporcional se acelera el movimiento del sistema llegando antes al valor deseado, es decir, menor tiempo de respuesta. Además elimina el error estacionario que se produce al usar un controlador proporcional. Sin embargo el término integral tiene en cuenta los errores acumulados en el pasado y puede hacer que el valor actual sobrepase el valor deseado, lo cual creará un error en el otro sentido, creando oscilaciones alrededor del valor deseado. Para evitarlo se emplea el término derivado.

Término Derivativo

El término derivativo calcula la variación del error mediante la pendiente del error en cada instante de tiempo, es decir, la primera derivada con respecto al tiempo y multiplica esa variación del error con la ganancia derivativa K_d , la cual indica la cantidad de acción derivativa respecto de toda la acción de control.

$$D = K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

El término derivativo ralentiza la tasa de cambio de la salida del controlador y cuánto más cerca está del valor deseado, se hace aún más lento. Por lo tanto, el cual del término derivativo sirve para disminuir las oscilaciones producidas por el término integral y mejorar así la estabilidad del proceso. Uno de los inconvenientes de emplear el término derivativo es que

amplifica el ruido, por lo que se puede estabilizar el sistema con más facilidad.

La ecuación del PID: Según

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

De la ecuación, podemos hacer las siguientes afirmaciones:

$e(t)$ es el error de la señal

$u(t)$ salida del controlador y entrada de control al proceso.

K_p es la ganancia proporcional

T_i es la constante del tiempo integral

T_d es la constante de tiempo derivada.

ALGORITMO LÓGICA DIFUSA

Según el investigador (Ailén Sabadí Hernández) La Lógica Difusa es una herramienta moderna y una de sus aplicaciones más importantes es el Control de Procesos Industriales. Se sale del tradicional esquema de control de lazo realimentado y del rígido modo de pensar de los programas de una microcomputadora para comenzar a emplear variables lingüísticas muchas veces consideradas imprecisas. Aun cuando parece ser sinónimo de imprecisión, la Lógica Difusa está basada en una disciplina fuertemente rigurosa que permite describir exactamente un Sistema de Control sin utilizar complicadas expresiones matemáticas.

A esta nueva rama del Control Automático es a la que se le llama Inteligencia Artificial o simplemente Control Inteligente, dentro del cual se destaca la Lógica Fuzzy o Difusa el cual es un algoritmo muy utilizado en la actualidad.

Asimismo, el control borroso, originado a partir de una lógica de conceptos vagos e imprecisos, se utiliza en la mayoría de los casos para la aproximación de funciones precisas, deterministas, contradiciendo con ello el espíritu inicial de la Lógica Difusa en control de procesos.

Una de las principales metas en control inteligente de procesos industriales es la construcción de sistemas borrosos que controlen con garantía sistemas complejos de alta dimensionalidad, mediante implementaciones generales, robustas y fácilmente entendibles por el usuario.

La Lógica Difusa es una rama de la inteligencia artificial que se funda en el concepto “Todo es cuestión de grado”, lo cual permite manejar información vaga o de difícil especificación si quisiéramos hacer cambiar con esta información el funcionamiento o el estado de un sistema específico. En cierto nivel, puede ser vista como un lenguaje que permite trasladar sentencias sofisticadas en lenguaje natural a un lenguaje matemático formal. Con la Lógica Difusa, es entonces posible gobernar un sistema por medio de reglas de “sentido común”, las cuales se refieren a cantidades indefinidas. Establecen una frontera gradual entre la no-pertenencia y la pertenencia, y por tanto conforman una herramienta para el modelado de la imprecisión o la incertidumbre.

Aplicación en Robótica: Lógica Difusa

Cualquier intento para controlar un sistema dinámico necesita utilizar algún conocimiento o modelo del sistema a controlar. En el caso de la robótica el sistema está formado por el propio robot y el entorno en que éste opera. Aunque normalmente se puede obtener el modelo del robot, no ocurre lo mismo cuando se considera al robot situado en un entorno no estructurado. Los entornos están caracterizados por una fuerte presencia de

incertidumbre debida, por ejemplo, a la existencia de personas que se desplazan, objetos que pueden cambiar de posición, nuevos obstáculos, etc.

Además, existen numerosos factores que pueden conducir a un sistema de robótica a un estado erróneo durante la ejecución de una secuencia de tareas: errores sensoriales, factores debidos al ambiente de trabajo, información imprecisa del proceso, información errónea, etc. En este sentido, la Lógica Difusa incorpora al sistema la capacidad para recuperarse de los posibles errores, presentando así a la vez robustez en la detección y recuperación de estos estados erróneos.

Una de las aplicaciones más extendidas de las técnicas borrosas es el diseño de comportamientos. Los comportamientos son tareas como: evitar obstáculos fijos, seguir un contorno, evitar obstáculos móviles, cruzar puertas, seguir una trayectoria, empujar o cargar un objeto, etc. Estas son tareas de muy diferente complejidad. Los controladores borrosos incorporan conocimiento heurístico en forma de reglas del tipo si-entonces, y son una alternativa adecuada en el caso de que no se pueda obtener un modelo preciso del sistema a controlar.

