



Implementación del brazo robótico RACSu como estrategia didáctica en las asignaturas de ingeniería en UNICATÓLICA

CARLOS WILLIAM SÁNCHEZ, JHON EDWARD ORDÓÑEZ ÑAÑEZ

GRUPO DE INVESTIGACIÓN KHIMERA

Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería

Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium - UNICATÓLICA

Investigación terminada

INTRODUCCIÓN

El uso de herramientas tecnológicas de apoyo en el aula de clase es una metodología que ha tomado fuerza en los últimos años en el ámbito académico, particularmente en el universitario. Diferentes instituciones universitarias en el país han incluido en los programas académicos de sus asignaturas el uso de este tipo de ayudas tecnológicas. Esta inserción les ha permitido actualizar sus parámetros de enseñanza y han mejorado su oferta académica, tal es el caso de brazos robóticos, impresoras 3D, extrusoras, inyectoras, entre otras, que han dado un plus al proceso de enseñanza y han ampliado las expectativas y conocimientos de los estudiantes como futuros profesionales. En ese sentido, la Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium, una institución relativamente nueva, ha estado a la par de otras instituciones del entorno, insertando herramientas tecnológicas como Lego Educations y Fisher Technick en el aula de clase de su programa de ingeniería industrial buscando una formación integral de los estudiantes, no limitándolos al conocimiento teórico sino permitiéndoles experimentar en ambientes simulados los procesos de la producción industrial. Sin embargo, por diferentes motivos surge la necesidad de crear un entorno abierto, el cual permita la libertad del diseño de

procesos y un acercamiento a la realidad empresarial con una mayor interacción de los estudiantes con el proceso. De esta manera, se desarrolló el proyecto correspondiente al diseño y construcción de un brazo robótico de cinco grados de libertad denominado RACSu, elaborado a partir de elementos de hardware y software libre, con la intención de establecer la interacción estudiante/proceso industrial a través de una serie de prácticas o experiencias orientadas por el docente de la asignatura, para mejorar el proceso de aprendizaje y estar a la vanguardia de las demás instituciones de la región. Para cumplir con tal fin, se trazaron dos horizontes, la manufactura, basada en un proyecto de aula permite rediseñar y construir una parte del prototipo inicial. Mientras que a través de experiencias de laboratorio se pretende reforzar los conocimientos impartidos en asignaturas como métodos y tiempos, procesos industriales, entre otros. Por último, los resultados obtenidos fueron evaluados desde el aspecto académico con proyección al ser evaluados en la satisfacción del estudiante.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

¿Cómo acercar a los estudiantes universitarios de UNICATÓLICA a las nuevas metodologías de producción, así como a las tecnologías de manufactura avanzada a través de herramientas tecnológicas en el aula de clase?

La Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium ha incursionado en la formación de profesionales en el área de la Ingeniería Industrial, y dado que hoy en día se considera que el aprendizaje a través de la práctica es vital para la correcta adquisición de conocimientos y mucho más en el sector industrializado y tecnificado como el de las empresas modernas, se hace necesario el disponer de laboratorios equipados con herramientas tecnológicas que le permitan al estudiante explorar procesos propios de cadenas de producción y ensamblaje. A pesar de que se ha iniciado el proceso de adquisición de los equipos, no se cuenta con el direccionamiento adecuado hacia la aprensión del conocimiento como estrategia facilitadora del proceso de aprendizaje, permitiendo al profesional formado ser competitivo y estar a la par de estudiantes egresados de otras instituciones educativas de la región.

OBJETIVOS

Objetivo general

Implementar un brazo robótico como estrategia didáctica en la formación de conceptos y metodologías sobre manufactura avanzada en el aula de clase en UNICATÓLICA.

Objetivos específicos

- Determinar asignaturas donde la implementación de un brazo robótico tenga relevancia formativa.
- Establecer una metodología de aplicación del brazo de acuerdo al escenario académico a abordar.
- Aplicar la metodología junto con el brazo robótico en un ambiente formativo determinado a través de guías de apoyo.
- Evaluar la aplicación del brazo en el aula de clase determinando el impacto académico sobre los estudiantes.

