



Una formación de calidad
en ingeniería para el futuro

Centro de Convenciones Cartagena de Indias
15 al 18 de Septiembre de 2015

HACER INGENIERÍA CON EL PROYECTO MARIMBA

Hernán Darío Cortés Silva

**Universidad Central
Bogotá, Colombia**

Resumen

Los estudiantes de primer semestre de la carrera de Ingeniería Mecánica son recibidos con el desafío de hacer ingeniería, a través de un proyecto centrado en la concepción de que la ingeniería también requiere de intuición y creatividad, que son dos recursos que el ser humano utiliza para defenderse en la vida. Tomar esas virtudes y modelarlas para beneficio de la ingeniería es lo que hace este proyecto. El reto consiste en diseñar y construir una marimba mecanizada que sea capaz de ejecutar en forma autónoma una melodía.

Así empieza un camino de dieciséis semanas, durante las cuales los estudiantes tendrán que responder muchas preguntas: ¿Qué es una octava musical?, ¿Cómo se puede medir el sonido de una tabla de madera?, ¿Cómo usar la regresión lineal para calcular la longitud de las tablillas de una marimba?, ¿Sirve la fresadora para crear las partes del instrumento? ¿Cómo se programa un Arduino para producir una melodía? Y las preguntas siguen.

Todas estas son cuestiones con las que tienen que lidiar los estudiantes de ingeniería desde el primer momento, en un proceso continuo e iterativo de diseño, construcción y registro de las actividades. Su pensamiento tiene que estar verificando permanentemente la validez de la teoría a través de la construcción, para luego tener el reto de abstraer el proceso en videos.

Este es el Proyecto Marimba para involucrar desde el primer semestre a los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central en el complejo mundo de hacer ingeniería. Y el artículo da cuenta de cómo ocurre el proceso y qué resultados se obtienen, tanto en los productos físicos, como en la formación de una mente de ingeniero.

Palabras clave: Integración pedagógica; hacer ingeniería; marimba

Abstract

The freshmen of Mechanical Engineering are greeted with a particular demand for engineering. The project is centered on the idea that engineering also requires intuition and creativity, which are two human resources to live. Taking those virtues and modeling them for the benefit of engineering is what makes this project. Students receive the challenge of designing and building a mechanized marimba that is capable of self-running a melody.

So begins a journey of sixteen weeks, during which they will have to answer so many questions: What is a musical octave? How can you measure the pitch of the sound produced by a wooden board? Does the linear regression serve to calculate the length of the marimba bars? Can be used milling to create instrument parts? How to use Arduino to produce a melody on the marimba? And questions go on.

All these are issues that engineering students have to deal from the outset, in a continuous and iterative process of design, construction and activity log. His mind has to be continuously in theory validity checking through the construction. Then they have the challenge of abstracting the process through videos.

This is the Marimba Project to involve freshmen of Mechanical Engineering of the Central University in the complex world of doing engineering. And the article reports on how the process occurs and what results are obtained in both physical products and forming an engineering mind.

Keywords: *pedagogical integration; doing engineering; marimba*

1. Introducción

El Proyecto Marimba es el resultado del desarrollo de un curso de Práctica de Ingeniería en el programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central en Bogotá, a lo largo de varios períodos lectivos de trabajo. Es un proyecto maduro, por la composición técnica que tiene, las características pedagógicas y los resultados logrados con el mismo, después de pasar por diversos cambios curriculares a nivel de la asignatura. Este artículo presenta esas características y plantea posibles mejoras para un curso que permite incorporar a los nuevos estudiantes en el ámbito de la ingeniería como individuos pensantes, críticos, interactivos y generadores de respuestas a los problemas del entorno.

La asignatura Práctica de Ingeniería hace parte del plan de estudios de los programas de Ingeniería en la Universidad Central. Su propósito fundamental es que el estudiante viva situaciones propias de desempeño como ingeniero, de allí que se hable de “hacer ingeniería” y que se utilice el proyecto como recurso pedagógico para hacerlo posible. Este cuenta con características apropiadas para vivir experiencias de ingeniería, como las que mencionan Badia y García (2006), en relación con el enfoque por proyectos: “los objetivos del aprendizaje, los requerimientos cognitivos de la tarea, el acceso a la

información o el producto que debe elaborarse tienen una relación directa con la actividad que se da en escenarios reales, de la vida cotidiana, de determinadas profesiones”.

