

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Automatización de procesos
Recibido: 10/08/19 | Aceptado: 10/11/19 | Publicado: 22/11/19

Metodologías para diseño de prácticas didácticas en sistemas de control

Methodologies for design didactic activities in control systems

Daniela Oralia Rocha Morelos^{1*}, Camilo Morales Corral², Israel Soto Marrufo³, Vianey Torres-Arguelles⁴, Ivón Oristela Benítez González⁵

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Instituto de Ingeniería y Tecnología. Av. del Charro s/n, Omega, Cd. Juárez, Chih. CP.: 32584 rocha_daniela@hotmail.com

² Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Instituto de Ingeniería y Tecnología. Av. del Charro s/n, Omega, Cd. Juárez, Chih. CP.: 32584 camilomc86@gmail.com

³ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Instituto de Ingeniería y Tecnología. Av. del Charro s/n, Omega, Cd. Juárez, Chih. CP.: 32584 angel.soto@uacj.mx

⁴ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Instituto de Ingeniería y Tecnología. Av. del Charro s/n, Omega, Cd. Juárez, Chih. CP.: 32584 vianey.torres@uacj.mx

⁵ Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”. Calle 114 #119010/ Ciclovía y Rotonda. Marianao, La Habana, Cuba. CP.:19390 ivonoristelabg@gmail.com

* Autor para correspondencia: rocha_daniela@hotmail.com

Resumen

Dada la evolución de la tecnología de sistemas de control, microelectrónica e informática de los últimos años, el desarrollo de productos es cada día más complejo; esto marca la necesidad de metodologías para el desarrollo de dichos sistemas, que además contribuya a la integración de la enseñanza del conocimiento teórico y práctico. Dado lo anterior, el objetivo del presente trabajo es revisar las diferentes metodologías en diseño mecatrónico reportadas en la literatura, con el fin de establecer un modelo óptimo que permita transmitir el conocimiento práctico y teórico en áreas de estudio tan complejas como los sistemas de control. En este estudio se utilizó la metodología de revisión sistemática de literatura, así como el análisis de diversos documentos para la recolección de información relevante de las metodologías existentes, las cuales ayudaron a comprender y enriquecer el estudio que se presenta. Finalmente se establecen conclusiones donde a partir de las características analizadas se propone una combinación de metodologías las cuales buscan potenciar la correcta enseñanza a través de la aplicación de la metodología en los procesos de diseño de sistemas de control, favoreciendo la comprensión de conceptos. Esta metodología se plantea como base para el desarrollo de un dispositivo para prácticas de control.

Palabras clave: *Transferencia de conocimiento, sistemas educativos, sistemas de control, metodologías educativas.*

Abstract

Due to the revolution in the progress of microelectronics and computer science, also in the development of more complex products each day, with more applications and more frequent modifications to design each time, the complex and multidisciplinary nature of these products can be defined like modern mechatronics systems, which demand synergy between different engineering disciplines, science and a high focus in synthetization. Different investigators have proposed methodologies for teaching and development of these systems for a correct integration and teaching from the theory to the practical, therefore, the objective of this work is to review the different methodologies previously established in order to establish an optimal model to achieve the successful transfer of technology. In this study the systematic review methodology and the analysis of various documents were used for the collection of relevant information of the existing methodologies, which helped to understand and enhance this study. Finally, the conclusions are established were a methodology is proposed that seeks to potentiate the correct transfer at the educational level, enabling the participants in the process and generating a better understanding of engineering concepts more specifically in the area of control systems.

Keywords: *knowledge transfer, education systems, control systems, educational methodologies.*

Introducción

El desarrollo de productos mecatrónicos, como los sistemas de control, es cada día más complejo. Esto debido al progreso revolucionario en la microelectrónica e informática, cuyo desarrollo de aplicaciones y modificaciones de diseño es también más frecuente; y, dada su naturaleza, define a estos sistemas como complejos, por lo tanto, exige sinergias entre varias disciplinas de ingeniería, requiriendo una alta integración del conocimiento (Wang et al., 2009). La ingeniería mecatrónica es una disciplina que desafía el pensamiento y las prácticas tradicionales de la ingeniería y el desarrollo tecnológico (Yu et al., 2013). Y se origina en la corporación de Yaskawa, que propone la combinación de la mecánica y electrónica; actualmente, los sistemas mecatrónicos integran la electrónica, partes mecánicas y procesos de información (Zheng et al., 2014). Esta ingeniería ha atraído la atención a una gran parte de estudiantes universitarios ya que en este campo se enfatiza el pensamiento multidisciplinario, la integración de productos y sistemas; donde además, a través de la investigación científica en universidades y empresas se ha incrementado el desarrollo de productos (Chen, Li y Wang, 2014). Para obtener la capacidad para desarrollo de productos, un ingeniero mecatrónico requiere, además del conocimiento teórico, experiencia práctica en el proceso de diseño mecatrónico (Yu et al., 2013). Esto debido a que el diseño de sistemas mecatrónicos, que están conformados por múltiples componentes, requiere de la realización de actividades simultáneas para el diseño integrado de dichos componentes (De Silva y Behbahani, 2013).