REFERENTE TEÓRICO

La robótica pedagógica es una disciplina que tiene por objeto la generación de ambientes de aprendizaje basados fundamentalmente en la actividad de los estudiantes, por medio del desarrollo y la práctica de diferentes proyectos que permiten la resolución de problemas a nivel industrial, aplicando los métodos estudiados en la teoría y facilitando el aprendizaje [1-3]. Esta rama de conocimiento se ha desarrollado como una perspectiva de acercamiento a la solución de problemas derivados de distintas áreas del conocimiento como las matemáticas, las ciencias naturales y experimentales, la tecnología y las ciencias de la información y la comunicación, entre otras. Mediante estos procesos se generan ambientes de aprendizaje innovador donde se permite a los estudiantes simular fenómenos y mecanismos, diseñar y construir prototipos de sistemas productivos que permitan proponer soluciones aproximadas a la realidad.

La ISO tiene una definición de lo que es un robot, que es una ligera variación de la definición adoptada de Asociación de Industrias de Robótica (RIA, Robotic Industry Association). Dicha definición enuncia que un robot es lo siguiente: “Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular

materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas” (RIA, 2021). Según esta definición, el primer robot industrial fue construido por Griffith “Bill” Taylor en 1937. Una publicación relacionada a este desarrollo apareció en marzo de 1938 en *The MECCANO MAGAZINE*, con el título *AN AUTOMATIC Block-SETTING CRANE MECCANO Model CONTROLLED by A Robot UNIT*; el dispositivo fue denominado el robot Gargantúa, que fue construido casi en su totalidad con piezas Meccano y accionado por un único motor eléctrico. Cinco ejes de movimiento son posibles, incluyendo Grab y Rotación Grab. La automatización se logró mediante el uso de cinta de papel perforado para activar solenoides, lo que facilitaría el movimiento de las palancas de control de la grúa. El robot puede apilar bloques de madera en los patrones pre-programados. El número de revoluciones del motor requeridas para cada movimiento deseado se representa por primera vez en el papel de gráfico. Acto seguido, esta información se transfiere a la cinta de papel, que también es impulsada por el único motor del robot. En 1997 se realizó una réplica por Chris Shute.

En 1982 fue diseñada la mano robótica Stanford-JPL, la cual posee seis grados de libertad. Para brindarle precisión, cada dedo cuenta con articulaciones actuadas por alambres, recubiertos de teflón, y además posee cuatro servomotores para dar movimiento a cada dedo (Camargo et al., s.f). En 1984 fue desarrollada la mano robótica UTAH-MIT, la cual cuenta con características antropomórficas parecidas a las de la mano humana, este modelo permite una manipulación bastante precisa de los objetos, debido a las articulaciones que posee, las cuales funcionan con ayuda de un par de tendones que son operados por un cilindro neumático, esta mano posee tres dedos y un pulgar y cada dedo tiene cuatro grados de libertad (Camargo, et al., s.f).

Las manos robóticas actualmente diseñadas están siendo equipadas con gran cantidad de sensores táctiles de alta precisión, los cuales son distribuidos por todo el sistema, de tal manera que puedan proporcionar continuamente información sobre la magnitud y dirección de las fuerzas en los puntos de contacto entre la pinza (gripper) y el objeto con que se está interactuando (Camargo, et al., s.f).

Actualmente los manipuladores robóticos son ampliamente utilizados en los procesos industriales. Entre las tareas más comunes que éstos ejecutan se encuentran, el manejo de objetos calientes, peligrosos, muy pesados o en procesos monótonos (Camargo, et al., s.f). y en ambientes que comprometen la salud del operario (ambientes

con radiaciones o sustancias químicas peligrosas). Es de gran importancia, en el momento de diseñar este tipo de sistemas, que posean arquitectura abierta o modular, con el fin de que presenten adaptabilidad, y de esta manera los robots podrán realizar tareas de campo variadas. Para ejecutar de manera óptima las anteriores actividades, los manipuladores robóticos cuentan con una pinza o efector final, el cual es el encargado de ejecutar las tareas designadas. Al consultar el número de documentos publicados con relación al diseño de brazos robóticos respecto a distintos países a nivel mundial, se puede observar que Estados Unidos ocupa el primer lugar con alrededor de 3800 publicaciones, seguido por Japón con 2200 publicaciones y China con 1280 publicaciones, encontrando que el primer país latinoamericano es México con 240 publicaciones.

