

UN ENFOQUE METODOLÓGICO PARA LA ENSEÑANZA DEL CONTROL AUTOMÁTICO BAJO UN CURRÍCULUM BASADO EN COMPETENCIAS INTEGRANDO LABORATORIOS VIRTUALES

Héctor Vargas*, Luis de la Torre**, Cristian Castro*, Flavio Torti*, Gonzalo Farías*, Rubén Heradio**

* Escuela de Ingeniería Eléctrica, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso PUCV, Chile

** Dpto. de Informática y Automática, Universidad Nacional de Educación a Distancia UNED, España

hector.vargas@pucv.cl, ldelatorre@dia.uned.es, cristian.castro@pucv.cl, flavio.torti.r@mail.pucv.cl,
gonzalo.farias@pucv.cl, rheradio@issi.uned.es

RESUMEN

La Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, desde el año 2014, desarrolla sus nuevos planes curriculares basados en competencias de las carreras de Ingeniería Civil Eléctrica e Ingeniería Civil Electrónica. La educación basada en competencias (EBC) se relaciona, en palabras simples, a la posibilidad de implementar planes de estudio cuyo objetivo fundamental sea formar a los estudiantes para la realidad laboral, intentando minimizar el tiempo de adaptación de éstos en su futuro ejercicio profesional. Si bien la filosofía detrás de éste paradigma de enseñanza es atractiva, en la práctica su implementación conlleva un esfuerzo importante para las instituciones académicas y equipos docentes a cargo. En este contexto, este trabajo presenta una propuesta metodológica para la evaluación de una de las asignaturas del plan de estudios (control automático), proporcionando detalles de su rediseño, las actividades evaluativas desarrolladas (que integra el uso de laboratorios virtuales y remotos para experimentación en línea) y el método diseñado para la evaluación de competencias.

PALABRAS CLAVES: Educación, Control Automático, Competencias, Laboratorios Virtuales.

1. INTRODUCCIÓN

Los procesos docentes asociados con la metodología de enseñanza y aprendizaje de las ciencias y, en particular, las ciencias de la ingeniería, son materia de continuo debate y discusión. Esto se debe principalmente a que la inserción laboral de los egresados de ingeniería depende fuertemente del perfil de egreso de sus carreras y, por ende, de lo actualizados o no que estén sus programas de estudio, lo cual plantea un reto constante para el personal académico de las universidades. Más aún, si se considera la rápida y constante evolución de la tecnología, éste desafío se hace mayor y más difícil de alcanzar.

En el caso específico de la educación en ingeniería en Chile, existen múltiples factores que hacen que se produzca este desfase entre “avance tecnológico” y “actualización curricular”. Por ejemplo, los profesores de cualquier rama de la ingeniería conocen bien las materias que enseñan, sin embargo, no cuentan con los conocimientos técnicos ni el tiempo necesarios que le permitan innovar en sus metodologías de enseñanza incorporando, por ejemplo, las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). En este punto, y a diferencia de nuestra realidad, conviene analizar la experiencia europea en este ámbito. El nuevo Espacio Europeo de Educación Superior EEES [1] está promoviendo la movilidad e integración de sus estudiantes en los distintos países que integran la comunidad. Para lograr este objetivo, el uso de Internet y las nuevas tecnologías ha jugado un rol fundamental en este proceso y las universidades han debido rediseñar sus currículos en base a estos nuevos desafíos. Hoy en día, los centros de estudios

Europeos en su mayoría hacen uso de herramientas TIC que apoyan tanto al profesor en su proceso de enseñanza como al estudiante en su proceso de aprendizaje.

Por otra parte, la simple introducción de tecnologías en las aulas sin un cambio profundo en la metodología de enseñanza muchas veces no provoca los resultados esperados en el desempeño académico de los estudiantes [2]. En este sentido, el paradigma de Educación basado en Competencias (EBC) proporciona un modelo de enseñanza-aprendizaje que se centra en las competencias y/o habilidades que debe adquirir el estudiante para su futuro desempeño laboral además del propio aprendizaje de los contenidos [3].

La Educación basada en Competencias se relaciona, en palabras simples, a la posibilidad de implementar planes de estudio cuyo objetivo fundamental sea formar a los estudiantes para la realidad laboral, intentando minimizar el tiempo de adaptación de éstos en su futuro ejercicio profesional. Si bien la filosofía detrás de éste paradigma de enseñanza es atractiva, en la práctica su implementación conlleva un esfuerzo importante para las instituciones académicas y equipos docentes a cargo; especialmente, en lo que respecta al rediseño de los programas de estudio de las asignaturas y su metodología de evaluación, donde, al menos se deben considerar las siguientes cuestiones: 1) cómo definir el modelo de competencias, 2) cómo generar las evidencias del desarrollo de las mismas, 3) cómo recolectarlas, y 4) cómo evaluarlas [4]. Ésta última, debiese entregar información objetiva del desempeño formativo de los estudiantes no sólo en cuanto a los contenidos estudiados, sino también en relación al desarrollo de competencias.