De ahí que, la demanda de conocimiento integral en la formación mecatrónica, desde una perspectiva industrial incluyen, requiere de (1) habilidades básicas en todas las disciplinas relevantes; (2) técnicas de diseño funcional y arquitectónico; (3) métodos de modelado y simulación, y (4) experiencia en gestión de proyectos y trabajos en equipo (Yu et al., 2013). La mecatrónica inicia con la investigación de la teoría de control hasta el diseño, la creación y el desarrollo de aplicaciones de prototipos. Los temas de investigación en esta área incluyen el estudio de sistemas de amortiguación, sistemas de control predictivo, óptimo y sistemas robustos, redes neuronales para el control e identificación, sensores, actuadores, y visión, entre otros campos de estudio, que además están en constante cambio (Chen, Li y Wang, 2014). El elemento clave para el éxito de un programa de educación en ingeniería en Mecatrónica está directamente relacionada con la estructura del curso de diseño de sistemas en mecatrónica, así como con la metodología de diseño aplicada (Salem, 2013). Para lo cual es necesario llevar a cabo una serie de pasos estructurados basados en un método sistemático, lo que lleva a alcanzar un resultado teóricamente válido (Sharma et al., 2016). Esto debido a que las metodologías orientan la manera en la que se realizará una investigación y define la forma en la que se recolectan, analizan y clasifican los datos, con el objetivo de lograr resultados pertinentes y válidos cumpliendo con los estándares de exigencia científica. Estas metodologías proponen criterios que, al hacer cambios en la forma de enseñar el uso y aplicación de la tecnología, ofrece a los estudiantes las competencias necesarias, a través de lo cual se genera un impacto en el grado de incorporación tecnológica de la educación a la industria (Melamed y Miranda, 2016).

En los últimos años, las metodologías de diseño mecatrónico han atraído la atención de investigadores (Behbahani y de Silva, 2008; Hehenberger, 2014; Yu et al., 2018), debido a la complejidad de los objetivos y las características a cumplir, dando como resultados metodologías diseñadas para la enseñanza de conceptos mecatrónicos o metodologías para el diseño de productos. En relación con lo anterior, este artículo tiene como objetivo hacer una revisión literaria de metodologías para el desarrollo de sistemas mecatrónicos con la finalidad de establecer cuál es la mejor guía metodológica para el desarrollo de dispositivos prácticos para la enseñanza de conceptos de sistemas de control. El desarrollo de este artículo se presenta de acuerdo con el siguiente orden: (1) Se establece un método de revisión sistemática de la literatura basado en metodologías utilizadas para la enseñanza enfocada a la ingeniería mecatrónica; (2) se realiza la discusión de la información recabada; (3) se propone un modelo de gestión constituido por factores que permiten potencializar la correcta transferencia del conocimiento sobre los sistemas de control a nivel educativo, favoreciendo la adquisición de conocimiento teórico y práctico, propiciando una integración de conceptos en el área de sistemas de control, además se dejan líneas de reflexión para su posterior estudio desde una perspectiva cultural, social, política y económica, entre otras.

Métodos

Se utilizó una revisión sistemática de diferentes tipos de documentos como: artículos científicos, revistas, libros de metodología educativa entre otros, como técnica de exploración y análisis para la recolección de información relevante sobre las metodologías existentes; utilizando la información más actualizada, considerando las bases de datos con mayor publicación de información del tema de interés. Para la búsqueda de información se empleó la base de datos Google Scholar, la base de datos de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), BIVIR en donde revisaron 53 artículos. Con el fin de dirigir la búsqueda en un área definida, la mayoría de los textos seleccionados para la realización de esta revisión de literatura fue con el enfoque de metodologías desarrolladas para usarse en el área de ingeniería mecatrónica. Debido a que una de las áreas primordiales de esta ingeniería es la de sistemas de control, como resultado se obtuvo mayor cantidad de artículos en la base de datos de ELSEVIER. Mediante una técnica comparativa se sintetizó la información relevante lo que permitió establecer los pasos o guías necesarios para crear la metodología propuesta en este documento.

Desarrollo

Aprender y enseñar el área del conocimiento de control, particularmente dirigido a la industria, y automatización es una tarea difícil por diversas razones como: el rendimiento del control depende de varios factores inesperados como las saturaciones de entrada y salida del actuador, problemas de calor, limitaciones de los componentes mecánicos y los parámetros del diseño mecánico (Jung et al., 2016), además de la necesidad de conocimiento multidisciplinario, que abarque desde las matemáticas y la física hasta la informática y la programación lógica, incluyendo sensores, actuadores e ingeniería de accionamientos eléctricos y mecánicos (Magalhães, Riera y Vigário, 2010). El conocimiento adquirido en la etapa formativa tiene que ofrecer al beneficiario la capacidad de resolver problemas relacionados con su área de estudio (Chen et al., 2012). El aprendizaje efectivo de un tema que requiere la dosis adecuada de la abstracción y asimilación de contenidos, así como la integración de la teoría y la práctica es un requisito importante en el control industrial y la capacitación en la automatización, por tanto, los estudiantes deben dominar características funcionales y procedimientos operativos del equipo de soporte (Magalhães, Riera y Vigário, 2010). Sin embargo, el avance recurrente en la tecnología de los sistemas de control requiere de una actualización constante en los conocimientos, así como del desarrollo de habilidades avanzadas (Moulianitis, Zachiotis y Aspragathos, 2018). Una de las habilidades requerida a los profesionistas del área de mecatrónica es el diseño de sistemas. De ahí que, en los últimos años se han desarrollado diversas metodologías para el diseño de sistemas mecatrónicos, cada una de las metodologías plantean actividades específicas, de acuerdo a las necesidades del sistema

