



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN
DE INGENIEROS EN LA
ERA DIGITAL



PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL ESTÁNDAR CUATRO DEL MODELO CDIO EN EL PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

Diego Fernando Jaramillo Patiño, Luis Miguel Capacho Valbuena

**Universidad del Quindío
Armenia, Colombia**

Resumen

CDIO es una iniciativa para la formación de ingenieros, que constituye una estrategia fundamentada en doce estándares que sirven como guía para la reforma y evaluación de currículos de ingeniería. El estándar cuatro es el único estándar que exige un espacio de aprendizaje conocido como Introducción a la Ingeniería, el cual provee las bases para la práctica de la ingeniería en productos, procesos y construcción de sistemas, así como la introducción de habilidades personales e interpersonales. El objetivo de este trabajo consiste en mostrar la experiencia de implementación del estándar cuatro: Introducción a la Ingeniería, en el currículo CDIO programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío, expresado en la formulación de un syllabus, como una propuesta a la comunidad CDIO de implementación de este estándar.

El programa de ingeniería electrónica de la Universidad del Quindío es un programa CDIO, miembro del consorcio mundial y de reconocimiento nacional. Por lo tanto, su malla curricular cuenta con un espacio de aprendizaje de introducción a la ingeniería, cuyo syllabus es el resultado de un proceso análisis en el claustro de profesores, a partir del cual se lleva a cabo la implementación del espacio de aprendizaje. El segundo semestre académico del año 2018 se inició la implementación del estándar cuatro en el programa de ingeniería electrónica de la Universidad del Quindío a partir del syllabus dado, mediante metodología centrada en el hacer, guida y evaluada por un equipo de profesores en un espacio compartido. Este proceso llevó a la reformulación de los resultados de aprendizaje (RAP) y el syllabus.

La implementación de este espacio académico involucró a un equipo de profesores con una división social del trabajo, presentes al tiempo en todas las actividades y sesiones del espacio de aprendizaje. Para el caso, un profesor se encargó de propiciar experiencias de aprendizaje orientadas a desarrollar capacidades para resolver problemas de ingeniería simples de manera sistemática trabajando en equipo; igualmente el otro profesor se encargó de propiciar actividades de aprendizaje orientadas a desarrollar capacidades para diseñar e implementar sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos cuyas propiedades y características técnicas satisfacen requerimientos.

Palabras clave: CDIO; estándar cuatro; introducción a la ingeniería

Abstract

CDIO is an initiative for the training of engineers, which is a strategy based on twelve standards that serve as a guide for the design and evaluation of an engineering program. The CDIO Standard 4 states that the study plan of an engineering program requires a learning space known as Introduction to Engineering, which provides the basis for the practice of engineering products, processes and system construction, as well as the introduction of personal and interpersonal skills. The purpose of this paper is to show the experience of implementation and evaluation of the CDIO Standard 4: Introduction to Engineering, in the Electronic Engineering at Universidad del Quindío, expressed in the formulation of a syllabus, which can be used as a reference for the CDIO community to implement this standard.

The electronic engineering program at Universidad del Quindío is a CDIO program, recognized by the CDIO world organization, and awarded with national accreditation. Its study plan has a learning space called Introduction to Engineering, whose syllabus is the result of an analytical process conducted by the faculty. In 2018, during the second academic term, we started the implementation of the CDIO Standard 4 in the electronic engineering program at Universidad del Quindío. Based on the proposed syllabus, we conducted the implementation of this syllabus using a methodology focused on doing and evaluating by a team of teachers in a shared space. This process led to the reformulation of learning outcomes (ILO), and therefore, to the reformulation of the syllabus.

For this case, a teacher was responsible for promoting learning experiences aimed to develop skills for solving simple engineering problems in a systematic way and team working; the other professor was also in charge of promoting learning activities aimed to develop skills for designing and implementing mechanical, electrical and electronic systems, whose properties and technical features meet product requirements.

Keywords: CDIO; standard 4; introduction to engineering

1. Introducción

Las profesiones se caracterizan, según Carl Mitcham (Mitcham, 2009), por un doble componente, a saber: un cuerpo de conocimiento técnico especializado, de una parte, y un ideal de servicio, de otra. El ideal de servicio nos dice que todas las profesiones tienen una función social y que, en el cumplimiento de ésta, las profesiones aplican su cuerpo de conocimiento técnico especializado, el cual, en el caso de la ingeniería lo constituyen el conocimiento de las ciencias aplicadas, de *los métodos de diseño* y del funcionamiento de los artefactos. Para Herbert A. Simon (Simon, 1996), por su parte, la diferencia entre el ámbito de las ciencias y el de las profesiones es el hecho de que el *modus operandi* de las profesiones lo constituye el *diseño*, o lo que es lo mismo, el trazar cursos de acción para transformar unos estados de cosas en otros.