Desafortunadamente, las publicaciones asociadas a universidades representativas de Colombia como Universidad de los Andes, Universidad Nacional de Colombia y la Universidad del Valle, solamente reflejan un número de dos publicaciones sobre el tema, cada una, lo que permite identificar que es un campo de investigación que, si bien ha sido estudiado en otros países del mundo, para el caso de Colombia es un terreno propicio para la exploración de este tipo de tecnologías.

En el campo regional, encontramos que universidades de nuestro departamento como la Universidad Autónoma de Occidente, la Universidad del Valle, la ICESI, el SENA, entre otros, cuenta con este tipo de herramientas tecnológicas en el campo de la robótica que les permite a los estudiantes analizar los procesos industriales desde el punto de vista de la automatización y optimización. Los estudios en la Universidad Autónoma de Occidente en esta área se han desarrollado desde la carrera de ingeniería Biomédica y aisladamente en los grupos de investigación del área de materiales. En lo referente a la ingeniería biomédica se han desarrollado trabajos como: Diseño y construcción de una plataforma portátil para la medición de fuerza en estudios de biomecánica deportiva, diseño de un sistema de asistencia híbrida para bipedestación y marcha en personas con lesión de la médula espinal, desarrollo de estrategias que fomenten una cultura investigativa en los estudiantes de pregrado de Ingeniería Biomédica de la Universidad Autónoma de Occidente y un modelo de marcha simplificada aplicado a un robot bípedo.

Para el caso del grupo de Investigación en Materiales Avanzados para Micro y Nanotecnología (IMAMNT) encontramos que cuentan con proyectos como: “Diseño de

un Brazo Robótico para la Automatización del Proceso de Tratamiento de Materiales Sol Gel”, “Diseño e Implementación de Robot Paralelo para Posicionar Muestras de Estudio en Plano Vertical” y “Rediseño de Brazo Robótico para la Automatización de la Tecnología de Tratamiento de Materiales Sol Gel”. Aunque el propósito de la investigación en robótica en la Universidad Autónoma no se centra en la robótica industrial sino en el desarrollo de robots para propósitos especiales, los conceptos involucrados en los desarrollos son similares e implican un conocimiento común (López y Sosa, 2013).

La Universidad del Valle tiene entre sus grupos de investigación el Grupo de Investigación en Control Industrial (GICI) categorizado ante COLCIENCIAS. Cuenta en sus espacios con un robot industrial, tipo SCARA, de cuatro grados de libertad, con su unidad de potencia y control, con todo el equipamiento para la programación y ejecución de tareas y trayectorias y una mesa giratoria de dos grados de libertad con la electrónica correspondiente para programar tareas de taller o procesos de empaclado. Este grupo de investigación, además ha desarrollado proyectos como: “Modernización Tecnológica de los Ambientes de Aprendizaje del Área de Instrumentación y Control de Procesos Continuos Industriales del SENA”, “Entorno de aprendizaje basado en proyectos para sistemas de control”, “Plataforma de procesamiento distribuido con acceso remoto multiusuario y emulación de sistemas dinámicos para investigación y educación en ingeniería”, “Conformación de un ambiente para la experimentación en robótica industrial, de apoyo para la educación remota en ingeniería” y “Diseño y construcción de un exoesqueleto para rehabilitación asistida de pacientes con lesiones de rodilla” (López et al., 2014).

En el 2014 fue inaugurado el laboratorio de ingeniería industrial de la universidad ICESI, el cual cuenta con un brazo robótico que permite que los estudiantes aprendan a automatizar procesos; en este caso están haciéndolo por medio de simulaciones y operación real del brazo robótico en la estación estudiantil adquirida para tal fin. Este laboratorio se ha estructurado en cuatro espacios para el desarrollo de sus actividades constituyéndolo en uno de los más avanzados en procesos pedagógicos referentes al área de automatización y robótica de la región.