Hoy en día existen herramientas de software basadas en el uso de la web que posibilitan la experimentación virtual a través de Internet [5], así como la gestión y sistematización del proceso formativo de los estudiantes en modelos basados en competencias. Para lo primero, los laboratorios virtuales y remotos, son ampliamente conocidos y utilizados [6]. Para lo segundo, la práctica totalidad de los Sistemas de Gestión del Aprendizaje o LMS (Moodle, Canvas, BlackBoard Learn, entre otros) en los que se basan los cursos virtuales de universidades y escuelas, ofrecen también soluciones. No obstante, los autores no conocen que, hasta la fecha, se haya desarrollado una experiencia educativa integradora, en la cual los laboratorios virtuales y remotos se usen en conjunto con un modelo evaluativo basado en competencias y donde algunas de dichas competencias estén intrínsecamente relacionadas a la realización de actividades con dichos laboratorios.

En este contexto, el presente artículo propone un enfoque metodológico que permitirá evaluar el desarrollo formativo de los estudiantes de la asignatura de Control Automático del nuevo plan de estudios basado en competencias que se está implementando en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV). El enfoque aquí presentado podría ser replicado en asignaturas del ámbito de la Ingeniería de cualquier disciplina que incorpore el desarrollo de actividades tanto teóricas como prácticas en su proceso formativo.

Este artículo está organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se trata la temática del currículum basado en competencias. En la sección 3 se presenta la red de laboratorios virtuales y remotos UNILabs, que provee dichos laboratorios para la experiencia aquí presentada. En la sección 4 se describe, a modo de ejemplo, uno de los laboratorios virtuales usados como parte del proceso del aprendizaje basado en competencias. La sección 5 detalla cómo se integran todas las herramientas de evaluación en el curso virtual de la PUCV y la sección 6 presenta algunos detalles del modelo de evaluación de competencias diseñado. Finalmente, en la sección 7 se extraen las conclusiones del trabajo realizado.

2. CURRÍCULUM BASADO EN COMPETENCIAS

Dentro del marco de actualización de las carreras de pregrado de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la PUCV, producto de las nuevas mallas curriculares basadas en competencias que desde el año 2014 se encuentran vigentes [7], es que se ha iniciado un proceso de modernización de los programas de estudio de las asignaturas.

En particular, las mallas curriculares que se imparten presentan nuevas asignaturas de laboratorio que pretenden complementar el aprendizaje de los estudiantes en diversas áreas de la disciplina. Una de las áreas a intervenir es el Control Automático, el cual además del curso teórico de “Control Automático”, comenzó a dictarse la asignatura obligatoria de “Laboratorio de Control Automático”. Ambas asignaturas se dictan respectivamente el 5to y 6to semestre del tercer año de las carreras de Ingeniería Civil Electrónica e Ingeniería Civil Eléctrica.

En este trabajo se busca actualizar la estructura evaluativa del curso teórico de “Control Automático”, el cual es la base para generar los conocimientos y competencias de los estudiantes como un paso previo al curso práctico de “Laboratorio de Control Automático”. Ambas asignaturas deberían estar fuertemente vinculadas, de modo que el estudiante perciba una continuidad en el desarrollo de estos cursos. En particular, una falencia que se aprecia actualmente en el desarrollo del curso teórico es el poco acercamiento que entrega la asignatura a la aplicación práctica de los conocimientos como paso previo al curso de laboratorio. Además, también existe poca claridad respecto a la medición de los avances formativos de los estudiantes en cuanto al desarrollo de competencias, cosa que sí se requiere en los nuevos planes de estudio.

Como se menciona en [7], en el diseño del nuevo currículum, cada asignatura del programa aportan al desarrollo de las competencias declaradas en el plan de estudios según su pertinencia. Éstas se pueden clasificar como relativas a las áreas de **formación fundamental**, **formación disciplinar** y **formación profesional**. En el caso particular de la asignatura de Control Automático fundamentalmente se busca promover competencias de formación disciplinar que tienen relación con establecer en los estudiantes las capacidades para realizar el análisis, diseño, interpretación y validación de sistemas de Control Automático de Procesos. Adicionalmente, también se desarrollan competencias de formación fundamental.

Esta asignatura propicia el desarrollo de las siguientes competencias:

- C1. Adquirir y alcanzar un fuerte dominio de las ciencias básicas, con el fin de aplicar estos conocimientos en problemas propios de la ingeniería eléctrica.
- C2. Capacidad de identificar, formular y resolver problemas abiertos y complejos de la ingeniería eléctrica y/o que requieren enfoques disciplinarios.
- C3. Conocer, dominar y utilizar técnicas y herramientas tecnológicas actuales para modelar, calcular y simular soluciones a problemáticas de la ingeniería eléctrica.
- C4. Capacidad para comunicarse efectivamente en forma oral y escrita con un dominio del lenguaje técnico propio de la ingeniería eléctrica.