Según los investigadores (Bejamin Ortiz Moctezuma; Ángel Arturo Ramírez Suárez, 2013) Lógica Difusa es una metodología de solución de problemas de sistemas de control utilizada para la implementación en sistemas que varían desde pequeños micro controladores embebidos a redes industriales de múltiples canales o estaciones de trabajo dedicadas a la adquisición y control de datos. Puede ser implementada en hardware, software o una combinación de ambos y provee una manera simple de alcanzar una conclusión definitiva utilizando información vaga, ambigua, imprecisa o ruidosa. La lógica

difusa emula la toma de decisiones de un individuo al incorporar un sistema de condicionamiento de tipo IF (si- conocido como el antecedente) THEN (entonces- conocido como el consecuente).

EL concepto de lógica difusa fue concebido por el inventor (Lotfi Zadeh, 2013) se ha utilizado en muchas situaciones para “explorar la tolerancia de la imprecisión” porque, de esa manera, permite a las compañías requerir sensores y dispositivos “más baratos”, lo que ha permitido desarrollar productos electrónicos de gran consumo.

Esa novedosa teoría ha generado a su vez tanto entusiasmo como controversia en la comunidad científica al diferenciarse de la lógica clásica, la cual se basa en conjuntos “bien delimitados, definidos por el criterio de pertenencia inequívoca de sus elementos”.

Controlador Difuso

Según el investigador inventor (Lotfi Zadeh, 2013) La lógica difusa se aplica principalmente en sistemas de control difuso que utilizan expresiones ambiguas para formular reglas que controlen el sistema. Un sistema de control difuso trabaja de manera muy diferente a los sistemas de control convencionales. Estos usan el conocimiento experto para generar una base de conocimiento que dará al sistema la capacidad de tomar decisiones sobre ciertas acciones que se presentan en su funcionamiento. Los sistemas de control difuso permiten describir un conjunto de reglas que utilizará una persona para controlar un proceso y a partir de estas reglas generar acciones de control. El control difuso puede aplicarse tanto en sistemas muy sencillos como en sistemas cuyos modelos matemáticos sean muy complejos.

Variable dependiente

Procesos de control en robótica educativa

2.3. Modelo conceptual de la investigación

El figura 1, muestra el modelo conceptual propuesto de esta investigación que se analizarán y evaluarán en la misma.

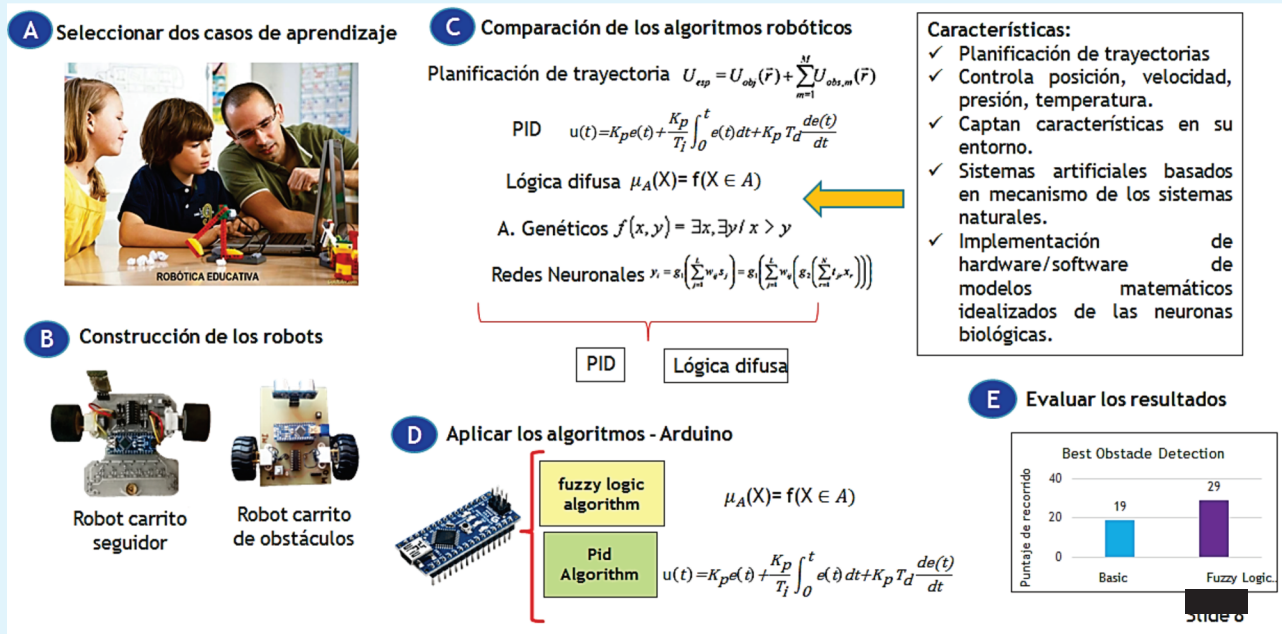


Figura N° 03: Modelo conceptual propuesto

2.4. Operacionalización de las variables

Tabla N° 1. Operacionalización de las variables de investigación

Variable Dependiente	Dimensiones	Indicadores	FÒRMULA
Procesos de control en robótica educativa.	Medición de Algoritmo PID	Controlador de dirección (velocidad)	$U = P + I + D$ $u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$
		Constante Kp, Ki, Kd	<p>Kp aumenta o reduce el impacto de proporcional.</p> <p>Ki aumenta o reduce el impacto de la integral</p> <p>Kd aumenta o reduce el impacto de la derivada.</p>