En particular, el construir un brazo robótico implica todo un reto de ingeniería que aporta al estudiante experiencia al adelantar un proyecto como este y conocimiento por la gran versatilidad de conceptos que convergen en la construcción del mismo,

tal y como se esboza en el trabajo de tesis de Bravo y Alonso (2014), en el que se implementó el sistema de control de un brazo robótico mediante el uso de hardware libre (plataforma Arduino), o en el trabajo de Aubin et al. (2006) que desarrollaron el proyecto ARMUS, un brazo robótico con el mismo procesador de la tarjeta de desarrollo ARDUINO, lo que les permite reemplazar una plataforma existente de enseñanza por una más versátil y poderosa, en cuanto a capacidad de cómputo y velocidad de ejecución.

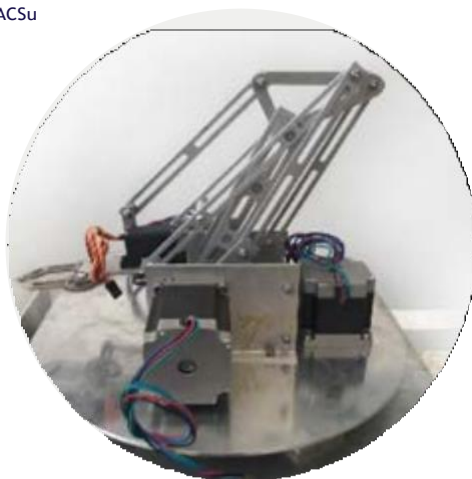
Como experiencia de desarrollo podemos citar el trabajo del grupo de Babikian et al. (2013) que desarrolló un kit robótico para los cursos de ingeniería Mecatrónica, este dispositivo posee cinco grados de libertad y puede cargar pesos del orden de los gramos; su acabado no es el de un dispositivo industrial, pero describe el funcionamiento de un brazo robótico al poder programarse para realizar tareas de automatización. El trabajo de Kafuko et al., (2015), quienes diseñaron un brazo robótico para enseñanza de diseño integrado, con el cual impactaron positivamente los procesos de enseñanza no solo en el área de la ingeniería sino en la del diseño, para el que usaron el brazo como pincel a manera de impresora 3D.

Otra posibilidad es usar el brazo robot como herramienta de remoción de material de un bloque, de manera que se revele en este una pieza que puede ir en un material polimérico, madera o metal, para lo cual solo cambiaría el aditamento que ejerce el proceso de remoción, esto brinda una más rica posibilidad creativa al tener acceso a un mayor grado de libertad en el proceso de maquinado de la pieza. El uso de programas CAD para programar trayectorias del robot permite acelerar los procesos de aprendizaje de las trayectorias, a recorrer el mismo aumentando su dinamismo y eficiencia, este es otra área en la que se puede explorar este desarrollo. En el trabajo de Gutiérrez Ortega y Hernández Rodríguez (2014) se realizó un sistema de lectura del movimiento mecánico humano. Para su réplica, ajustada a un prototipo de brazo robótico se explora la posibilidad de realizar con el sistema a desarrollar un mecanismo de asistencia para personas con problemas de movilidad que a futuro puedan tener con un brazo robótico una herramienta que brinde independencia y posibilidades laborales.

El Brazo robótico RACSu (Serrano y Blázquez, 2016), ver Figura 1, presenta 5 grados de libertad y características funcionales que permiten aplicarlo en el aula de clase o en general en espacios pequeños, ya que sus dimensiones no superan 1 m de

largo por 0.6 m de ancho y 0.4 m de altura, además, como fue construido en base a hardware libre, su actualización no presenta inconvenientes en cuanto a licencias, haciendo posible todo un sistema a desarrollar, actualizar y mejorar. El programa de manipulación está desarrollado en el lenguaje de programación arduino que permite la manipulación del mismo, pero que implica conocimientos básicos de programación para establecer operaciones automatizadas con el mismo.