a desarrollar. En la Tabla 1 se presentan

Nombre Documento	Concepto	Ideas Principales de la metodología propuesta
<p>Mechatronics education at CDHAW of Tongji University: Laboratory guidelines, framework, implementations and improvements (Wang et al., 2009).</p>	<p>Establecer un laboratorio desarrollado con la finalidad de preparar a los estudiantes con las problemáticas que tienen las industrias.</p> <p>Emplearon una metodología de cuadrantes con las demandas que debe cumplir los estudiantes mecatrónicos donde la palabra clave es <u>integración</u>.</p>	<p>IA-Disciplinas Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Hidráulica, Programación, Teoría de Control, entre otras.</p> <p>IIA-Proceso Diseño, Modelado, Análisis, Simulación, Manufactura, Prototipos, Pruebas, entre otras.</p> <p>IB-Herramientas CAD, CAE, CAM, PLM, FEA, UG NX, Labview, Simulink, Patran, entre otras.</p> <p>IIB-Bloques Sensores, Actuadores, Controladores, PLC, Sistemas Embebidos, Mecanismos, entre otros.</p>
<p>Use of hierarchical system technology in mechatronic design (Miatliuk et al., 2010).</p>	<p>El documento sugiere un mecanismo para utilizar nuevas tecnologías de la información en el diseño de sistemas mecatrónicos.</p>	<p>La tecnología de la información de los sistemas de diseño debe permitir la construcción de sistemas mecatrónicos seleccionando unidades de niveles inferiores resolviendo sus interacciones para optimizar la actividad de los sistemas a mayor nivel y con cierto grado de incertidumbre y modificación de las estrategias para la resolución de problemas de diseño cuando se elimina la incertidumbre.</p>
<p>A mechatronics control engineering class at Beihang University, China: Practicing and exploring (Chen et al., 2012).</p>	<p>Describen el funcionamiento de la metodología aplicada en la enseñanza mecatrónica en la universidad de Beihang.</p>	<p>La metodología se basa en una línea principal, dos enlaces y tres puntos prácticos, enfatizando los enlaces y las relaciones entre la teoría y la práctica, con un enfoque de enseñanza basado en proyectos.</p>
<p>Project based learning in mechatronics education in close collaboration with industrial: Methodologies, examples and experiences (Wang et al., 2012).</p>	<p>Se habla de la filosofía Proyectos enfocados a la enseñanza por sus siglas en inglés PBL, su implementación en la educación de ingeniería en china.</p>	<p>PBL es orientada al diseño ocupando los conocimientos y problemas prácticos de construir y diseñar sobre la base de una síntesis de conocimiento de múltiples disciplinas con la finalidad de saber el por qué, uso del conocimiento relevante y análisis de la disciplina principal del cual deriva, el trabajo en equipo es fundamental en esta herramienta ya que la mayoría de las problemáticas que se resuelven en el área ingenieril debe ser solucionado de esa manera.</p>

<p>A design paradigm for mechatronic systems (De Silva y Behbahani, 2013).</p>	<p>Aplicación basada en el cociente de diseño mecatrónico por sus siglas en inglés (MDQ) para el diseño sistemático de un sistema mecatrónico.</p>	<p>Se justificó que un diseño mecatrónico podría ser jerárquicamente separado en el diseño topológico y diseño paramétrico y además estructurado en una jerarquía de varias capas. El acoplamiento dinámico entre varios componentes de un sistema multi-dominio dicta que un diseño preciso requiere un enfoque integrado en lugar de diseñar los aspectos de diferentes dominios (mecánico, eléctrico, fluido y térmico) por separado y secuencialmente.</p>
<p>A proposed approach to mechatronics design education: Integrating design methodology, simulation with projects (Yu et al., 2013).</p>	<p>Desarrollan una propuesta de metodología que busca la integración de varias áreas como diseño, simulación (la verificación del diseño) y las implementaciones físicas en el desarrollo de productos o sistemas mecatrónicos.</p>	<p>Esta metodología toma todos los componentes que influyen en la realización de los proyectos mecatrónicos y los integra cuando ambas partes están realizadas correctamente. Donde los componentes principales son: La especificación del proyecto el cual se divide en subsistemas de la metodología los cuales son; El modelo funcional, el diseño conceptual, detalles del diseño y el prototipo físico se divide en Sistemas de integración, subsistemas de integración, componentes de investigación y al final de que ambos componentes principales funcionan correctamente se integran formando el sistema mecatrónico, el modelo y la simulación del mismo.</p>
<p>Perspectives on hierarchical modeling in mechatronic design (Hehenberger, 2014).</p>	<p>Realizan una visión general de las técnicas de modelado jerárquico asegurando que el funcionamiento de esta metodología solo aplica a los modelos que tengan diferentes vistas de un sistema, así como varios grados de detalle.</p>	<p>Se divide de la siguiente manera: -Diseño orientado a funciones, -Nivel de abstracción, -Modelo de la arquitectura, -Modelo basado en perspectiva, -Desarrollo diseño impulsado por la propiedad, y -Resumen.</p>
<p>A multi-disciplinary modeling technique for requirements management in mechatronic systems engineering (Hackenberg, Richter y Zäh, 2014).</p>	<p>Modelo originalmente desarrollado para el desarrollo de programas y sistemas embebidos. Tiene como principio el modelo basado en el desarrollo y los requerimientos administrativos en sistemas mecatrónicos.</p>	<p>Divide el sistema en cuatro componentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Escenarios. Manera gráfica donde se asignan los componentes para definir los casos de prueba. • Funciones. Puede ser anexado en términos de estados de máquina donde se definen las secuencias de actividades de implementación tardía hasta la completa. • Descomposición. Decide cual rama o área disciplinaria específica es necesaria. • Geometría. Pueden se dibujan las interfaces de materiales o la representación física de un componente.