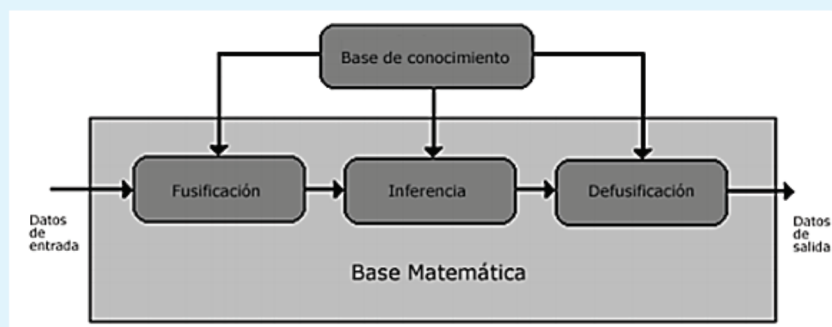


Figura 02: Estructura de un modelo difuso

Fuente: Según el investigador (Lotfi Zadeh, 2013)

Fusificación

La fusificación tiene como objetivo convertir valores *crisp* o valores reales en valores difusos. En la fusificación se asignan grados de pertenencia a cada una de las variables de entrada con relación a los conjuntos difusos previamente definidos utilizando las funciones de pertenencia asociadas a los conjuntos difusos.

Base de conocimiento

La base de conocimiento contiene el conocimiento asociado con el dominio de la aplicación y los objetivos de control. En esta etapa se deben definir las reglas lingüísticas de control que realizarán la toma de decisiones que decidirán la forma en la que debe actuar el sistema.

Inferencia

La inferencia relaciona los conjuntos difusos de entrada y salida para representar las reglas que definirán el sistema. En la inferencia se utiliza la información de la base de conocimiento para generar reglas mediante el uso de condiciones, por ejemplo: *si caso1 y caso2, entonces acción1*.

Defusificación

La defusificación realiza el proceso de adecuar los valores difusos generados en la inferencia en valores *crisp*, que posteriormente se utilizará en el proceso de control. En la defusificación se utilizan métodos matemáticos simples como el método del Centroide, Método del Promedio Ponderado y Método de Membresía del Medio del Máximo.

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Hipótesis

Si se aplican algoritmos de control basados en la Inteligencia Artificial va a mejorar el control de los kits robóticos educativos se asegura el correcto funcionamiento y estándares de programación de algoritmos permitiendo realizar diferentes experiencias de aprendizaje en los estudiantes.

2.2. Definición de variables

Variable independiente

Algoritmos de control utilizados para implementar técnicas de control en robótica educativa.

		Error estacionario	$e = y_{\varphi} - y = \frac{1}{1 + K_p K} (K_{\varphi} - y_o)$
		Tiempo respuesta	TI = máximo valor TD = mínimo valor
		Perturbación del control	Kp = aumenta bruscamente Ti = aumenta gradualmente Td = aumenta bruscamente.
		Frecuencia lazo	Kp = no afecta hasta cierto punto Ti = disminuye Td = aumenta.
		Tiempo de retardo	$\frac{dy}{dt} = -0.5 y(t) + 0.5 U u(t - 4)$
		Estabilidad	Kp = se reduce Ti = disminuye Td = aumenta.
	Medición Algoritmo Difuso	Medición de distancia del sensor	Distancia = <u>voltaje de entrada</u> 1024
		Distancia del sistema (robot)	Medida = centímetros
		Velocidad lineal del motor	Distancia / tiempo = m/s
		Errores en la medida de distancia	Errores proporcionales a la distancia: $D' = D \frac{n' \cdot f'}{n \cdot f} \rightarrow D' = D \frac{n'}{n}$ Errores no proporcionales a la Distancia: D = L + C; siendo C la constante de equipo.

		Conjuntos difusos (grado de pertenencia)	Función de pertenencia: u(f) tal que u(f):U:[0,1] donde u(f) representa el grado de pertenencia de un de “u” que pertenece a U en el conjunto difuso.
		Método de Fuzzificación	Variable, conjunto, grado de pertenencia.
		Método de Defuzzificación	Defuzzificación = centroide donde: defuzzificación = centro de masa (corte horizontal de la función defuzzificación a la altura δ)
		Método de evaluación de consecuentes	Evaluación de reglas: MIN-MAX $\delta A = \min \{ \delta 0, \delta 1, \dots, \delta n \}$ $\delta C = \max \{ \delta 0, \delta 1, \dots, \delta n \}$
		Mecanismo de inferencia difusa.	Niveles de pertenencia = salida del sistema difuso
		Reglas de salida difusa	Base de reglas: <u>IF la ENTRADA es baja THEN la SALIDA es alta.</u> Antecedente – Consecuente

2.5. Selección de la muestra

La selección de la población se tomó como muestra 02 kits robóticos, 02 algoritmos de control y un conjunto de experiencias educativas. En este tipo de trabajo son importantes las pruebas, se ha considerado 04 pruebas, basados en los investigadores (Bañón, Arcila, & Arando, 2000), (Aparna, Geeta, Kirtee, & Madhuri, 2013), (Correa & Vásquez, 2012), (Bejamin Ortiz Moctezuma; Ángel Arturo Ramírez Suárez, 2013).