Figura 1. Brazo robótico RACSu



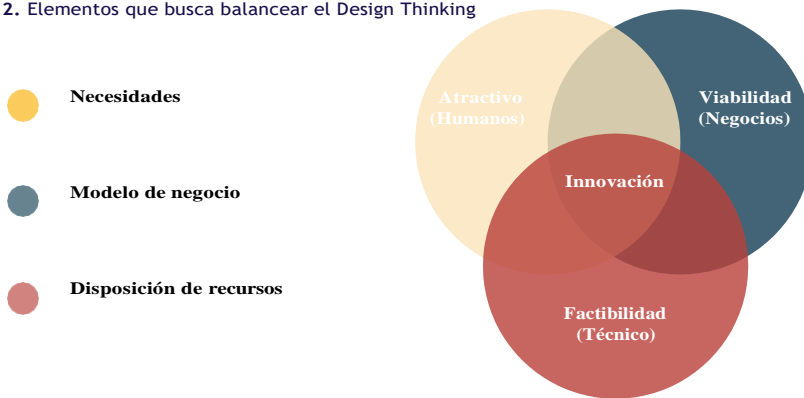
Es por esto por lo que se requiere desarrollar una interfaz GUI, que permita una interacción más intuitiva con el hardware. Es claro que este brazo robótico no solo proporciona una herramienta de selección o monitoreo de una línea de ensamblaje, sino que es una herramienta que puede brindar muchas posibilidades de implementación en áreas multidisciplinarias dentro de la UNICATÓLICA, a la vez que puede sedimentar en los estudiantes conocimientos y metodologías como las de pensamiento de diseño, *DESIGN THINKING*, prototipado y desarrollo innovador.

Pensamiento de diseño (Design Thinking)

La metodología del pensamiento de diseño es un proceso creativo en torno a la generación de ideas que permite balancear las necesidades de las personas (clientes) con la viabilidad técnica y la viabilidad económica. Esta metodología busca la proliferación de ideas que conduzcan a altos niveles de innovación (ver Figura 2). Una metodología planteada por Tim Brown en su revisión del año 2008 (Babikian et al., 2013), donde aborda estos conceptos buscando incentivar a los

generadores de productos en no caer en lo funcional y repetitivo, que a futuro genera un agotamiento del cliente al tener este que acoplarse al producto y no a los productos a satisfacer las necesidades reales del cliente. La aplicación de RACSu en áreas como el diseño asistido por computador se busca que vayan acompañadas de este tipo de metodologías que tiene el propósito de cambiar el paradigma de desarrollo de productos y/o proyectos, generando en el estudiante potencialidades que lo diferencien, brindándole una ventaja competitiva laboral.

Figura 2. Elementos que busca balancear el Design Thinking



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA.

MARCO REFERENCIAL

El proyecto se realizó teniendo como foco de aplicación los laboratorios de docencia de la Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium, en sus sedes Pan- ce, en el laboratorio LAB3i y el Laboratorio de Meléndez de Desarrollo de Software. Ambos ubicados en el sur de la ciudad de Cali.

METODOLOGÍA

La metodología de desarrollo del proyecto es establecida por fases distribuyendo las actividades a realizar de la siguiente manera:

- Análisis de currículo académico para determinar en qué asignaturas es relevante la aplicación del brazo robótico como herramienta de apoyo en el aula.
- Estructuración de una metodología basada en prácticas guiadas o proyectos de aula que permitan aportar a la formación de los estudiantes.

- Desarrollo de herramientas complementarias para la aplicación de la metodología asumido para la aplicación del brazo en el aula (desarrollo de documentación, metodología y ajustes en aplicaciones de software que facilite el proceso).
- Aplicación mediante pruebas piloto del brazo robótico en el aula de clase.
- Evaluación de la aplicación del brazo robótico en el aula mediante procesos de indagación.
- Documentar las experiencias en informes de investigación y artículos, productos de la investigación.

Estrategia de financiación

Este proyecto fue soportado en su totalidad por la Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium.