<p>Methodology for the identification of potentials for the integration of self-optimization in mechatronic systems (Anacker et al., 2014).</p>	<p>Menciona que los sistemas mecatrónicos futuros son sistemas con inteligencia parcial inherente por lo tanto es necesario desarrollar una metodología con auto-optimización esta describe la capacidad de un sistema técnico para adaptar sus objetivos de manera endógena con respecto a las influencias cambiantes y, por lo tanto, adaptar el comportamiento del sistema.</p>	<p>Se dividen en las siguientes fases:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modelado del sistema. Se integra el contexto y la estructura activa con el fin de asegurar que el sistema final trabajará apropiadamente. • Análisis de fallas del sistema. Identifica el potencial de fallas que pudiera tener la auto-optimización de una manera sistemática. • Identificación técnica. Es el requisito previo para una reacción autónoma al entorno cambiante, se revisan las propiedades de los componentes del sistema a utilizar. • Adaptabilidad. Después de la identificación de las oportunidades para detectar fallas o disturbios del sistema actual, en esta fase el desarrollador definirá las medidas preventivas y reactivas, permitiendo un análisis de la situación actual para definir cuál será la situación final del sistema.
<p>Mechatronic Design Process: A Survey of Product Data Model (Zheng et al., 2014).</p>	<p>Describe tres diferentes modelos de productos existentes para la creación y diseño de sistemas mecatrónicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • STEP por sus siglas en inglés Estándar por cambio de producto. Metodología utilizada para establecer los requerimientos que tiene un producto en todo su ciclo de vida. • Modelo de producto central por sus siglas en inglés CPM. Se basa en dos principios en el objeto clave que representa la entidad de un producto y en los aspectos principales del sistema: Función, Forma y Comportamiento. • Metodología y Herramientas Orientado al Conocimiento por sus siglas en inglés Moka. Apoya el despliegue de la aplicación de la Ingeniería basada en el conocimiento por sus siglas en inglés KBE donde los cinco componentes principales básicos para construir el modelo del producto son: estructura, función, comportamiento, tecnología y representación. • Producto-Proceso-Modelo de Organización por sus siglas en inglés PPO. Describe la información del producto donde los componentes

		<p>principales son: componente, interfaz, función y comportamiento.</p> <p>Los diferentes modelos de productos permiten ser realizados con los sistemas mecatronicos, y concluyen que puede ser el futuro de las metodologías para estos sistemas.</p>
<p>Education, Knowledge and Innovation from a Mechatronics Perspective (Liliana y Florina, 2015).</p>	<p>Utilización de la estrategia europea 2020 para analizar los componentes que se establecen como componentes principales en el desarrollo de productos mecatrónicos.</p>	<p>Metodología basada en el triángulo del conocimiento; Educación, Investigación e Innovación. Estableciendo una conexión eficiente entre los tres lados del triangulo contribuye a una fuerza de trabajo que puede incrementar.</p>
<p>Project Based Learning experiences in the space engineering education at Technical University of Madrid (Rodríguez et al., 2015).</p>	<p>El documento describe las actividades de innovación realizadas en el campo de la educación espacial en el año 2009-2010 en la Universidad Técnica de Madrid (UPM) donde utiliza la metodología basada en proyectos.</p>	<p>Enlistan los aspectos principales que debe considerar la metodología PBL:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los proyectos son centrales, no periféricos al plan de estudios. • Los proyectos se centran en preguntas o problemas que llevan a los estudiantes a encontrar los principios y conceptos centrales de una disciplina. • Los proyectos involucran a los estudiantes en una investigación constructiva • Los proyectos son impulsados por los estudiantes en algún grado significativo • Los proyectos son realistas y no escolares. Con el enfoque principal que los ejemplos o actividades a realizar deben ser problemáticas reales en la industria.
<p>Multidisciplinary Approach and Dual Education in Control Engineering for Mechatronics (Kozák, 2016)</p>	<p>Definen el diseño mecatrónico como un proceso iterativo e integrado que incluyen diferentes tipos de dominio específico de ingeniería y para lograr el éxito establecen un modelo de integración de los componentes requeridos.</p>	<p>Utilizan el modelo V para distinguir los pasos que se requieren en el diseño y la integración del sistema mecatrónico donde dividen el sistema en que requerimientos deben cumplir y el cómo pueden conseguir los productos</p>
<p>Multidisciplinary interface model for design of mechatronic systems (Zheng et al., 2016).</p>	<p>Desarrollo de una interfaz multidisciplinaria usada durante el diseño colaborativo de sistemas mecatrónicos para ayudar a los diseñadores a lograr la mejor integración de la experiencia multidisciplinaria.</p>	<p>Basado en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clasificación de la interfaz proporcionando detalles para los diseñadores y evita confusión • El modelo de la interfaz y las reglas de compatibilidad de interfaz • Relación entre la interfaz y otros componentes • El modelo del producto, el modelo propuesto • Comparación de compatibilidad

		verificada con el soporte de la interfaz modelo.
A new index based on mechatronics abilities for the conceptual design evaluation (Moulianitis, Zachiotis y Aspragathos, 2018).	Propone un índice mecatrónico para evaluar alternativas mecatrónicas enfocándose en la fase del diseño conceptual utilizando los criterios desarrollados por el múltiple mapa de ruteo por sus siglas en inglés (MAR) de Robótica en Europa.	Facilita la cuantificación aproximada de una evaluación cuantitativa e intuitiva de soluciones de diseño considerando las características mecatrónicas, integrando los criterios: Cumplir con los requisitos de la tarea, inteligencia, correspondencia, control, adaptabilidad, eficiencia y costo.