2.6. Diseño de la prueba de la hipótesis

Se utilizó una Placa Arduino Nano para la programación de los robots, (Ballesteros & Carbajo, 2013) Arduino es una placa electrónica que contiene un microcontrolador. Arduino se programa en el lenguaje de alto nivel C/C++ y generalmente tiene los siguientes componentes para elaborar el algoritmo: estructuras, variables, operadores matemáticos: lógicos y booleanos, estructuras de control (condicionales y ciclos), funciones.

Recolección de datos, Se recopila la información de las pruebas de los experimentos haciendo pruebas de validación:

Se usó hojas de validación de pruebas para los robots, calificando un puntaje según los criterios establecidos.

Uso del dispositivo Bluetooth, para la comunicación del robot hacia la Pc mostrando en pantalla el funcionamiento que tienen cada robot.

PRUEBAS DE VALIDACIÓN

Carrito Seguidor De Línea:

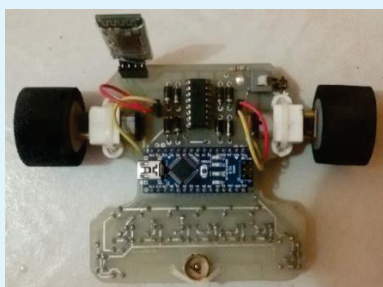


Figura N°04: Construcción carrito seguidor de línea

Fuente: Elaboración propia

Seguidor de línea, recorre en PISTA con el algoritmo de control PID (se implementó solo con la proporcional y la derivada – PD).

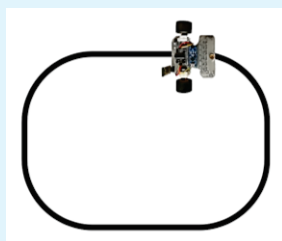


Figura N°05: Primera pista de prueba, pista circular

Fuente: Elaboración propia

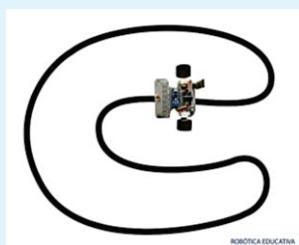


Figura N°06: Segunda pista de prueba, pista con líneas ovaladas

Fuente: Elaboración propia



Figura N°07: Tercera pista de prueba, pista con líneas ovaladas y rectas.

Fuente: Elaboración propia

Se interpretó los resultados mostrando en pantalla conectando al robot en Bluetooth, realizando su recorrido en pistas de prueba:

PID – Proporcional, Integral y Derivada, en esta prueba el termino integral no ayuda a

un buen control en estado estacionario (línea recta) ya que en dicho estado se encuentra en errores acumulados.

```
Velocidad derivativo:0
Velocidad integral:14
Velocidad TOTAL:-186
Velocidad Proporcional:-200
Velocidad derivativo:0
Velocidad integral:9
Velocidad TOTAL:-191
Velocidad Proporcional:-200
Velocidad derivativo:0
Velocidad integral:4
Velocidad TOTAL:-196
Velocidad Proporcional:-200
Velocidad derivativo:0
Velocidad integral:-1
Velocidad TOTAL:-201
```

Figura N°08: Velocidad de la proporcional, integral y derivada

Fuente: Elaboración propia

Carrito Detector De Obstáculos

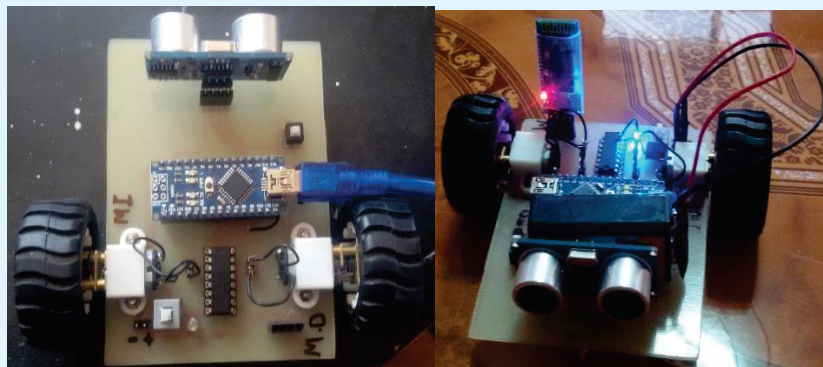


Figura 09: Construcción carrito detector de obstáculos
Fuente: Elaboración propia

El robot carrito detector de obstáculos, cuando recorre con el Algoritmo de Lógica Difusa.



Figura N°10: Recorrido del carrito detector de obstáculos
Fuente: Elaboración propia

Se observa que el robot detecta el obstáculo (pared de casa) donde reconoce el obstáculo y retrocede buscando una distancia aprox. 30 cm. Fig. 11

probó la lectura del sensor ultrasónico, el sensor detecta solo la distancia, conforme avanza al detectar un obstáculo en frente, cambiando sus valores.