La semilla del proyecto se incuba en conversaciones académicas espontáneas entre docentes, cuando las preguntas, inquietudes o lamentaciones se ponen en discusión en la oficina. Aunque el proyecto tiene definiciones específicas en el diseño curricular de la carrera a través de las Prácticas de Ingeniería, los temas de estudio y desarrollo pueden ser variados. A través de ellas se han desarrollado esferódromos, arachnadoras y máquinas musicales. En estas últimas se ha incursionado en el campo de los instrumentos de cuerda, aire y percusión, siendo el Proyecto Marimba la decantación de varias experiencias anteriores en este sentido.

La fuente de ideas acerca de los posibles proyectos es variada; algunos surgen de conversaciones, otros de observaciones y claro está también la lectura es una fuente de primera mano. En este último campo, el sitio Web del International Young Physicists Tournament (IYTP, s.f.), es un buen referente como fuente de proyectos.

2. Propósito y justificación del proyecto

El proyecto en las Prácticas de Ingeniería está concebido como un desafío de diseño que debe culminar en la construcción de un artefacto físico y la documentación cabal del proceso; este enfoque es lo que permite vincular teoría y práctica. La teoría ayuda al estudiante a acortar caminos, prever recursos, adelantar hipótesis, sugerir estrategias, mientras que la práctica le permite validar la teoría, experimentar con los fenómenos estudiados, desarrollar destrezas constructivas e identificar las limitaciones y vacíos de la teoría.

La mediación del proceso de aprendizaje a través de un proyecto tiene bondades formativas que lo convierten en un método apropiado para vivir experiencias de formación y desarrollo de actitudes profesionales y humanas, como lo afirman Villarroel y Herrera: “el método de proyecto procura desenvolver al espíritu de iniciativa, de responsabilidad, de solidaridad y de libertad (2004, p. 75)”. Con la mediación del proyecto se fortalece la capacidad del estudiante para tomar decisiones y validarlas a través de la construcción. Se estimula la interacción y la comunicación entre pares, mientras se cultiva la capacidad para superar diferencias, asumir posiciones intelectuales, defenderlas frente a posiciones distintas y llegar a acuerdos productivos.

Sin embargo, el proyecto no es una panacea pedagógica. Los resultados obtenidos dependen en gran medida de variables difíciles de controlar en el proceso como es el caso de la actitud asumida por el grupo frente al desafío que se les plantea. Igualmente intervienen otras variables como las identificadas por Gluck y King (2015), quienes establecieron que el alcance y la sofisticación de un proyecto dependen en gran medida de la experiencia de los integrantes, el trabajo en equipo, la destreza de la mano de obra, y la capacidad y la voluntad de aprender.

Finalmente, puede afirmarse que el aprendizaje basado en proyectos es un enfoque del proceso de aprendizaje que promueve el desarrollo de las habilidades de orden superior (Martí, et al., 2010). La creación y el diseño son dos de estas habilidades que, por su complejidad, integran habilidades más específicas como son el análisis, la comparación o la deducción.

3. La estructura del curso

Las Prácticas de Ingeniería constituyen una línea dentro del plan de estudios, compuesta por cinco cursos con distintos niveles de desempeño. La Práctica de Ingeniería 1 es un curso que pretende hacer ingeniería apelando a la creatividad y la intuición del estudiante. La Práctica 2 incorpora al proceso el estudio y aplicación de una metodología de diseño validada en la literatura técnica. Las otras tres Prácticas condensan las experiencias anteriores y hacen énfasis en las líneas de profundización de la carrera.

El Proyecto Marimba inicia con el planteamiento del desafío para construir una marimba que ejecute de manera autónoma una melodía. Para que el desafío no sea avasallador para los estudiantes, el docente tiene la misión de mostrar que no solamente es alcanzable sino que además les permitirá descubrir en sí mismos las fortalezas que tienen. Además el proyecto está diseñado para que los estudiantes puedan asumir el reto de una forma paulatina y con un recorrido que va de lo simple a lo complejo. Esto se logra con la realización de actividades semanales especialmente diseñadas que les proporcionan la información relevante para que puedan diseñar y construir el artefacto pedido.

El curso se ha diseñado para que transcurra en tres fases técnicamente diferenciadas pero conexas dentro del sistema, como se describe a continuación.

3.1 Generación del sonido.

La primera fase se enfoca al problema físico de generar los sonidos que se necesitan. Los estudiantes comienzan por experimentar la producción del sonido con la percusión de objetos cotidianos. Esta actividad, junto con la consulta de la literatura pertinente y la orientación cercana del docente, los lleva a identificar algunas características deseables en los materiales y cuerpos para producir estos sonidos.