Productos esperados

- Artículo de investigación en revista indexada ante COLCIENCIAS o SCIMAGO.
- Artículo de resultados de investigación en revista LUMEN.
- Informe resultados de investigación.
- Registro de software GUI para RACSu que facilita la interacción humano-computador.
- Trabajo de grado acerca del software GUI a desarrollar.
- Trabajo de grado acerca de la implementación del brazo RACSu en el aula de clase.
- Certificado en evento nacional.
- Certificado en evento de semilleros.
- Documento propuesto de investigación.

Innovación del proyecto

Este proyecto tenía como propósito llevar al laboratorio, y de esa manera a los estudiantes de ingeniería de UNICATÓLICA, la posibilidad de tener enfrente un sistema automatizado que emula sistemas industriales, en este caso un robot de 5 grados de libertad que le permite a los estudiantes interactuar con este tipo de mecanismos a la vez que pueden aprender de elementos asociados a su funcionamiento como son: distribución de planta, señalética asociada a la operación del dispositivo y a elementos de SST que deben establecerse en los espacios de trabajo para que la operatividad del brazo se haga de forma segura, tanto para los estudiantes como para los instructores.

La implementación de guías que permitan sacar el mejor provecho del dispositivo permitió además explorar elementos de generación de ideas novedosas como lo son el pensamiento de diseño, lo cual constituye un paradigma innovador que puede ser aplicado en muchos ámbitos industriales y empresariales.

Resultados alcanzados

- 2 capítulos de libro en publicaciones de la editorial del Instituto Antioqueño de Investigación, publicados en 2020.
- 1 artículo de resultados de investigación en revista LUMEN, 2020.
- Informe resultados de investigación, entregado en 2020.
- Registro de software GUI para RACSu que facilita la interacción humano-computador, en proceso de obtención.
- Trabajo de grado acerca de la interfaz de comunicaciones entre el hardware y el software, finalizado en diciembre de 2020. Estudiantes se graduarán en 2021.
- Trabajo de grado acerca del desarrollo de la GUI con criterios de usabilidad, finalizado en diciembre de 2020. Estudiantes se graduarán en 2021.
- 2 certificados en Inngenio 2020, eventos nacionales.
- Certificados en eventos de semilleros.
- Documento propuesto de investigación, presentado en 2020 y aprobado para su inicio en el primer semestre de 2021.

Impactos del proyecto

Aunque el proyecto buscaba impactar a la comunidad de UNICATÓLICA, específicamente a los nuevos estudiantes de ingeniería de la Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería mediante el acercamiento a tecnologías del mundo, se encontró que puede ser usado como elemento introductorio a metodologías de innovación como el pensamiento de diseño en estudiantes de semestres superiores.

Además, se observa que el brazo robótico RACSu puede ser aplicado en ámbitos donde la estimulación por el estudio de las ingenierías (con una visión de la metodología STEM - Science Technology Engineering and Mathematics) se encuentre dentro de su currículo. Esto permitió que colegas en la Facultad formularan un proyecto que busca acercar este dispositivo a colegios, instituciones de educación tecnológica, entre otras. Este proyecto está planeado para comenzar en el segundo semestre de 2021.

CONCLUSIONES

Finalmente, se concluyen los siguientes aspectos:

- El diagnóstico, la comunicación y la estructuración de un plan adecuado de SST constituye un elemento fundamental para la implementación del brazo de forma segura en el aula (laboratorios de ingeniería). A la vez que permite establecer una base segura de ejecución de elementos de aprendizaje de ingeniería, no solo desde la operatividad sino desde la ejemplificación del espacio en forma similar a los ambientes industriales.
- La generación de guías para la utilización de un dispositivo generado por el semillero de investigación con el propósito de que sea utilizado como una herramienta de clase, permite brindar información e idea de cómo utilizar el dispositivo en las diferentes asignaturas, teniendo en cuenta el contenido programático de materia.
- El desarrollo de guías para una herramienta de manufactura avanzada permite tocar diferentes temáticas relacionadas con los procesos de manufactura y también con los de innovación permitiendo la introducción de metodologías como el pensamiento de diseño.
- Los elementos de usabilidad introducidos al software implementado consideraron de primera mano al usuario constituyendo una interfaz intuitiva que permiten la fácil adaptación a su uso, fundamental si se busca emplearlo en estudiantes de primeros semestres o estudiantes de secundaria.