Se presenta las pruebas en pantalla conectando al robot en Bluetooth, donde se

```

Distancia: 0
Velocidad: 52.17
Distancia medida: 26.00
Distancia: 0
Velocidad: 52.17
Distancia medida: 20.00
Distancia: 0
Velocidad: 0.00
Distancia medida: 18.00
Distancia: 0
Velocidad: 103.00
Distancia medida: 18.00
Distancia: 0
Velocidad: 103.00
Distancia medida: 18.00
Distancia: 0

```

Figura N°11: Distancia y velocidad del sensor ultrasónico - Plataforma HyperTerminal
Fuente: Elaboración propia

3. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se utilizó técnicas de análisis estadísticos para obtener los resultados en el uso de los algoritmos propuestos (PID y Lógica Difusa), con la herramienta de Matlab y Excel se valió los resultados en forma gráfica.

Comportamiento PID:

Se observa la velocidad hacia la proporcional con un valor de $K_p=80$, dicho valor no va hacer la misma va variando conforme su recorrido, si se muestra mayor de 80 va tener más velocidad a la proporcional, quiere decir que está aumentando.

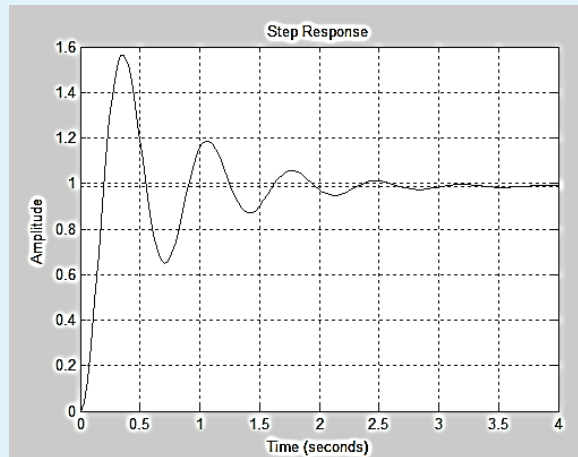


Figura 12: Un gráfico de líneas que muestra el comportamiento de la proporcional – herramienta de Matlab.

Fuente: Elaboración propia

Se observa la velocidad hacia la proporcional con un valor de $K_p=80$ y la derivada con un valor de $K_d=15$, no va

hacer la misma sus oscilaciones varían hasta buscar su velocidad en la pista y su ubicación mejorando su recorrido.

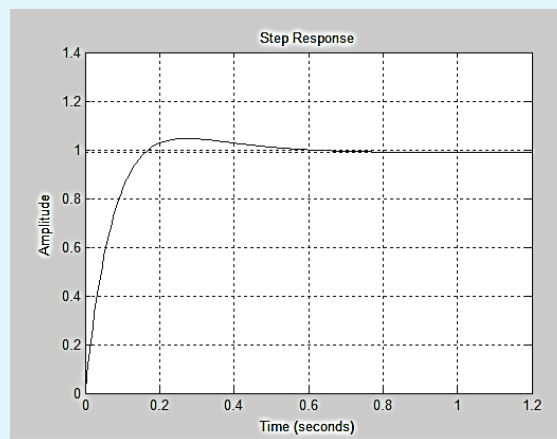


Figura 13: Un gráfico de líneas que muestra el comportamiento de la proporcional y Derivada – herramienta de Matlab

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el robot es bastante estable en su recorrido (línea negra de la pista),

asigna un valor de 0,5 a 1,0 a la integral (Ki). Si el valor de la integral (ki) es

demasiado alta, el robot se oscilará hacia la izquierda y derecha rápidamente. Si es demasiado baja, no se verá ninguna

diferencia perceptible. La integral es acumulada por lo tanto el valor (K_i) tiene un impacto significado.

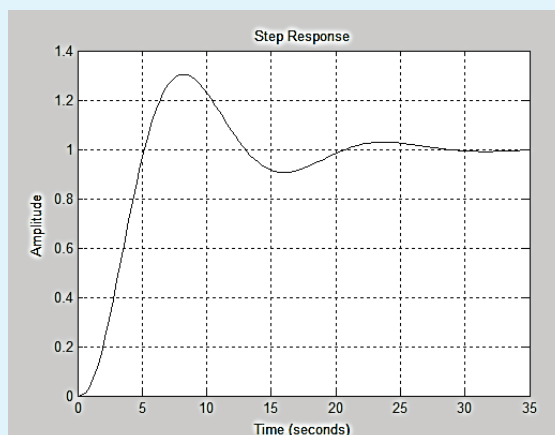


Figura 14: Un gráfico de líneas que muestra el comportamiento de la integral (I) – herramienta de Matlab

Fuente: Elaboración propia

Comportamiento DIFUSO:

Se observa de manera general la información acerca de un sistema difuso aplicando al funcionamiento del robot. En

la parte izquierda se indican las variables difusas de entrada (distancia) y en la parte derecha se muestra la variable de salida (velocidad) en el método inferencia (Mamdani o Sugeno).