En las postrimerías del siglo pasado Donal A. Schön (Schön, 1983) insistió en lo que se llamó “la crisis de las profesiones”, la cual, en términos generales, consistía en la pérdida de confianza por parte del público en el papel de las profesiones. Una pérdida de confianza generada por dos aspectos fundamentales: el hecho de que reputados profesionales hayan abusado de su autonomía para granjearse beneficios personales - en el caso de nuestro país, la corrupción asociada con las obras de infraestructura, por ejemplo- y, quizás lo más grave, las evidentes fallas en el ejercicio profesional, que conducen a que muchas de las soluciones a problemas públicos hayan tenido consecuencias indeseables no anticipadas, algunas veces peores que los problemas para los cuales fueron diseñadas.

En el caso de la ingeniería, siguiendo a Schön, las evidentes fallas en el ejercicio profesional que conducen a la pérdida de la fe en el juicio profesional tienen origen en un hecho bastante grave relacionado con la formación de ingenieros, a saber: la desaparición de la formación en diseño de los currículos de ingeniería. Esto dando como consecuencia una cientifización de la profesión y la paulatina pérdida del horizonte social de su ideal de servicio.

Ya en este siglo, ante el panorama de una ingeniería ciega a su responsabilidad social e ignorante de la racionalidad propia de su ejercicio -el diseño- se da inicio a una reflexión seria acerca del problema de la formación de ingenieros. En general, los nuevos modelos y paradigmas de formación se esfuerzan por reincorporar el diseño en los currículos de ingeniería. Sin embargo, esto no es suficiente. Hace falta todavía una consideración más amplia de lo que constituye el ejercicio profesional de la ingeniería. En esta línea, CDIO representa una perspectiva sobresaliente.

CDIO (Crawley, et al, 2007) es una iniciativa mundial de formación de ingenieros cuya filosofía es que el ámbito de la formación de ingenieros debe ser el mismo que el del ejercicio de la profesión de ingeniería. ¿Qué es lo que hacen los ingenieros cuando hacen ingeniería? Conciben, diseñan, implementan y operan sistemas, productos y servicios del mundo real, por tanto, los currículos de ingeniería deben proporcionar a los alumnos una formación que ponga énfasis en los fundamentos de la ingeniería, enmarcándolos en el contexto de Concebir-Diseñar-Implementar-Operar “sistemas complejos de ingeniería con valor agregado en un ambiente moderno y basado en el trabajo en equipos para crear sistemas y productos” (ESTÁNDARES CDIO v. 2.0 (con rúbricas

personalizadas) 08 de diciembre de 2010) mediante experiencias de enseñanza-aprendizaje especialmente ideadas para ello.

En este esfuerzo, CDIO adopta 12 estándares para describir los programas CDIO, los cuales obran como principios rectores que “definen los rasgos que permiten distinguir un programa CDIO, sirven como directrices para la reforma y la evaluación de programas educacionales, generan puntos de referencia y metas que pueden aplicarse internacionalmente, y proporcionan un marco para la mejora continua. Estos estándares también pueden ser usados como marco de referencia a efectos de certificación.” (ESTÁNDARES CDIO v. 2.0 (con rúbricas personalizadas) 08 de diciembre de 2010).

El Estándar 4, prescribe la realización de un espacio de aprendizaje denominado Introducción a la Ingeniería, en el cual aporta el marco para la práctica de la ingeniería y contribuye al desarrollo de las habilidades personales e interpersonales básicas en un ingeniero.

En respuesta a este estándar, el Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Quindío implementó desde el segundo semestre del 2018 un espacio de aprendizaje de Introducción a la Ingeniería cuyo resultado de aprendizaje consiste en que “El estudiante estará en capacidad de resolver problemas simples de ingeniería de manera metódica en equipos de trabajo.” Mediante este espacio de aprendizaje se pretende desarrollar las habilidades personales (HP): Gestión del tiempo y recursos; Ética profesional, integridad y responsabilidad social; y las habilidades interpersonales (HIP): Capacidad de trabajar en distintos tipos de equipos y colaborar técnicamente; Capacidad de comunicación por medios gráficos; Capacidad de comunicación por presentaciones orales.