Estas competencias se han seleccionado identificando las fases típicas de trabajo para el análisis, diseño y validación de un sistema de control. Específicamente, el **primer paso** consiste en el modelamiento del proceso que se desea controlar; el **segundo paso** es el diseño del sistema de control recurriendo para ello a diversas herramientas de análisis de estabilidad de sistemas y; finalmente, el **tercer paso** es la validación e interpretación de resultados.

3. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para la evaluación del curso de Control Automático se propone realizar tres pruebas de cátedra que ponderan el 75% de la nota final (P1: 25%, P2: 25% y P3: 25%) y el desarrollo de una “actividad integradora” de ayudantía que pondera el 25% restante.

Para solventar la falencia descrita en la sección anterior, el proyecto propone realizar una mejora curricular basada en la “actividad integradora”, la cual incluirá el uso de laboratorios virtuales y remotos para la realización de experimentos en línea. Esto permitirá que los estudiantes apliquen sus diseños de control sobre sistemas cercanos a la realidad llevando a cabo experiencias típicas de análisis, diseño y validación de sistemas de control. Para ello, se hará uso de la plataforma web UNILabs, que cuenta con recursos en línea especialmente concebidos para cursos de educación superior en el ámbito de las Ciencias y la Ingeniería. Los detalles de integración de esta actividad en el curso de control se presentan en las secciones 4 y 5.

Por otra parte, para el desarrollo de las competencias declaradas para esta asignatura, se definieron un conjunto de Resultados de Aprendizaje (RA) a promover en los estudiantes y cuya evaluación determinará, de forma indirecta, el nivel de logro de las competencias. De esta manera, al finalizar la asignatura el estudiante habrá desarrollado los siguientes resultados de aprendizaje:

- RA1. Reconoce e identifica sistemas y/o procesos y sus variables aplicando los fundamentos teóricos de la matemática, la física y la electricidad.
- RA2. Identifica, selecciona y aplica metodologías de análisis y diseño de sistemas de control para la solución de problemas de la especialidad.
- RA3. Interpreta y valida resultados obtenidos del análisis de sistemas de control.
- RA4. Utiliza herramientas computacionales para identificar, calcular, resolver y validar sistemas de control.
- RA5. Comunica clara y comprensivamente ideas y opiniones, en situaciones individuales y/o grupales. Realiza informes y presentaciones claras y con carácter comunicativo.

Los detalles sobre la evaluación de los resultados de aprendizaje antes descritos y por ende, de las competencias a las cuales estos se relacionan, se presenta en la sección 6 de este trabajo.

4. UNILABS: RED DE LABORATORIOS VIRTUALES Y REMOTOS

Los laboratorios virtuales y remotos son aplicaciones web que permiten la realización de experimentos sobre procesos físicos simulados (virtual) o equipos físicos reales accedidos remotamente a través de internet (remoto). Usualmente, son utilizados como complemento práctico al estudio teórico de una disciplina, fomentando el autoaprendizaje de los estudiantes y proveyendo a los mismos de más tiempo de experimentación fuera del laboratorio [8].

El uso de laboratorios virtuales y remotos en el ámbito de la Educación en Ingeniería en general y en particular, la ingeniería de control [9], es una realidad en muchas universidades del mundo [10]. Una experiencia interesante de aplicación de este método de enseñanza fue la red interuniversitaria denominada AutomatLabs [11]. Este proyecto generó un producto basado en el uso de Internet y la web (usando laboratorios virtuales y remotos) que fue exitosamente integrado y utilizado en los cursos de Automática I de siete universidades españolas en dos pruebas piloto realizadas en los periodos académicos 2009-2010. El sistema fue muy bien valorado por la comunidad estudiantil, observando en ellos una mejoría notable en el aprendizaje de los

conceptos fundamentales de la teoría de control, evidencia que fundamenta la aplicación de esta estrategia como base para proyectos de innovación docente.

UNILabs (University Network of Interactive Labs, <http://unilabs.dia.uned.es>) es una extensión y actualización de AutomatLabs. En esta red, el número y naturaleza de laboratorios virtuales y remotos disponibles ha crecido con respecto a su antecesor, hasta un total de más de treinta. Por otro lado, el antiguo portal de acceso a dichos laboratorios deja paso a un LMS moderno y de código abierto (Moodle) que permite, entre otras cosas, definir competencias de aprendizaje y realizar un seguimiento de la adquisición de las mismas por parte de los estudiantes. En UNILabs, participan nueve universidades de distinta índole (presencial y a distancia) y de diferentes lugares (varias regiones de España y Chile), bien como consumidores de recursos (laboratorios virtuales y/o remotos, cursos completos...), como desarrolladores de tecnologías (contribuciones a la herramienta Easy java/javascript Simulations, EjsS, con la cual se construyen los laboratorios) o como desarrolladores y proveedores de cursos y/o laboratorios.