Tabla 1. Metodologías de diseño mecatrónico.

Las metodologías propuestas son una recopilación de metodologías realizadas para el desarrollo de un prototipo mecatrónico o el desarrollo de un curso en áreas de mecatrónica, si bien, todas las metodologías enfatizan la integración de los diferentes sistemas eléctricos, mecánicos y de programación, no todas cuentan con las herramientas totales requeridas para satisfacer las demandas solicitadas por el producto final. A continuación se señalan algunas metodologías orientadas al diseño mecatrónico con más detalle y se seleccionan dos propuestas finales y las razones por la selección. Las metodologías propuestas por (Chen et al., 2012), (Wang et al., 2012) y (Rodríguez et al., 2015), plantean la metodología orientada al diseño, donde busca enfatizar los enlaces y las relaciones entre la teoría y la práctica basado en proyectos. Algunas de las buenas prácticas de este método son: el planteamiento de las problemáticas, con el fin de propiciar el crecimiento tanto personal como profesional de los estudiantes; preparando a los alumnos en el área del conocimiento en el que se pretenden desempeñarse, desarrollando habilidades y autonomía de aprendizaje, así como el uso de tecnologías digitales de los procesos tecnológicos actuales. Una de las desventajas de este tipo de conocimiento es el requerimiento forzoso de un maestro que da la clase, requiere también el desarrollo de la habilidad para la investigación para el desempeño laboral industrial, que en ocasiones es difícil de conseguir en las instituciones de educación. Por otro lado, (Kozák, 2016) y (Yu et al., 2013) utilizan el modelo V para el desarrollo de *software*, pero se adapta a los requisitos de la mecatrónica, y busca establecer un proceso para describir las principales características físicas y lógicas de funcionamiento del producto. En la entrada (lado izquierdo) se desarrolla la metodología, las definiciones preliminares y el análisis de todos los requerimientos. La base del modelo verifica las subfunciones y prueba los subsistemas a través del modelado y el análisis de modelos en ingeniería mecánica, eléctrica y de programación, en caso de que el rendimiento del sistema integrado no sea el adecuado, la fase de entrada puede repetirse, en caso de lograr la funcionalidad entonces se pasa al lado derecho, esta sección es conocida como la implementación, integrando las subfunciones verificadas y los subsistemas probados, al finalizar las validaciones del proceso se obtiene el producto deseado, la ventaja de desarrollar los proyectos de esta manera

permite que se tengan pasos graduales obteniendo menores posibilidades de fallo o bien una manera de observar con mayor facilidad los fallos en el sistema. Si bien, las ventajas ofrecidas por este modelo son buenas, se requiere conocer con mayor detalle las herramientas necesarias para desarrollar los procesos. Asimismo, la metodología reportada por (Moulianitis, Zachiotis y Aspragathos, 2018) propone un índice mecatrónico para la evaluación de los sistemas a desarrollar evaluándose con un mapa de ruteo. Se consideran las características mecatrónicas e integra criterios de los requisitos que se solicita a los mecatrónicos. Por su parte (Wang et al., 2009) emplearon una metodología tipo cuadrante donde señalan los cuatro principios primordiales del diseño de un sistema mecatrónico, evaluando desde las áreas de estudio requeridas para el proceso, las herramientas y los diversos bloques de actividades a realizar estas herramientas definen: (1) El contenido del curso, (2) Los experimentos requerimientos específicos para soportar los contenidos de las lecturas, (3) el equipo y los componentes del laboratorio y (4) el plan de construcción de las actividades, si bien los cuatro cuadrantes cuentan con las herramientas requeridas, no se tiene un orden cronológico del desarrollo de las actividades.

Resultados

Con el fin de robustecer el diseño de sistema mecatrónicos, en este trabajo se desarrolló una metodología de diseño enfocada en los sistemas de control. Se propone una combinación de las metodologías propuestas por (Kozák, 2016), (Yu et al., 2013) y (Wang et al., 2009). Tomando en cuenta la necesidad de integración de conocimientos y sistemas para los diferentes procesos de desarrollo y aplicación, se plantea la metodología llamada “Modelo V-Cuadrante”, la cual propone una combinación de metodologías (Figura 1).