Pero la actividad tiene que ir mucho más allá para que el proceso sea útil. Deben construir las tablas de la marimba para producir las notas de dos octavas seguidas. Octavas, notas, escalas musicales y frecuencias son conceptos que tienen que consultar, conocer, medir y aplicar para lograr que las tablas suenen como se quiere. No es suficiente con presentar un trabajo escrito, sino que deben ser capaces de materializarlo en una marimba que les permita tocar melodías.

En esta fase cortan tablas del material que han escogido, miden su longitud y su frecuencia de vibración y modelan matemáticamente estas variables. Obtienen una

función que les permitirá cortar cualquier tabla a la longitud necesaria para producir el tono requerido. Las tablas se montan sobre el bastidor construido para tal fin y cuando concluyen la marimba deben ejecutar individualmente una melodía sobre la misma, como una forma de validar la calidad del producto obtenido y de desarrollar el lado derecho del cerebro ingenieril.

3.2 Mecanización

La segunda fase tiene el propósito de mecanizar la generación del sonido en cada tablilla. Los estudiantes aprenden y aplican algunos conceptos, leyes, componentes y prácticas de la electromecánica. Tienen ahora el desafío de diseñar y construir el sistema para golpear las tablillas sin intervención de la mano humana. Son guiados para conocer la representación técnica de un circuito eléctrico, hacer el montaje respectivo y poner a funcionar un motor. Ahora tienen que diseñar el accionamiento mecánico de un golpeador de la tablilla utilizando el motor para proporcionar un movimiento de acción y otro de recuperación. Las ideas de los estudiantes reciben del docente evaluaciones en su viabilidad técnica, económica y mecánica, y recomendaciones específicas para que puedan convertirse en realidades.

El golpeador de una tablilla se ha logrado. Ahora hay un nuevo reto que cumplir para que el mecanismo sea algo más complejo, ya que debe repetirse 15 o 25 veces, dependiendo de la escala musical que el grupo haya escogido. Todo el montaje debe hacerse en un espacio reducido, donde pululan cables, motores y piezas en movimiento.

3.3 Control de la melodía

La marimba está construida, afinada y cuenta con un mecanismo que la hace sonar. Ahora es necesario dotarla de un cerebro que la controle de manera armónica para que pueda producir melodías agradables en lugar de ruidos inconexos. Entra en escena el estudio y aplicación de Arduino, una tarjeta electrónica de código abierto basada en un software y hardware de fácil uso. Está diseñada para cualquiera que desarrolle proyectos interactivos (Arduino Home, s.f.), y eso es justamente el Proyecto Marimba: un proyecto interactivo.

Los estudiantes incursionan en el conocimiento de la tarjeta, sus posibilidades de control, la manera de conectarla y programarla. El software de programación de Arduino cuenta con ejemplos útiles escalados según distintos niveles de complejidad y campos de uso. Acudiendo a ellos, los estudiantes son orientados por el docente para montar circuitos que aumentan en complejidad hasta lograr controlar un motor de corriente continua; justamente el motor que acciona el golpeador de la marimba. Controlado un motor ya es más fácil controlar 15 o 25, aunque esto aumenta la cantidad de componentes que deben disponerse en la marimba.

Culminada la tercera fase los estudiantes tienen como resultado una marimba que puede ser programada para ejecutar cualquier melodía de manera autónoma. Han

transcurrido en todo el trayecto 16 semanas, el aparato está vivo, suena y lo hace armoniosamente.

4. Características del proyecto

Con la realización del Proyecto Marimba se han podido identificar algunas características interesantes de carácter formativo para los estudiantes de ingeniería mecánica, así como pedagógico para el ejercicio docente, como se describe a continuación.