En la siguiente sección se describe uno de los laboratorios virtuales que se utiliza en la actividad integradora del curso, su contexto de aplicación y las tareas típicas de control solicitadas por el equipo docente para su desarrollo y evaluación.

5. LABORATORIO VIRTUAL DEL TANQUE SIMPLE

5.1 Contexto de aplicación

La medición y control del nivel de líquido al interior de contenedores es una aplicación típica de control que está presente en la industria productiva y manufacturera de múltiples rubros. Un ejemplo de ello se presenta en la Figura 1 donde se muestra una parte del proceso productivo del poliuretano, material flexible y resistente que se encuentra en una gran variedad de productos de uso cotidiano tales como: colchones, suela de zapatos, relleno de sillones, entre otros. Los compuestos químicos con los que se produce este material, el disocianato y el polioliol, se depositan en contenedores en los que es **necesario controlar el nivel (altura) de dichos compuestos en dichos contenedores** con el fin de que la salida de estos se mezcle y de origen al producto resultante, en este caso, el poliuretano. En estado estable, la altura de estos compuestos debiese mantenerse regulada para la correcta operación del proceso productivo.



Figura1. Control de nivel de compuestos químicos al interior de contenedores para la confección de espuma de colchones.

El control de nivel de un sistema de tanques o de “un solo tanque” es un problema de modelado y control típicamente analizado en cursos de control clásico. Técnicamente, el sistema está compuesto por un tanque de líquido con orificio de salida o sección de descarga, al cual entra un caudal variable de fluido que es regulado mediante la acción de una válvula (ver Figura 2).

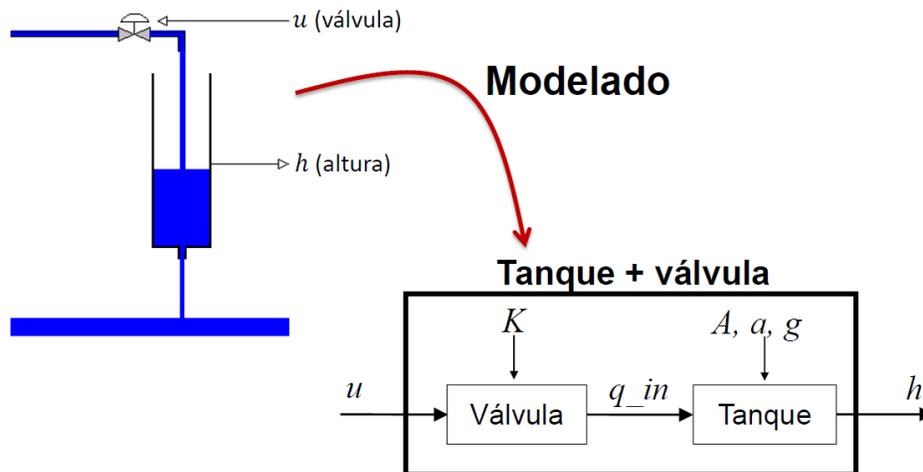


Figura 2. Sistema del Tanque Simple.

5.2 Modelado del Tanque Simple

Para el sistema de la Figura 2, la siguiente expresión representa la **ecuación diferencial no lineal** del sistema de un tanque que modela la conservación de la masa, donde h representa la altura del líquido al interior del tanque, A el área o sección del tanque, a el área del orificio de drenaje, g la aceleración de la gravedad a nivel del mar y u la tensión aplicada a la bomba que regula el caudal de entrada el flujo de entrada al tanque es:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{K_m u}{A} - \frac{a\sqrt{2gh}}{A} \quad [m/seg]$$

Donde:

K_m : Relación caudal-voltios de la bomba ($m^3/volt \cdot seg$)

u : Voltaje aplicado al motor de la bomba (*volts*)

g : Aceleración de gravedad (m/seg^2)

h : Nivel de líquido al interior del tanque (m)

a : Sección de la tubería de drenaje del tanque (m^2)

Por otra parte, es posible obtener un modelo lineal del tanque simple en torno a un punto de operación (h_0, u_0) alrededor del cual el sistema puede ser tratado como lineal. De esta manera, para un estado estacionario ($dh/dt = 0$) caracterizado por $h_0 = h(t)|_{t \rightarrow \infty}$ y $u_0 = u(t)|_{t \rightarrow \infty}$, a partir del modelo no lineal se deduce la condición de equilibrio:

$$u_0 = \frac{a\sqrt{2gh_0}}{K_m}$$

En este caso, las variables del sistema $h(t)$ y $u(t)$ se pueden representar como la suma del valor de estado estacionario que define el punto de operación (h_0, u_0) con el valor de la variable de desviación en torno a ese estado de equilibrio ($\bar{h}(t), \bar{u}(t)$):

$$\begin{aligned} h(t) &= h_0 + \bar{h}(t) \\ u(t) &= u_0 + \bar{u}(t) \end{aligned}$$