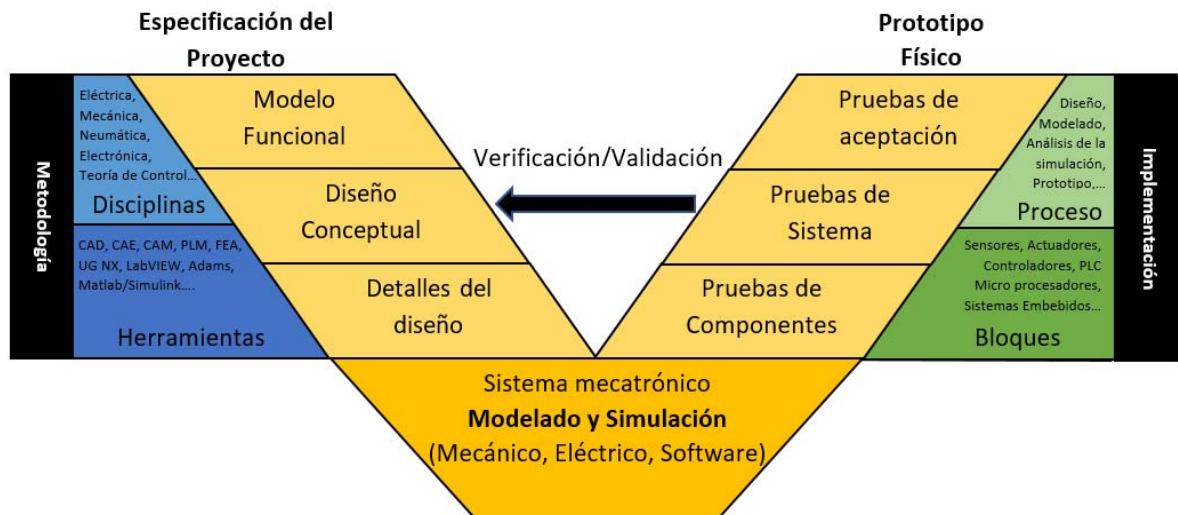


Figura 1. Modelo V-Cuadrante para el diseño de sistemas de control

El uso del modelo V permite que cada dominio verifique la compatibilidad de su diseño con otros dominios para reducir las iteraciones (Dohr y Vielhaber, 2012). En este modelo existen tres secciones principales, las cuales se llevan a cabo basados en el sentido que presentan: 1) Especificación del proyecto; 2) Diseño Mecatrónico, y 3) Prototipo físico.

Especificación del Proyecto. En esta sección se definen las normas, exigencias y procedimientos que deben ser empleados para la construcción de los dispositivos y/o proyectos de carácter mecatrónico, además son los requerimientos que pretende cumplir, para esto se deben identificar las necesidades y posibilidades que debe y puede cumplir especificando los componentes importantes, revisión de los trabajos preliminares y el establecimiento de la metodología a seguir, además de los primeros cuadrantes de integración mecatrónica vertical: IA) Disciplinas que deben utilizar para el desarrollo del proyecto mecatrónico y IB) Herramientas tecnológicas (programas) para realizar poder realizar las simulaciones requeridas, análisis de las simulaciones o modos de falla existentes en el sistema y si es necesario, el desarrollo de la interfaz gráfica que controle el proyecto, estas herramientas incluyen métodos y tecnologías para realizar las actividades del proceso definidas como necesarias. Se deben escoger los métodos y tecnologías más apropiados para el producto en particular, lo cual requiere tener un conocimiento de los temas pertinentes con un nivel de profundidad y amplitud adecuados (Chiang, 2012). En esta sección existen tres subsecciones importantes las cuales se muestran a continuación.

- **Modelo funcional.** Especifica lo que sucede, cuando sucede y que actividades suceden, definiendo las operaciones y actividades que debe o no debe cumplir el proyecto, analiza las características que debe tener el sistema y posteriormente establece los modelos matemáticos, parámetros y actividades que debe cumplir.
- **Diseño conceptual.** Precediendo el análisis antes establecido en esta sección se define la manera práctica, es decir, define si la idea es factible y los costos son los adecuados para la implementación del proyecto, además, se desarrolla la primera fase de diseño del proyecto. El proceso de diseño y desarrollo de productos se realiza usando herramientas avanzadas para facilitar el proceso y obtener un mejor resultado (Chiang, 2012).
- **Detalles del diseño.** Una vez obtenido y desarrollado el modelo funcional y el diseño conceptual en esta sección se evalúa si las especificaciones antes establecidas cumplirán con los requerimientos señalados en el diseño seleccionado, en caso de en algún campo no exista la posibilidad de integración se vuelven a realizar los pasos anteriores hasta encontrar compatibilidad en el diseño y también se definen

Modelado y simulación. En esta sección se centra únicamente en el uso y la usabilidad del modelado y la simulación dado a la existencia de una gran cantidad de herramientas y técnicas sofisticadas (Dohr y Vielhaber, 2012) el modelado y análisis espera realizar una evaluación detallada y completa en la solución propuesta considerando el diseño más óptimo (Behbahani y de Silva, 2008) estas acciones deben realizarse en tres áreas: mecánicas, eléctricas y de software.

Prototipo Físico. La función total del sistema mecatrónico se desarrolla de manera modular creando las subfunciones, cada una de ellas cumple con las actividades solicitadas, y al momento de la integración de los componentes se obtendrá el prototipo físico (Yu et al., 2018). El prototipo debe cumplir con los requerimientos necesarios para realizar la parte integral del proyecto, los componentes del cuadrante son la de IIA) proceso, las cuales y IIB) desarrollo de bloques, las etapas que se muestran a continuación deberán pasar por validaciones para comprobar el correcto funcionamiento del prototipo, las validaciones y las verificaciones de especificación pueden realizarse de dos maneras: por prototipos físicos o virtuales (Dohr y Vielhaber, 2012), dependiendo de la complejidad del módulo. La sección *prototipo físico* consta de tres etapas, las cuales, se presentan por orden de realización:

- **Pruebas de Componentes.** En esta sección se revisa cada uno de los componentes eléctricos, mecánicos y de programación, esto realizado de manera individual, para comprobar si tienen un correcto funcionamiento, se realiza la primer parte de la validación del sistema donde se busca que los detalles de

diseño se cumplan.

- **Pruebas de Sistema.** En esta sección se realizan dos tipos de pruebas: pruebas de grupo y pruebas del sistema. Las pruebas de grupo prueban conjuntos de subsistemas de manera simulada para ver si los subgrupos funcionan correctamente, esto al funcionar se realizan las pruebas de sistema, las cuales, se prueban todos los subsistemas de manera conjunta utilizando diferentes parámetros de la validación.
- **Pruebas de Aceptación.** Repetición de las pruebas en presencia de los grupos de interés, se realizan métodos de validación y se define en esta sección si los resultados obtenidos son los que se requieren para el correcto funcionamiento del dispositivo final, comparando los resultados obtenidos en la simulación del sistema, con los datos leídos una vez integrado el prototipo mecatrónico.