RECOMENDACIONES

Es importante que productos desarrollados en UNICATÓLICA como el brazo robótico RACSu sean estructurados como productos comerciales por la institución y una propuesta para esto es establecer un SPIN OFF alrededor de él y de otros productos que pueden estructurarse como un proyecto comercial. Claro está que esto requiere de la voluntad institucional mediante el apoyo a procesos de investigación que hagan esto posible, en la medida en que se establezcan proyectos que permitan darle ese acabado final a los productos y nuevas implementaciones y actualizaciones al mismo.

REFERENCIAS

- Alonso, F y Bravo, M. (2014). *Diseño, CONSTRUCCIÓN y CONTROL de UN BRAZO robótico* [tesis de pregrado, Universidad San Francisco de Quíto, Colegio de Ciencias e Ingeniería].
- Andrade Zeas, D. M. y Zúñiga, D. A. (2011). *Diseño y Construcción de una mano robótica para la enseñanza del alfabeto dactilológico universal para personas sordomudas* (tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca).
- Avilés Sánchez O. F., Leon Simanca P. y Calle T. G. (2005). Dedos para grippers robóticos. *SCIENTIA et TECHNICA*, 11(27), pp. 97-103, 2005.
- 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*, pp. 1-34.
- Aubin, J. M., Bulota, M., Gauthier, J., Marchand, P.-A. Savard, V., Simard-Bilodeau, J.-L., Ratté-Boulianne & Michaud, F. (2006). *ARMUS, ARM Robotic PROCESSING System for EDUCATIONAL Purposes*. In Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Orlando, Florida, USA. pp. 351-356, IEEE.
- Babikian, W. S., He, S. and Rahemi, H. (2013). *DEVELOPING A Robotic Kit for MECHATRONIC ENGINEERING EDUCATION*. In proceedings of 120th ASEE Annual Conference & Exposition, Paper ID 7962, 23-26.
- Barrientos, A., Peñin, L. F., Balaguer, C. y Aracil, R. (1997). *FUNDAMENTOS de ROBÓTICA*. Mc. Graw-Hill.
- Brown, T. (2008). Design Thinking. *HARVARD BUSINESS Review*, 86(9), pp. 62-72.
- Boubekri, N. & Chakraborty, P. (2002). Robotic grasping: gripper designs, control methods and grasp configurations. *INTEGRATED MANUFACTURING Systems*, 13(7), pp.520- 531.
- Cabrera, O. L. (1996). La Robótica Pedagógica. *SOLUCIONES AVANZADAS*, (40), pp. 1-7.
- Escallón, V. (2014). *UNIVERSIDAD ICESI INAUGURA LABORATORIO de INGENIERÍA INDUSTRIAL*. [Online]. Cali: Universidad ICESI Disponible en: http://www.icesi.edu.co/egresados/universidad_icesi_inaugura_laboratorio_de_ingenieria_industrial.php
- Grupo de investigación en Ingeniería Biomédica, GBIO. (s.f). *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA de OCCIDENTE*. [Online] Disponible en: <http://www.uao.edu.co/investigacion/grupos-de-investigacion/f-ingenieria/gbio/inicio>
- Gutiérrez Ortega, R. D. and Hernández Rodríguez, C. (2014). Construcción de un sistema de lectura del movimiento mecánico humano para su réplica ajustada a un prototipo de brazo robótico. *Universita Ciencia. REVISTA ELECTRÓNICA de INVESTIGACIÓN de LA UNIVERSIDAD de XALAPA*, 3(8), pp. 71-94.
- Kafuko, M., Singh, I. and Wanyama, T. (2015). *DESIGN OF A Robotic Arm For TEACHING INTEGRATED DESIGN*. Proc Canadian Engineering Education Association (CEEA15) Conf., Paper ID 0009, McMaster University.
- Lockwood, T. (2010). *Design Thinking: Integrating Innovation, Customer Experience, and Brand Value*, Allworth press, US.