Desarrollando en serie de Taylor la parte no lineal del modelo y escogiendo únicamente los términos del desarrollo hasta el de primer orden, se obtiene entonces el **modelo linealizado** final en torno al punto de operación (h_0, u_0) es:

$$\frac{d\bar{h}}{dt} = \frac{K_m \bar{u}}{A} - \frac{a\bar{h}}{A} \sqrt{\frac{g}{2h_0}} \quad [m/seg]$$

5.3 Laboratorio Virtual

En base al modelo matemático, se diseñó y desarrolló un laboratorio virtual a través del cual los estudiantes de la asignatura llevarán a cabo un conjunto de experiencias prácticas solicitadas por el equipo docente. La Figura 3 muestra la apariencia del laboratorio virtual del tanque simple que se ha creado.

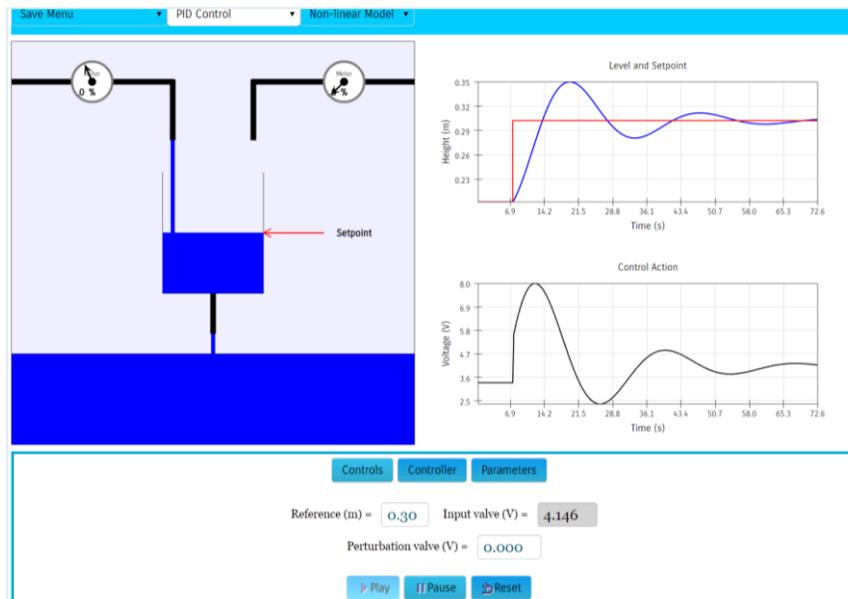


Figura 3. Interfaz del Laboratorio Virtual del Tanque Simple.

El laboratorio permite realizar experiencias de simulación del sistema tanto en lazo abierto como en lazo cerrado. Cuando se trabaja en lazo cerrado, es posible cambiar entre un control de tipo PID y un Compensador convencional de adelanto o atraso de la forma:

$$G_{pid}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad ; \quad G_c(s) = K_c \left(\frac{s + z}{s + p} \right)$$

Una tarea típica a desarrollar con esta aplicación es realizar un diseño analítico de un controlador o compensador para que trabaje sobre un punto de operación específico y, seguidamente, verificar su desempeño realizando múltiples experimentos de control sobre el sistema simulado. La aplicación permite además realizar comparaciones de los diseños sobre el sistema linealizado del tanque o el sistema no lineal original. La aplicación fue desarrollada en lenguaje de programación JavaScript, utilizando para ello la herramienta EjsS [12], y permitiendo así su fácil integración y ejecución de manera embebida en un navegador web estándar.

5.4 Integración de aplicaciones UNILabs en Aula Virtual PUCV

Los laboratorios virtuales que se encuentran disponibles en UNILabs fueron reformulados para permitir su uso efectivo y adecuado desde el Aula Virtual de la PUCV. El modo de uso de dichas aplicaciones, alojadas en la plataforma UNILabs, desde la plataforma web online propia de la PUCV se realiza por medio de un estándar de compartición de recursos educativos conocido como LTI por sus siglas en inglés de: Learning Tools Interoperability [13]. De este modo, los estudiantes de la asignatura de Control Automático de la PUCV pueden acceder al curso virtual de su materia con total normalidad y, desde allí, tienen disponible un enlace que les permite acceder, de forma transparente, a los recursos educativos proporcionados por UNILabs, sin necesidad de realizar ningún tipo de registro o identificación adicional. La Figura 4 muestra un ejemplo de este acceso. En la Figura 5 se ven dichos contenidos una vez accedidos desde el Aula Virtual de la PUCV.