En el caso en que un módulo o subsistema no cumpla con las expectativas deseadas, se deberá ciclar la acción del mismo hasta lograr la meta, facilitando así, la observación de los errores de programación, diseño o selección de componentes en tiempo temprano.

Discusión

Este proyecto propone una metodología dirigida al desarrollo de sistemas de control; dicha metodología se basa en metodologías revisadas en la literatura, de las cuales integran dos. De manera general, se integran los componentes teóricos y prácticos del área del conocimiento de una forma modular y por etapas; donde el modelo y el diseño se basan en la teoría y utilizan las herramientas del área de mecatrónica para obtener un diseño robusto. Mientras que, en la sección de implementación, las etapas de sub-integración e integración consideran la validación y/o verificación. Esta metodología busca que los estudiantes adquieran un conocimiento sólido que pueda ser aplicado a problemas reales y desarrollen la capacidad de ofrecer soluciones precisas. Esto permitirá la transferencia del conocimiento y por ende de la tecnología, desde las instituciones de educación hacia la industria, a partir de la formación de profesionales capaces de resolver problemas reales.

Conclusiones

El elemento clave para un programa de educación exitoso es el uso de metodologías de enseñanza que permita a los estudiantes, en este caso, ingenieros mecatrónicos a desarrollarse en las diferentes áreas que integra la mecatrónica; para lograr esto es necesario la aplicación de una metodología completa que permita a los ingenieros resolver problemas reales de la industria o bien aplicar el conocimiento en el desarrollo de productos que contengan la tecnología actual. Esto gracias a que esta metodología considera los principios y conceptos de las disciplinas

necesarias para resolver los problemas específicos del área de interés; para que al desarrollar un proyecto siguiendo el proceso modular, tal como se plantea en esta metodología, el aprendizaje del estudiante le permita, en su desarrollo profesional, enfrentar y resolver problemas reales, ofreciendo soluciones óptimas. El análisis de la revisión de literatura permitió observar que existe un área de oportunidad para hacer investigación y mejora de las metodologías reportadas en los últimos años. Se espera que este trabajo sea una referencia para investigaciones futuras analizando los indicadores asociados con la transferencia tecnológica. La aplicación de la metodología propuesta busca potencializar la correcta transferencia a nivel educativo, favoreciendo a los participantes en el proceso, generando una mejor vinculación y entendimiento de conceptos del área del conocimiento de sistemas de control ofreciendo a los estudiantes el aprendizaje del proceso de diseño de un sistema de control que podrá aplicar en la realidad, coadyuvando así en el proceso de transferencia del conocimiento, generando una relación academia-industria. Esta metodología se desarrolló con el fin de aplicarla en la creación de un dispositivo para que los estudiantes de mecatrónica puedan realizar prácticas de sistemas de control.

Agradecimientos

Profundo agradecimiento al Doctor Israel Soto por proporcionar el enfoque para la selección del proyecto de titulación. A la Doctora Vianey Torres por ser una excelente guía y sus valiosas observaciones que permitieron lograr esta revisión de literatura y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo y patrocinio de la beca para los estudios de Maestría en Tecnología.

Referencias

- ANACKER, H., DUMITRESCU, R., GAUSEMEIER, J., IWANEK, P. y SCHIERBAUM, T., 2014. Methodology for the Identification of Potentials for the Integration of Self-optimization in Mechatronic Systems. *Procedia Technology* [en línea], vol. 15, pp. 17-26. ISSN 22120173. DOI 10.1016/j.protcy.2014.09.030. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.protcy.2014.09.030>.
- BEHBAHANI, S. y DE SILVA, C.W., 2008. System-based and concurrent design of a smart mechatronic system using the concept of mechatronic design quotient (MDQ). *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 13, no. 1, pp. 14-21. ISSN 10834435. DOI 10.1109/TMECH.2007.915058.
- CHEN, D., LI, X., LI, Z. y WANG, T., 2012. A mechatronics control engineering class at Beihang University, China: Practicing and exploring. *Mechatronics* [en línea], vol. 22, no. 6, pp. 881-889. ISSN

09574158. DOI 10.1016/j.mechatronics.2012.05.006. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2012.05.006>.

CHEN, D., LI, Z. y WANG, T., 2014. Exploration and practice: A competition based project practice teaching mode. *Mechatronics* [en línea], vol. 24, no. 2, pp. 128-138. ISSN 09574158. DOI 10.1016/j.mechatronics.2013.12.009. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2013.12.009>.

CHIANG, L., 2012. Diseño conceptual de productos mecatrónicos. , vol. 87, pp. 35-45.

DE SILVA, C.W. y BEHBAHANI, S., 2013. A design paradigm for mechatronic systems. *Mechatronics* [en línea], vol. 23, no. 8, pp. 960-966. ISSN 09574158. DOI 10.1016/j.mechatronics.2012.08.004. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2012.08.004>.

DOHR, F. y VIELHABER, M., 2012. Toward simulation-based mechatronic design. *Proceedings of International Design Conference, DESIGN*, vol. DS 70, pp. 411-420. ISSN 18479073.

HACKENBERG, G., RICHTER, C. y ZÄH, M.F., 2014. A Multi-disciplinary Modeling Technique for Requirements Management in Mechatronic Systems Engineering. *Procedia Technology* [en línea], vol. 15, pp. 5-16. ISSN 22120173. DOI 10.1016/j.protcy.2014.09.029. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.protcy.2014.09.029>.