- Ramírez, J., Arango, G., Buitrago, J., Hoyos, A., Barona, L. y Salas, V. (2018). *MARCHA ASISTIDA CON UN exoesqueleto: PLATAFORMA CAMINADORA*. [Online] Cali. Universidad del Valle. Disponible en: <http://gici.univalle.edu.co/WEB-Exoesqueleto/Proyectos.html>
- Odorico, A. H. (2005). La robótica desde una perspectiva pedagógica. *REVISTA de INFORMÁTICA EDUCATIVA y Medios AUDIOVISUALES*, 2(5), pp. 33-48. 2005.
- Quinayás, C. A. (2010). *Diseño y CONSTRUCCIÓN de UNA prótesis ROBÓTICA de MANO FUNCIONAL ADAPTADA A VARIOS AGARRES* (tesis de maestría, Universidad del Cauca).
- Serrano, M. y Blázquez, P. (2016). *DESIGN THINKING: lidera el PRESENTE: CREA el futuro*. Editorial Alfaomega colombiana, ESIC.
- Ramírez, J., Arango, G., Buitrago, J., Hoyos, A., Barona, L. y Salas, V. (2018). *MARCHA ASISTIDA CON UN exoesqueleto: PLATAFORMA CAMINADORA*. [Online] Cali. Universidad del Valle. Disponible en: <http://gici.univalle.edu.co/WEB-Exoesqueleto/Proyectos.html>
- Rivera, J.D. (2019). *Diseño de un brazo robótico como herramienta para el apoyo en la formación de estudiantes de UNICATÓLICA*, tesis de pregrado, Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium, Santiago de Cali, Colombia.
- Yousef, H., Boukallel, M. & Althoefer, K. (2011). Tactile sensing for dexterous in-hand manipulation in robotics. *SENSORS AND ACTUATORS A: PHYSICAL*, 167(2), 171-187.

COMENTARIOS DEL EVALUADOR

Evaluador: Mario Alejandro Millán Franco

En realidad, a lo largo de toda la presentación todo el estudio que presentaron, porque fue un grupo de trabajo grande que dispuso de mucho tiempo para la implementación, parece que los objetivos del proyecto se cumplieron a cabalidad y de antemano los felicito, de hecho, tiene muchísimas perspectivas el brazo robótico debido a que la industria en Colombia y en el mundo tiende a irse para otras áreas, que es la parte dirección de equipos de forma remota. Me parece muy bien para la enseñanza de los estudiantes y para animarlos a interactuar con este tipo de dispositivos, debido a que las industrias van a estar en constante manejo e implementación de este tipo de dispositivos. Sobre todo, me parece muy bien que se esté implementando en diferentes cursos para los estudiantes, me parece muy bueno el proyecto. Hay algo que hay que resaltar y es que a los estudiantes este tipo de iniciativas o de proyectos, les permite tener un mejor acercamiento en la industria para que puedan saber qué deben de hacer al momento de estar en un problema industrial y que eso se puede solucionar con robots como este.

Me parece muy bien el objetivo del proyecto, que fue hacer una interconexión entre la teoría y la práctica para los estudiantes y poderlos contactar a nivel industrial. Es de muchísimo agrado que los estudiantes de diferentes áreas como Ingeniería Industrial e Ingeniería de Sistemas empiecen a hacer una sinergia para promover su conocimiento y generen este tipo de proyectos, me parece muy bueno.

Tengo una sola sugerencia, sería de vital importancia que el equipo se registrara lo antes posible, para que tanto ustedes como investigadores, profesores y estudiantes y la universidad estén cubiertos bajo el registro, porque es un proyecto bastante amplio que se puede escalar no solo a diferentes carreras, sino a muchas universidades del Valle del Cauca o de Colombia e incluso el mundo, porque eso es lo que le permite a los estudiantes mejorar ese tipo de experiencias.

De igual manera, solo tengo una pequeña duda y es: usted muestra que hay diferentes formas de enseñanza que es el Lego, el "PLC" y ahorita nos está mostrando una especie de programación a partir de Arduino, pero mi pregunta es: en la gran mayoría de las empresas utilizan "PLC's", ¿Qué le permitiría este nuevo diseño a una empresa o a un estudiante el incorporarse con este tipo de proyectos?