Figura 4. Accediendo al curso online de UNILabs desde la plataforma de la PUCV por medio de LTI.

En relación a los laboratorios virtuales utilizados, se decidió implementar e integrar en UNILabs versiones nuevas de aplicaciones de laboratorio ya existentes. Estas nuevas versiones, por un lado, permiten su ejecución desde cualquier navegador y dispositivo móvil (gracias a que están creadas en javascript) y, por otro, están pensadas para adecuarse a las necesidades formativas y curriculares específicas de la asignatura de Control Automático de la PUCV, poniendo especial atención, además, a la introducción del modelo de competencias en el proceso de evaluación del aprendizaje del alumno.

La Figura 3 mostraba el laboratorio virtual del tanque simple una vez que ha sido accedido desde la plataforma. Para cada laboratorio virtual, se presenta una documentación asociada que: 1) contextualiza el problema y el sistema en cuestión dentro de ámbitos comunes profesionales e industriales de la ingeniería y 2) da un modelo matemático detallado de dicho sistema.



Figura 5. Práctica del Tanque Simple en plataforma UNILabs.

El curso online se estructura por Actividades y, dentro de éstas, por Tareas. Continuando con el ejemplo del sistema del tanque simple presentado en la sección anterior, la Figura 6 muestra los objetivos, actividades y tareas que un alumno debe alcanzar y realizar.

Sistema Tanque Simple

No disponible hasta que: Su Número de ID es 1

El control de nivel de un sistema de tanques o de "un solo tanque" es un problema de modelado y control que goza de gran popularidad. Este sistema está compuesto por un tanque de líquido con orificio de salida o sección de descarga, al cual entra un caudal variable de fluido mediante la acción de una bomba (actuador). Este problema tiene una variedad de aplicaciones en el ámbito industrial que lo hacen especialmente atractivo para su estudio y como recurso de formación básica de los estudiantes en esta disciplina. Lo invitamos a iniciar el desarrollo de las actividades asociadas a esta interesante experiencia teórico-práctica del curso.



Su progreso

- Objetivos**
 - Aplicar los conceptos de análisis y diseño de sistemas de control.
 - Realizar experiencias prácticas de control sobre sistemas físicos simulados.
 - Utilizar herramientas de análisis de sistemas de control.
 - Desarrollar competencias de formación fundamental y disciplinar del plan de estudios asociadas al ámbito del Control Automático.
- Distribución de Tareas**

Presentación: Estudio del sistema e inducción a la interfaz de simulación.

Actividad 1:

Tarea 1: Estudio del comportamiento del sistema controlado manualmente
Tarea 2: Análisis de la respuesta temporal

Actividad 2:

Tarea 3: Análisis de estabilidad
Tarea 4: Diseño de controladores PID

Actividad 3:

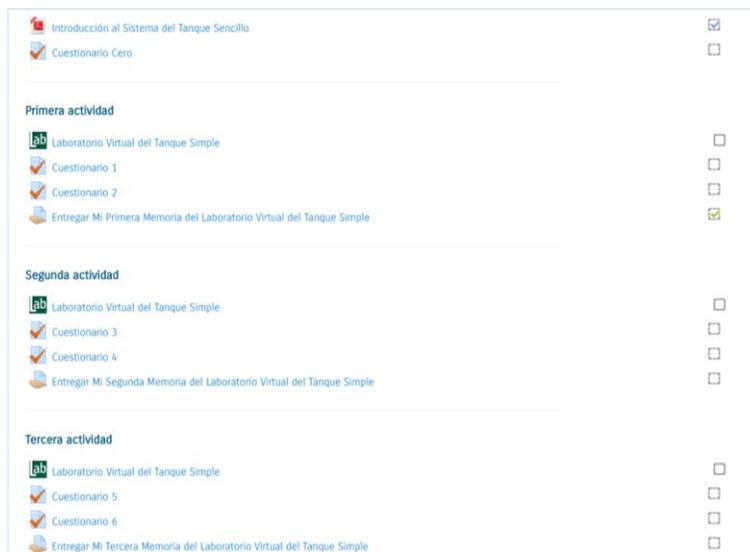
Tarea 5: Análisis del modelo del proceso en espacio de estados
Tarea 6: Diseño de reguladores en el espacio de estados

Figura 6. Objetivos, Actividades y Tareas asociados a los laboratorios virtuales del curso online.

A fin de evaluar las competencias adquiridas por los alumnos durante su proceso de aprendizaje en el transcurso de su trabajo con los laboratorios virtuales del curso online, los alumnos deben

completar algunas actividades adicionales. Por un lado, deben responder a unos cuestionarios que evalúan si los alumnos han adquirido ciertas competencias al finalizar unas tareas dadas. Por otro, se les pide entregar un informe de prácticas con una serie de preguntas y cuestiones bien definidas que también apuntan a la evaluación de desarrollo de competencias.