El espacio de aprendizaje es orientado por un equipo de dos profesores quienes asisten ambos a todas las sesiones desempeñando roles específicos de acuerdo a un plan de división social del trabajo. Uno de ellos orienta los aspectos metodológicos y propicia espacios para la conformación y consolidación de equipos de trabajo mediante talleres y dinámicas de grupo; y el otro orienta los aspectos relacionados con el conocimiento disciplinar en electrónica y el desarrollo de experiencias de diseño e implementación de productos, sistemas y procesos. La evaluación es procesual y se hace un seguimiento equipo por equipo de trabajo y personalizado miembro a miembro de cada equipo.

2. Estándar 4: Introducción a la Ingeniería

El consorcio CDIO adoptó en enero de 2004 doce estándares que permiten describir un programa CDIO, brindando un marco de referencia para reformas curriculares, evaluación y certificación de programas CDIO. En términos específicos, el desarrollo curricular se encuentra descrito en los Estándares 2, 3 y 4, donde el Estándar 4 corresponde al espacio de aprendizaje de introducción a la ingeniería, siendo éste el único de los doce estándares que está enfocado en un espacio de aprendizaje de la malla curricular de un programa de ingeniería CDIO. La importancia de este espacio de aprendizaje está en que provee un marco de referencia para el desarrollo de habilidades en los estudiantes, propias de la práctica de la ingeniería, como son la construcción

de sistemas, procesos y productos, así como la introducción de habilidades personales e interpersonales.

Según lo establecido por el consorcio CDIO, comúnmente los estudiantes eligen programas de ingeniería porque su deseo es construir cosas, para lo cual el espacio de aprendizaje de Introducción a la Ingeniería se presenta como respuesta a este deseo, mediante la inmersión de los estudiantes en el quehacer de la ingeniería a través de la solución de problemas y ejercicios de diseño simples, tanto en equipo como individualmente.

3. Solución metódica de problemas y trabajo en equipo

Tal como lo requiere el Estándar 4, es necesario lograr que los estudiantes se involucren en la práctica ingenieril a través de la resolución de problemas y ejercicios simples de diseño, de manera individual y en equipo. Por esta razón, el espacio de aprendizaje de Introducción a la Ingeniería se ocupa de ofrecerle a los estudiantes un primer acercamiento al método de diseño en ingeniería y algunas herramientas para la conformación y consolidación de equipos de trabajo.

3.1 Formación Metodológica:

El diseño en ingeniería es el proceso mediante el cual el ingeniero logra materializar un conjunto de necesidades, expectativas y/o deseos de clientes y usuarios finales en un artefacto. Este proceso responde a una lógica tripartita: análisis, síntesis y evaluación, y puede ser representado mediante un modelo en fases del cual es posible, a su vez, derivar una metodología. El punto aquí es que si el diseño es un proceso que puede ser pensado y entendido, así como representado en un modelo, entonces puede ser enseñado.

En un nivel introductorio el proceso de diseño puede ser esquematizado en pocas fases: Formulación del Problema, Búsqueda de Soluciones, Toma de Decisiones.

3.1.1 Formulación del problema:

El marco general del problema puede describirse como la transformación de un estado de cosas problemático con respecto a un valor en un estado de cosas en el cual el valor se resuelve en un producto, sistema o proceso. El problema, desde el punto de vista del cliente o el usuario final lo constituye la realización del valor, es decir, el alcanzar una meta determinada por la satisfacción de la necesidad, la expectativa o el deseo. Desde el punto de vista del ingeniero, el problema lo constituye el diseño de un medio para lograr la transformación del estado inicial problemático en el estado final de satisfacción. Metodológicamente, esta fase del proceso implica una lógica del análisis y se lleva a cabo mediante la técnica de la caja negra (Krick, 1991).

3.1.2 Búsqueda de soluciones:

La principal característica de los problemas de ingeniería es que son problemas abiertos y mal estructurados. Esto significa que no tienen una única solución, sino que, por el contrario, son de múltiples soluciones. Al ser desestructurados requieren, además, de métodos formales para la búsqueda de alternativas de diseño (Dym, et al, 2002). Metodológicamente, esta fase del proceso

implica una lógica de la síntesis y se lleva a cabo mediante el método formal del Análisis Morfológico y la técnica de los diagramas o las tablas morfológicas (Haik, et al., 2018)

3.1.3 Toma de decisiones:

Visto esquemáticamente, el papel del ingeniero en la resolución de problemas consiste en que, frente a una gama de alternativas de diseño, éste debe elegir la mejor. Para ello, el ingeniero debe poder comparar los valores de utilidad de las diversas alternativas de solución propuestas con base en el rendimiento de cada una de ellas con respecto a los requerimientos ponderados. Metodológicamente, esta fase del proceso implica una lógica de la evaluación y se lleva a cabo mediante el método formal de objetivos ponderados y la técnica de la matriz de decisiones (Cross, 2002).