HEHENBERGER, P., 2014. Perspectives on hierarchical modeling in mechatronic design. *Advanced Engineering Informatics* [en línea], vol. 28, no. 3, pp. 188-197. ISSN 14740346. DOI 10.1016/j.aei.2014.06.005. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2014.06.005>.

JUNG, J., CHOI, J., NA, B. y KONG, K., 2016. Automatic tuning of a mechanical design parameter of a robotic leg by Iterative Learning Mechatronics. *2016 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, URAI 2016*, no. 1, pp. 88-92. DOI 10.1109/URAI.2016.7734027.

KOZÁK, Š., 2016. Multidisciplinary Approach and Dual Education in Control Engineering for Mechatronics. *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 6, pp. 52-56. ISSN 24058963. DOI 10.1016/j.ifacol.2016.07.152.

LILIANA, D. y FLORINA, P.S., 2015. Education, Knowledge and Innovation from a Mechatronics Perspective. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* [en línea], vol. 203, pp. 205-209. ISSN 18770428. DOI 10.1016/j.sbspro.2015.08.283. Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.08.283>.

- MAGALHÃES, A.P., RIERA, B. y VIGÁRIO, B., 2010. Synthetic target systems in control education: Lessons teachers are learning from students. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, vol. 11, no. PART 1. ISSN 14746670. DOI 10.3182/20100831-4-FR-2021.00069.
- MELAMED, E. y MIRANDA, C., 2016. Editorial Transferencia Tecnológica en la Educación. *Educación y Humanismo* [en línea], vol. 18, no. 31, pp. 180-185. Disponible en: <https://doaj.org/article/186b39a7f2c44cdcbe7a1b5ac9e44718>.
- MIATLIUK, K., KIM, Y.H., KIM, K. y SIEMIENIAKO, F., 2010. Use of hierarchical system technology in mechatronic design. *Mechatronics* [en línea], vol. 20, no. 2, pp. 335-339. ISSN 09574158. DOI 10.1016/j.mechatronics.2010.01.002. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2010.01.002>.
- MOULIANITIS, V.C., ZACHIOTIS, G.A.D. y ASPRAGATHOS, N.A., 2018. A new index based on mechatronics abilities for the conceptual design evaluation. *Mechatronics*, vol. 49, no. December 2017, pp. 67-76. ISSN 09574158. DOI 10.1016/j.mechatronics.2017.11.011.
- RODRÍGUEZ, J., LAVERÓN-SIMAVILLA, A., DEL CURA, J.M., EZQUERRO, J.M., LAPUERTA, V. y CORDERO-GRACIA, M., 2015. Project Based Learning experiences in the space engineering education at Technical University of Madrid. *Advances in Space Research*, vol. 56, no. 7, pp. 1319-1330. ISSN 18791948. DOI 10.1016/j.asr.2015.07.003.
- SALEM, F. a, 2013. A Proposed Approach to Mechatronics Design and Implementation Education-Oriented Methodology. *Innovative Systems Design and Engineering*, vol. 4, no. 10, pp. 12-40.
- SHARMA, A., JELEMENSKÝ, M., VALO, R., KALÚZ, M. y FIKAR, M., 2016. Process Control Education using a Laboratory Separation Process. *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 6, pp. 4-9. ISSN 24058963. DOI 10.1016/j.ifacol.2016.07.143.
- WANG, Y., YU, Y., WIEDMANN, H., XIE, N., XIE, C., JIANG, W. y FENG, X., 2012. Project based learning in mechatronics education in close collaboration with industrial: Methodologies, examples and experiences. *Mechatronics* [en línea], vol. 22, no. 6, pp. 862-869. ISSN 09574158. DOI 10.1016/j.mechatronics.2012.05.005. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2012.05.005>.

- WANG, Y., YU, Y., XIE, C., WANG, H. y FENG, X., 2009. Mechatronics education at CDHAW of Tongji University: Laboratory guidelines, framework, implementations and improvements. *Mechatronics* [en línea], vol. 19, no. 8, pp. 1346-1352. ISSN 09574158. DOI 10.1016/j.mechatronics.2009.09.001. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2009.09.001>.
- YU, S., ZHAO, G., LI, J., ZHANG, G., ZHAO, H., GUO, X. y QIU, Y., 2018. Research on mechatronics modeling method based on digitalization. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1074, no. 1. ISSN 17426596. DOI 10.1088/1742-6596/1074/1/012027.
- YU, Y., WANG, Y., XIE, C., ZHANG, X. y JIANG, W., 2013. A proposed approach to mechatronics design education: Integrating design methodology, simulation with projects. *Mechatronics* [en línea], vol. 23, no. 8, pp. 942-948. ISSN 09574158. DOI 10.1016/j.mechatronics.2012.10.002. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2012.10.002>.
- ZHENG, C., BRICOGNE, M., LE DUIGOU, J. y EYNARD, B., 2014. Mechatronic design process: A survey of product data model. *Procedia CIRP* [en línea], vol. 21, no. 2, pp. 282-287. ISSN 22128271. DOI 10.1016/j.procir.2014.03.176. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.176>.
- ZHENG, C., LE DUIGOU, J., BRICOGNE, M. y EYNARD, B., 2016. Multidisciplinary interface model for design of mechatronic systems. *Computers in Industry*, vol. 76, pp. 24-37. ISSN 01663615. DOI 10.1016/j.compind.2015.12.002.