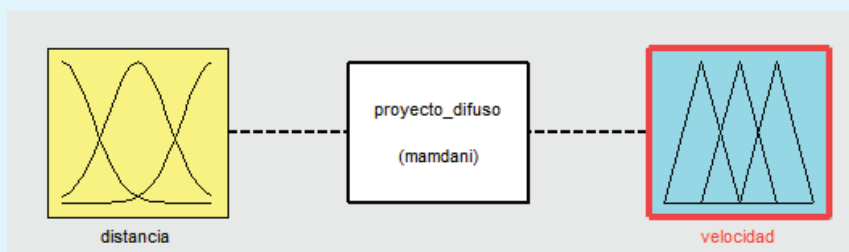


Figura 15: Interfaz gráfica del sistema de inferencia (FIS) – herramienta de Matlab

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la función de membresía correspondiente al ciclo de trabajo. Se compone de cinco clusters: muy alejado,

poco alejado, centrado, poco cercano, muy cercano. Fig. 14

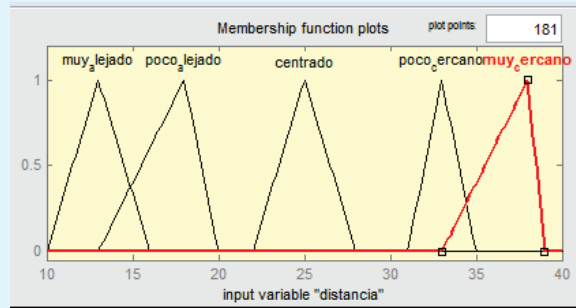


Figura 16: Interfaz de Membresía de la variable distancia – herramienta de Matlab
Fuente: Elaboración propia

Se muestra la función de membresía correspondiente al ciclo de trabajo. Se compone de cinco clusters: muy retroceso

rápido, retroceso poco rápido, cero movimiento, avanza poco rápido, avance rápido. Fig. 17

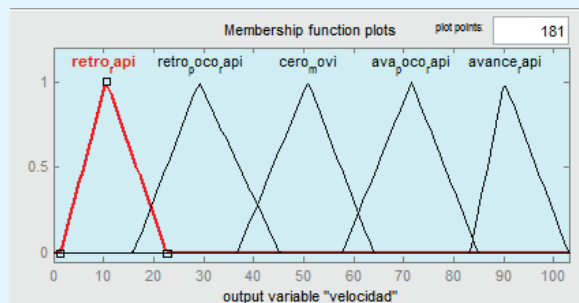


Figura 17: Interfaz de Membresía de la variable velocidad – herramienta de Matlab
Fuente: Elaboración propia

Reglas Difusas IF-THEN

Una vez que la matriz de la base de conocimiento difusa: (a) si la distancia es muy cercano entonces velocidad es retroceso rápido, (b) si la distancia es poco cercano entonces velocidad es retroceso

poco rápido, (c) si la distancia es centrado entonces velocidad es cero, (d) si la distancia es poco alejado entonces velocidad es avance poco rápido, (e) si la distancia es muy alejado entonces velocidad es avance rápido. Fig. 18

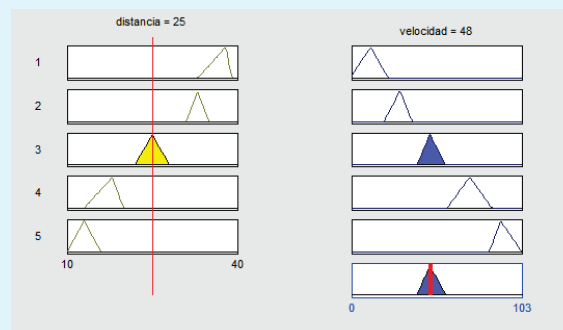


Figura 18: Visualizador de las reglas difusas – herramienta de Matlab

Fuente: Elaboración propia

Después de que algoritmo ha sido desarrollado, el visualizado de superficie permitirá observar la relación entre las

variables de entrada (distancia) y salida (velocidad). Fig. 19

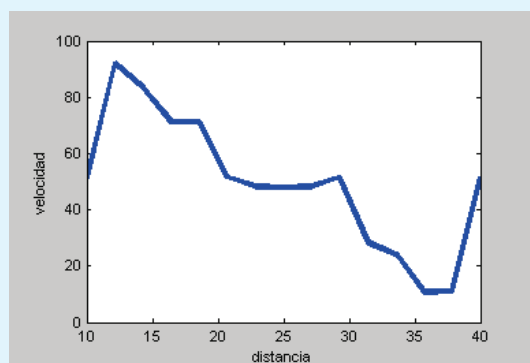


Figura 19: Visualizador de superficie difusa – herramienta de Matlab

Fuente: Elaboración propia

COMPARACIÓN DE ALGORITMOS

Control básico y algoritmo control PID

En esta investigación se comparó el funcionamiento de control básico y un control PID en un recorrido de pistas propuestas. Donde el robot avanza manteniendo su línea (negra) mostrando

su velocidad y su mejor recorrido. En la barra de color verde demuestra que el robot aplicando al control básico realiza un bajo recorrido en su velocidad en las pistas. Mientras que la barra de color amarilla demuestra que el robot aplicando al control PID tiene un mejor recorrido en su velocidad. Fig. 20