3.2 Trabajo en equipo:

Además de la capacidad para resolver problemas simples de manera metódica, el estudiante del espacio de aprendizaje Introducción a la Ingeniería bajo el modelo CDIO debe poder hacerlo trabajando en equipo. Para esto, se aborda la formación de equipos de trabajo en cuatro etapas, a saber: La etapa de formación, la etapa de tormenta, la etapa de establecimiento de normas y, finalmente, la etapa de realización.

Para el desarrollo de cada una de las etapas se implementan talleres y dinámicas de grupo con el fin de romper el hielo y sensibilizar a los miembros del equipo recientemente conformado, de resolver los conflictos surgidos en las primeras interacciones, de negociar normas de compartamiento y acción y, finalmente, de incentivar el trabajo conjunto en la resolución de problemas.

3.2.1 Etapa de formación:

Un equipo funciona mejor cuando todos sus miembros se complementan y su papel en el equipo es claro. Para lograr esto, se implementa un cuestionario basado en el modelo del cerebro de Ned Herrmann el cual permite a los estudiantes reflexionar y entender sus preferencias de pensamiento y las de sus compañeros. El equipo se conforma incluyendo mínimo un miembro de cada estilo de pensamiento.

3.2.2 Etapa de tormenta:

Esta etapa está marcada por conflictos internos y resistencia a la tarea entre manos, así como desacuerdos sin resolución aparente y luchas por el liderazgo, razón por la cual se hace necesario proporcionar herramientas de resolución de conflictos. La discusión objetiva y la escucha reflectiva son buenas dinámicas para la resolución de conflictos.

3.2.3 Etapa de establecimiento de normas:

Esta etapa tiene que ver con el proceso mediante el cual los equipos llegan a acuerdos acerca de qué método adoptarán para trabajar juntos, qué conductas serán aceptables y que normas regirán la interacción de los miembros del equipo. Dinámicas tendientes a los procesos de negociación son de gran utilidad en esta etapa. Bastón mágico o Barra de Helio y Robots son dos buenas alternativas para implementar.

3.2.4 Etapa de realización:

En esta etapa el equipo está concentrado en la realización de las tareas y sus miembros se comportan según las normas negociadas y adoptadas, en su interacción logran proponer soluciones útiles para el problema que resuelven. Basta con una actividad de seguimiento al equipo para verificar esta etapa.

4. Experiencia de diseño e implementación

La experiencia de diseño e implementación planteada en el espacio de aprendizaje de Introducción a la Ingeniería, se desarrolla en los espacios de laboratorio disponibles para este fin. En cada espacio de laboratorio se desarrollan habilidades que posteriormente son usadas por los equipos de trabajo en la solución de un problema, donde el problema a solucionar se encuentra enmarcado en situaciones reales del quehacer de un ingeniero electrónico. En la Figura 1 se muestran los elementos propuestos para la solución de problemas correspondientes a cuatro componentes generales: Estructural, mecánico, eléctrico y electrónico.

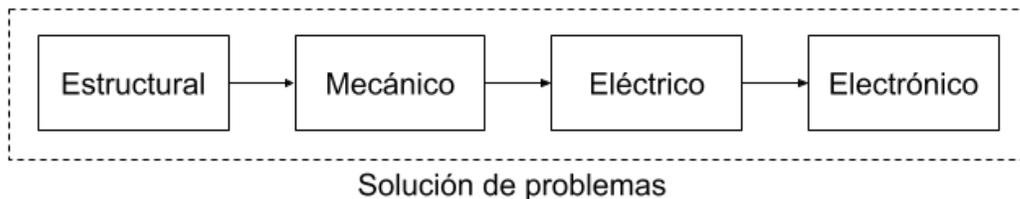


Figura 1. Solución de problemas en el Estándar 4

4.1 Componente estructural

Teniendo en cuenta que los productos, sistemas y procesos son desarrollados para personas, es necesario que éstos cuenten con elementos estéticos, ergonómicos y estructurales que permitan la interacción con el usuario final (Garratt, 1994). En el primer componente estructural se desarrollan tres prácticas donde se enseñan y usan elementos del diseño visual, principios del diseño visual, consideraciones de tamaño, medidas y sentidos y las diferentes consideraciones a tener en cuenta en el diseño de estructuras como estabilidad, fuerzas y momentos.