Tanto los cuestionarios como los informes son actividades que deben realizar los alumnos una vez hayan completado el trabajo correspondiente con la aplicación del laboratorio virtual. Ambas cosas, cuestionarios e informes, se realizan por Actividades. Es decir, sabiendo que hay tres Actividades definidas para cada laboratorio virtual (véase el caso del tanque simple en la Figura 6), los alumnos pasan por realizar cuestionarios e informes de práctica 3 veces para cada laboratorio virtual; una por cada Actividad definida para el mismo. La Figura 7 muestra esta estructura del curso.



Introducción al Sistema del Tanque Sencillo	<input checked="" type="checkbox"/>
Cuestionario Cero	<input type="checkbox"/>
Primera actividad	
Laboratorio Virtual del Tanque Simple	<input type="checkbox"/>
Cuestionario 1	<input type="checkbox"/>
Cuestionario 2	<input type="checkbox"/>
Entregar Mi Primera Memoria del Laboratorio Virtual del Tanque Simple	<input checked="" type="checkbox"/>
Segunda actividad	
Laboratorio Virtual del Tanque Simple	<input type="checkbox"/>
Cuestionario 3	<input type="checkbox"/>
Cuestionario 4	<input type="checkbox"/>
Entregar Mi Segunda Memoria del Laboratorio Virtual del Tanque Simple	<input type="checkbox"/>
Tercera actividad	
Laboratorio Virtual del Tanque Simple	<input type="checkbox"/>
Cuestionario 5	<input type="checkbox"/>
Cuestionario 6	<input type="checkbox"/>
Entregar Mi Tercera Memoria del Laboratorio Virtual del Tanque Simple	<input type="checkbox"/>

Figura 7. Estructura de cada módulo de laboratorio en el curso online.

La Figura anterior muestra, además, en la parte superior, la disposición de la documentación asociada al laboratorio a la que nos referíamos anteriormente y, en la parte derecha, unas casillas de seguimiento que permiten visualizar el avance de un alumno a lo largo de los contenidos del curso online. La finalización de cada una de las fases o etapas del curso, permitirá añadir, de manera automática, evidencias de las competencias que los alumnos van desarrollando a medida que progresan por los contenidos de dicho curso.

6. EVALUACIÓN DE COMPETENCIAS

Un aspecto clave en la evaluación del curso de Control Automático bajo el paradigma de Enseñanza basada en Competencias es la definición de la estructura evaluativa. En el caso particular de éste trabajo, se consideró evaluar por un lado los contenidos del curso y por otro, el nivel de logro de competencias.

El primer paso en la definición de la estructura de evaluación fue definir la correlación entre resultados de aprendizaje y competencias del curso, tal como se observa en la Tabla 1. De esta manera, el nivel de logro de la Competencia 1 se evalúa midiendo el avance de los estudiantes respecto al primer resultado de aprendizaje declarado para el curso. De manera similar ocurre

para las Competencias 3 y 4 del curso. Algo distinto ocurre para la Competencia 2, en donde el nivel de logro de la competencia será medido en base a dos resultados de aprendizaje, RA2 y RA3, con su correspondiente ponderación. Esto último, corresponde a una definición del equipo docente del curso que considera que ambos resultados de aprendizaje aportan al desarrollo de la Competencia 2 con sus ponderaciones respectivas.

Tabla 1. Relación entre Resultados de Aprendizaje y Competencias.

Competencia	Resultados de Aprendizaje	Ponderación
C1	RA1	100%
C2	RA2	80%
	RA3	20%
C3	RA4	100%
C4	RA5	100%

Para la medición del nivel de logro de las competencias, la propuesta plantea evaluar los RA con una calificación ordinaria (nota de 1 a 7) en cada herramienta evaluativa del curso, utilizando una rúbrica de evaluación para estos fines. De esta manera, el estudiante obtendrá una calificación final para cada competencia en base a la calificación obtenida para los resultados de aprendizaje en las herramientas de evaluación descritas en la sección 3 de este trabajo. La escala de nivel de logro de las competencias fue definida con tres niveles: 1) Logrado (cuando la calificación final de la competencia está entre 5,5 y 7,0), 2) Medianamente Logrado (cuando la calificación final de la competencia está entre 4,0 y 5,4) y 3) No logrado (cuando la calificación final de la competencia está entre 1,0 y 3,9). Ésta es una definición propia de escala de logro propuesta por el equipo docente, pudiendo esta integrar más niveles según se requiera.