4.1 Formación del ingeniero

El Proyecto Marimba se constituye en una plataforma pedagógica de integración de diversos campos de estudio y desempeño técnico para el beneficio profesional del futuro ingeniero. Se destacan los siguientes:

- a. Ayuda a adquirir habilidades importantes para formar una mente investigativa como la medición de parámetros físicos, el modelado matemático de fenómenos reales, la documentación de procesos o la consulta de literatura pertinente del fenómeno en estudio.
- b. Contribuye al conocimiento, especificación y uso de componentes electromecánicos que cumplan funciones específicas.
- c. Se comprende la automatización de procesos para cumplir funciones atendiendo a necesidades y especificaciones particulares de tiempo y movimiento.
- d. Permite el conocimiento y aplicación de componentes y circuitos electrónicos.
- e. Se utiliza la programación computarizada para el control de motores.
- f. Se usan las TIC para difundir información, organizar actividades, intercambiar conocimientos o aplicar recursos de Internet. Se destacan la utilización de foros técnicos, software, videos, sitios especializados como el de Arduino, *datasheets* o la plataforma Moodle.
- g. Estimula el desarrollo de competencias comunicativas y emocionales para trabajo en equipo.
- h. Desarrolla la creatividad, asociada con el estudio del fenómeno musical y su ejecución.
- i. Permite el desarrollo de destrezas manuales para construir partes y ensamblar componentes, valorando aspectos como la precisión dimensional.
- j. Cultiva el pensamiento para desarrollar aptitudes para la observación, la asunción de retos, la mente inquisitiva y propositiva y la toma de decisiones.
- k. Valora la disciplina de trabajo en los grupos para entregar a tiempo los avances del proyecto.

La complejidad de estas competencias es similar a las que tiene el físico experimental descrito por el Nobel de Física inglés P.M.S. Blackett (citado por Gluck y King, 2015, p.2), y pueden tomarse como referente para comprender el quehacer del ingeniero mecánico:

El físico experimental es un aprendiz de todo, un artesano versátil, pero aficionado. Debe soplar el vidrio y girar el metal, a pesar de que no podría ganarse la vida ni como un soplador de vidrio, ni ser clasificado como un mecánico cualificado; debe hacer carpintería, fotografía, circuitos eléctricos y ser un maestro de gadgets de todo tipo; puede tener una formación muy valiosa como ingeniero y siempre puede beneficiarse mediante la utilización de sus dones como matemático. El físico experimental debe ser lo suficientemente teórico para saber qué experimentos vale la pena hacer y lo suficientemente artesano para poder hacerlos.

4.2 Desafíos docentes

Si los estudiantes se ven enfrentados a desafíos como protagonistas del Proyecto Marimba, el docente también tiene que hacer gala de sus competencias para cumplir el papel que tiene en el proyecto. Su rol le exige tener mente abierta, capacidad de aprendizaje y observación, conocimiento de procesos constructivos y facultad para orientar a los estudiantes en la exploración de temas novedosos.

Aunque las decisiones de diseño y construcción las toman los estudiantes al interior de cada grupo, el profesor realiza, desde su experiencia y conocimiento, funciones de asesoría en aspectos tales como las técnicas adecuadas, la tecnología recomendada o los procesos de fabricación, montaje y conexión. También facilita los caminos de aprendizaje para que el proceso sea más eficiente, como la selección de los códigos de software libre disponibles con Arduino, como se describió anteriormente.

El docente también tiene que prever que los proyectos se desarrollen al ritmo adecuado. Es por eso que se dispone de la entrega periódica de avances que permiten la consecuente retroalimentación del docente para corregir a tiempo el rumbo de proyectos que estén perdiendo de vista su objetivo.

Aunado a lo anterior, el docente vive anticipadamente su propia experiencia de diseño y construcción de una marimba para prever complicaciones, identificar necesidades, ubicar recursos y diseñar acciones y experiencias, que constituyan finalmente un proyecto viable de realizar en 16 semanas. La marimba de la Figura 1 fue construida por el docente y su funcionamiento se puede observar en el video publicado en Internet (Cortés, 2015a).