4.2 Componente mecánico

Para la solución del problema propuesto, se desarrollan prácticas correspondientes al componente mecánico en las que se trabajan a nivel básico conceptos de movimiento rotatorio, poleas, sistemas de transmisión, velocidad y torque. Se exploran diferentes alternativas de solución que son evaluadas usando herramientas metodológicas descritas en la búsqueda de soluciones.

4.3 Componente eléctrico

Como parte del desarrollo de habilidades disciplinares que se exploran en el espacio de aprendizaje de Introducción a la Ingeniería se realizan prácticas en torno a los conceptos de voltaje, corriente y resistencia y el manejo de herramientas de medición. Las prácticas se desarrollan usando una metodología en la cual todos los integrantes del equipo de trabajo intervienen como parte del desarrollo de habilidades de trabajo en equipo. De igual forma, se usan preguntas de reflexión en torno a los conceptos adquiridos como parte de la formación del pensamiento crítico.

4.4 Componente electrónico

Finalmente, se realizan prácticas de laboratorio enfocadas en la implementación de sistemas electrónicos que son utilizados como insumo para la solución del problema propuesto. Dichas prácticas se orientan a conceptos básicos de lógica de sistemas digitales, manejo de sensores, sistemas de control de potencia para el manejo de motores y plataformas programables Arduino.

5. Desarrollo de proyectos de ingeniería

Como parte del seguimiento y evaluación de las habilidades disciplinares, CDIO, personales e interpersonales obtenidas en la discusión y enseñanza de aspectos metodológicos, prácticos y de trabajo en equipo, se propone el desarrollo de un proyecto de ingeniería. El proyecto cuenta con momentos de discusión, análisis y evaluación de alternativas trabajadas previamente en el componente metodológico, del cual se obtiene una solución estructural, una solución mecánica, una solución eléctrica y una solución electrónica las que integradas dan solución al problema propuesto. Cada una de estas etapas cuenta con seguimiento por parte de los profesores, quienes hacen apreciaciones de carácter metodológico y técnico.

Se realizaron dos experiencias de diseño e implementación de proyectos de ingeniería en el segundo semestre de 2018 y el primer semestre de 2019. La primera experiencia giró en torno a solucionar el problema de mover una carga pesada de un lugar a otro usando sistemas hidráulicos, para lo cual se diseñó e implementó el prototipo de un brazo robótico controlado manualmente por un operario. La segunda experiencia dio solución al problema de operar remotamente a una persona; para ello, se diseñó e implementó un sistema electromecánico activado remotamente.

6. Referencias

- Crawley, E. F., Malmqvist, J., Östlund, S., & Brodeur, D. R. (2007). *Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach*.
- Cross, N. (2002). *Métodos de diseño: estrategias para el diseño de productos*. Limusa.
- Dym, C. L., & Little, P. (2002). *El proceso de diseño en ingeniería*. Limusa Wiley.
- Estándares CDIO v. 2.0 (con rúbricas personalizadas) 08 de diciembre de 2010, Tomado de <http://www.cdio.cl/documentos/estandares-cdio>, Junio de 2019.
- Garratt, J. (1996). *Design and technology* (Vol. 2). Cambridge: Cambridge University Press.
- Haik, Y., Sivaloganathan, S., & Shahin, T. M. (2018). *Engineering design process*. Nelson Education.
- Krick, E. V. (1991). *Fundamentos de Ingeniería: Métodos, conceptos y resultados*. Limusa.
- Mitcham, C. (2009). A philosophical inadequacy of engineering. *The Monist*, 92(3), 339-356.
- Schön, D. A. (2017). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. Routledge.
- Simon, H. A. (1996). *The sciences of the artificial*. MIT press.

Sobre los autores

- **Diego Fernando Jaramillo-Patiño**: Licenciado en Filosofía y Letras, Mágister en Filosofía de la Universidad de Caldas. Profesor Asistente, Universidad del Quindío. diegojaramillop@uniquindio.edu.co
- **Luis Miguel Capacho-Valbuena**: Ingeniero Electrónico, Mágister en Ingeniería de la Universidad del Valle. Profesor Asociado, Universidad del Quindío. lmcapacho@uniquindio.edu.co

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

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)