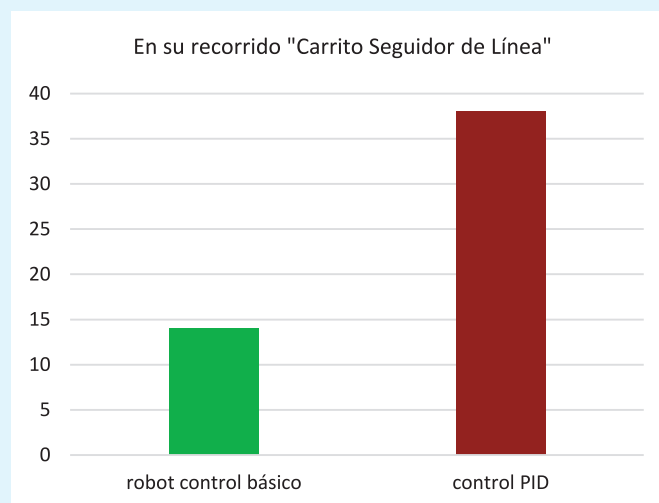


Figura 20: Gráfico mejor recorrido – herramienta de Excel

Fuente: Elaboración propia

Control básico y algoritmo control DIFUSO

Según el gráfico Fig. 21, nos indica que la barra de color celeste demuestra que el robot aplicado al control básico tiene bajo

nivel en la evasión de obstáculos, mientras que en la barra de color morada nos muestra

que el control difuso tienen un alto nivel en la evasión de los obstáculos.

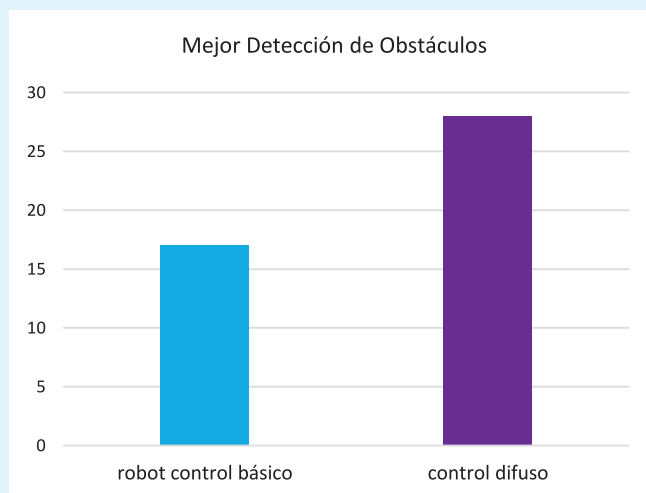


Figura 21: Gráfico mejor detección de obstáculos – herramienta de Excel
Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

A lo largo de la investigación se han revisado distintos algoritmos del control robótico enfocados a la resolución de un problema específico sin embargo ha sido necesario que este estudio abarque metodología de aprendizaje educativo para tener un marco de trabajo existente que sirva como punto de referencia al presente desarrollo. El paso importante ahora es hacer una apropiada selección de ideas que sirvan para la implementación de los algoritmos de control robótico en kits robóticos educativos como ha sido propuesto en los objetivos. Cada uno de los algoritmos revisados ofrece un acercamiento distinto al problema, no obstante no debe perderse de vista que también cada una ha sido desarrollada para implementarse utilizando un determinado equipo por lo que para poder hacer una selección de ideas primero debe asegurarse su factibilidad de acuerdo a los recursos disponibles para la presente investigación. De acuerdo al análisis realizado una de las técnicas de interés para cumplir con los

finés propuestos es el modelo “maestro – multiesclavo” considerando a la computadora central como el “maestro” y el robot como el “esclavo”.

Los robots y los algoritmos de control se seleccionaron de acuerdo a la situación pedagógica investigada.

La construcción de los robots de educación requiere de la definición de las características propias.

Esta investigación realizada en un prototipo de mostrar uno de los usos de los lazos de control PID, en nuestro caso mediante la detección de la señal de posición por sensores infrarrojos, del robot seguidor de línea. La optimización del lazo de control PID permite un incremento importante de velocidad y el control de la velocidad en diferentes tipos de tramos de la pista, tanto en las rectas como en las curvas, empleamos la debida operación para mantener una velocidad deseada en el tramo en el que se encuentre.

Las funciones que gobiernan el movimiento de los motores, sensores infrarrojos son de sencilla aplicación. Las librerías aplicadas pueden presentarnos un buen seguimiento de los valores que han sido obtenidos por los sensores de energía y de posición en la pista, necesarios para el buen desenvolvimiento del seguidor de línea.

Sin embargo lo expuesto en los párrafos anteriores no queda en simple suposiciones sino que mediante los cálculos y resultados obtenidos el PID resulta tener un efecto positivo en el desempeño del robot frente al desempeño de un control básico. Por ejemplo, debido a que los cálculos para controlar la velocidad de los motores DC están dados en una fórmula previamente introducida en el micro controlador, el control es mucho más fluido y preciso.