Finalmente, conviene mencionar que un aspecto clave en la efectividad de este modelo es la correcta preparación de las herramientas evaluativas del curso desde el punto de vista de su intencionalidad. Por ejemplo, para una prueba de Cátedra del curso, cada pregunta debe ser diseñada de tal manera que éstas puedan ser relacionadas no sólo al contenido del curso que se evalúa sino también a los resultados de aprendizaje que se pretenden propiciar y/o medir. Como resultado de la evaluación, se contará con una nota total respecto al contenido evaluado y, adicionalmente, una nota asociada a cada resultado de aprendizaje medido en la misma. En resumen, cada herramienta evaluativa del curso deberá ser diseñada con intencionalidad hacia los resultados de aprendizaje, lo que permitirá calificar con una “nota” tanto el logro en la abstracción de los contenidos como el logro en el desarrollo de las competencias.

7. CONCLUSIONES

Se presentó una propuesta metodológica innovadora para la evaluación de la asignatura de Control Automático que se enmarca en un modelo de enseñanza basada en Competencias. Se considera novedosa la propuesta ya que presenta dos elementos interesantes. Primero, integra el uso de laboratorios virtuales y remotos en una de las herramientas evaluativas del curso. A través de ellos, los estudiantes realizan experimentos sobre modelos simulados de procesos reales del ámbito industrial, estimulando la motivación de los estudiantes que no suelen contar con este tipo de actividades en asignaturas de corte teórico. Adicionalmente, esto permite a los estudiantes llegar mejor preparados a la asignatura de “Laboratorio de Control Automático” que sigue a la asignatura teórica en el plan de estudios analizado.

Por otra parte, se presentó una metodología para la evaluación de la asignatura en el contexto de un plan de estudios basado en Competencias. Aunque este trabajo presenta su aplicación al curso de Control Automático, ésta puede ser utilizada en cursos de Ingeniería de cualquier disciplina que integre teoría y práctica en su desarrollo formativo.

Esta propuesta está actualmente siendo aplicada en un curso regular de Control Automático de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la PUCV donde se pretende estudiar y medir el impacto final de esta innovación docente en los estudiantes de esta disciplina.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Proyecto Corfo 14ENI2-26905 “Nueva Ingeniería para el 2030” por el apoyo financiero obtenido bajo la convocatoria de proyectos DOC-INNOVA 2017 de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile).

REFERENCIAS

- [1] “The European Higher Education Area (EHEA) in a global context: Report on overall developments at the European, national and institutional levels”, February, 2009. Información disponible en el siguiente enlace web: https://media.ehea.info/file/2009_Leuven_Louvain-la-Neuve/90/6/2009_EHEA_in_global_context_594906.pdf.
- [2] M. Abdulwahed, Z. K. Nagy, “The trilab, a novel ict based triple access mode laboratory education model” *Computers & Education*, Vol. 56, pp. 262-274, 2011.
- [3] W. G. Spady, “Competency Based Education: A Bandwagon in Search of a Definition”, *Educational Researcher*, Vol. 6, pp. 9-14, 1977.
- [4] N. F. Dufty, “Competency Based Education”, Discussion paper, The Western Australian Labour Market Research Centre, 1992. Available online at: <http://www.voced.edu.au/content/ngv:11956>
- [5] X. Chen, G. Song, Y. Zhang, “Virtual and Remote Laboratory Development: A Review” 12th International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments, pp. 3843-3852, 2010.
- [6] R. Heradio, L. de la Torre, D. Galan, F. J. Cabrerizo, E. Herrera-Viedma, S. Dormido, Virtual and Remote Labs in Education: a Bibliometric Analysis, *Computers & Education*, Vol. 98, pp. 14-38, 2016.
- [7] J. Mendoza, M. Lopez, P. Alonso, “Un Modelo para el Rediseño de las Carreras de Ingeniería Civil Eléctrica y Electrónica de la Pontificia Universidad Católica De Valparaíso”, XXIX Congreso Chileno de Educación en Ingeniería SOCHEDI 2016, Pucón, Chile, 2016.
- [8] L. de la Torre, J. P. Sánchez, S. Dormido, “What remote labs can do for you”, *Physics Today*, vol. 69, pp. 48-53, 2016.
- [9] S. Dormido, “Control Learning: Present and Future,” *Ann. Rev. in Control*, vol. 28, no. 1, pp. 115-136, 2004.
- [10] R. Heradio, L. de la Torre, S. Dormido. “Virtual and Remote Labs in Control Education: A Survey”. *Annual Reviews in Control*, Vol. 42, pp. 1-10, 2015.
- [11] H. Vargas, J. Sánchez, C.A. Jara, F. Candelas, F. Torres, S. Dormido. “A Network of Automatic Control Web-based Laboratories”. *IEEE Transactions on Learning Technologies (IEEE TLT)*, Vol. 4, N3, pp. 197-208, 2011.
- [12] EJSs disponible en: <http://fem.um.es/EjsWiki/>
- [13] Estándar LTI. Disponible en <https://www.imsglobal.org/activity/learning-tools-interoperability>.