En esta investigación describe el diseño de un sistema de Control Difuso basado en comportamiento, para el uso de un robot móvil. El sistema de control difuso provee un mecanismo que combina los datos provenientes por los sensores del sistema de alejamiento luego de percibir un obstáculo a una fija distancia. El comportamiento de alto nivel consiste en la evasión de obstáculos y el sistema de bajo nivel

consiste en un comportamiento de rechazo. Cada comportamiento constituye una estrategia de control autónoma basada en la “arquitectura de máquinas inteligentes”. Los controladores difusos pueden ser considerados como una solución factible y robusta a problemas de control de complejidad media a elevada debido a la factibilidad y rapidez con que éstos pueden ser implementados en una aplicación de control determinada. Sin embargo también pueden llegar a resultar tedioso si la cantidad de bases de reglas se incrementan debido a la complejidad del problema y por tanto requiera una capacidad de procesamiento por parte del dispositivo encargado de implementar el control mucho mayor que la que se requiera.

También cabe destacar los beneficios de haber implementado la librería de lógica difusa eFLL ya que a través de esta es posible colocar el algoritmo de un sistema embebido completamente independiente y con ello reducir el tamaño y coste de la aplicación. Por tanto que es posible y conveniente utilizar los sistemas difusos en aplicaciones de naturaleza simple, empleando técnicas más avanzadas dependiendo la complejidad de la tarea.

5. REFERENCIAS

Ailén Sabadí Hernández. (s.f.). *La lógica difusa, características y aplicaciones*. Habana-Cuba.

Aparna, K., Geeta, S., Kirtee, K., & Madhuri, J. (2013). *GPC Inspirado adaptativa Locomotion Control para Hexápodo Robot*. India: International Journal of Engineering Science Invention.

Arduino.cl. (s.f.). Obtenido de <http://arduino.cl/arduino-uno/>

ArduinoXbeeShield. (2014). Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoXbeeShield>

Ballesteros, Á. M., & Carbajo, M. d. (2013). *Control de posición de un balancín con arduino*. Valladolid.

Bañón, J. M., Arcila, O., & Arando, J. (2000). Los algoritmos de planificación del movimiento de robots. *Ciencia y Tecnología*, vol 2-No.2.

Barranco Candanedo, A. A. (2012). *LA ROBÓTICA EDUCATIVA, UN NUEVO RETO PARA LA EDUCACIÓN PANAMEÑA*. Salamanca, España: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.

Barrios, Dennis. (2008). *La Robótica y su relación con la Computación*. Perú: http://www.comaperu.org/eventos/publicaciones/la_robotica_y_su_relacion_con_la_computacion.pdf. Obtenido de comaperu: http://www.comaperu.org/eventos/publicaciones/la_robotica_y_su_relacion_con_la_computacion.pdf

Bejamin Ortiz Moctezuma; Ángel Arturo Ramírez Suárez. (2013). *Elaboración de un sistema de control de posición lineal utilizando lógica difusa*. Victoria, Tamaulipas.

Correa, C., & Vásquez, L. (2012). *ALGORITMOS PARA LA PLANIFICACIÓN Y SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIAS EN ROBOTS AGRICOLAS*. Brasil: X Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola, XLI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola.

Daniel, A. C., Osio, J. R., & Martín, M. D. (2006). *Metodología para el estudio de desarrollo de software por medio de Robots Móviles*. Argentina: Universidad Nacional Arturo Jauretche-Instituto de Ingeniería-Ingeniería Informática.

Gabinete de Tele-Educación, Ramiro Maeztu. (01 de febrero de 2017). *Arduino en la programación y robótica educativa*. Obtenido de <http://blogs.upm.es/observatoriogate/2017/02/01/arduino-en-la-programacion-y-robotica-educativa/>

González, S. M. (2011). Estudio sobre la utilidad de la robótica educativa desde la perspectiva del docente. *Revista de Pedagogía*, vol. 32, núm. 90.

Ibañez, J. E., & Pérez, J. R. (17 de Mayo de 2009). *Lrobotikas*. Obtenido de Robotica educativa y recreativa: <http://lrobotikas.net/es/proyectos-educativos/54-general/85-la-robotica-como-apoyo-al-aprendizaje>

Inojosa, Nelson. (2007). Aplicación de la Robótica en las Carreras de Ingeniería en Universidades Públicas. *CITEG Revista Arbitrada*, Año I. N°2.

Lotfi Zadeh. (16 de Enero de 2013). *ABC.es Tecnología*. Obtenido de <http://www.abc.es/tecnologia/20130115/abc-lotfi-zadeh-bbva-201301151419.html>

Moreno, I., Serracín, J. R., Muñoz, L., Quintero, J., Pittí Patiño, K., & Quiel, J. (2012). LA ROBÓTICA EDUCATIVA, UNA HERRAMIENTA PARA LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS Y LA TECNOLOGÍAS. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, vol. 13, núm. 2, 2012, pp. 74-90.

Motos, j. L. (2013). *Robot rasteador con interfaz Bluetooth /Android*. Pamplona: Proyecto diseños y construcción de un robot seguidor de líneas.

WEDO, E. E. (Junio de 2013). *Ministerio de Educación del Perú-Lima Metropolitana*. Obtenido de Pontificia Universidad Católica del Perú y la empresa LEGO Education:

http://www.legovonbraun.edu.pe/robotica_educativa.php
www.lenguajes