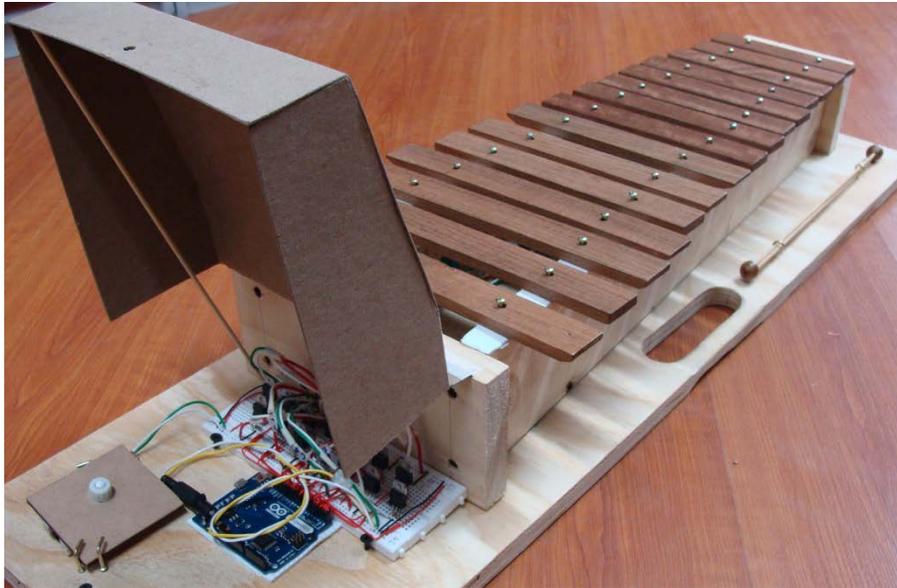


Figura 1. Marimba construida por el docente para prever recursos pedagógicos.

4.3 Integración de recursos

A través del Proyecto Marimba se logran integrar diversos recursos de carácter tecnológico y pedagógico, dentro de los cuales se destacan los siguientes:

Los estudiantes tienen la oportunidad de incursionar en áreas del conocimiento humano distantes al de la ingeniería a través de la consulta de información sobre el fenómeno musical y las representaciones humanas del mismo, como es el caso de las escalas musicales diatónicas y cromáticas, los tonos y las partituras. En el mismo sentido, otro de los retos para los estudiantes es el de tocar personalmente una melodía en la marimba construida por ellos mismos.

Otro componente del proyecto consiste en el registro semanal del proceso a través de videos, el cual exige a los estudiantes comprender la instrucción dada, realizar las actividades de consulta, diseño y construcción y mantener la atención en aquellos aspectos que son importantes para registrarlos a través de imágenes que les permitan dar cuenta de la actividad realizada.

En cuanto al uso de tecnologías, para que el proyecto sea exitoso los estudiantes tienen que usar variedad de ellas de tipo mecánico, eléctrico, electrónico, computacional, de información y comunicación.

Para la fabricación de los componentes de la marimba se contempla el uso de talleres y laboratorios de la Universidad. Allí los estudiantes tienen la oportunidad de conocer y ejecutar distintos procesos constructivos de acuerdo con sus necesidades, como son torneado, fresado, corte y soldadura, así como las características de ingeniería de diversos materiales.

En relación con las TIC, a través del proyecto se usan programas para edición de videos y la plataforma Youtube para su publicación. La plataforma Moodle se utiliza para la administración del curso, incluyendo la difusión de información de interés, centralización de información relativa a las publicaciones y control de tiempos de entrega.

5. Resultados presentes y mejoras futuras

Al concluir el proyecto en el período 2015-1 se lograron resultados con diversos grados de aprovechamiento. Una muestra de los videos presentados por los estudiantes se puede observar en el video de síntesis utilizado para ambientar la exposición pública que se hizo de las marimbas en un recinto de la Universidad (Cortés, 2015b). En el mismo video se observa una de las marimbas construidas por los estudiantes.

Durante la exposición pública los estudiantes fueron entrevistados de manera espontánea por los visitantes sobre la experiencia realizada y las respuestas fueron de satisfacción por su propio desempeño y la proyección que tienen de los conocimientos logrados con el proyecto.

La asignatura Práctica de Ingeniería 1 tendrá nuevos protagonistas en el futuro y el Proyecto Marimba continúa con mejoras y modificaciones que permitan su evolución en el tiempo y el continuo desarrollo del docente. Entre las mejoras previstas están las siguientes:

1. El componente de control puede refinarse y ampliarse para que no sea un sistema cerrado sino que pueda interactuar con el entorno, brindando respuestas a determinadas señales que procedan de allí.
2. La mecanización puede diversificarse para explorar distintos mecanismos que permitan realizar las funciones de percusión de diversa manera.
3. La generación de sonido tiene un campo de acción amplio, controlando diversos fenómenos de vibración, como aire, cuerdas, láminas, membranas y cuerpos.
4. Una mejora que se puede introducir en este tipo de proyectos es la de involucrar a profesores y estudiantes de otras disciplinas para desarrollar un proyecto interdisciplinario. Pueden intervenir profesores de ingeniería electrónica, ingeniería de sistemas o computación y maestros de música.
5. El proyecto se puede mejorar en el futuro incorporando herramientas computacionales para simular los fenómenos de vibración ocurridos.

El Proyecto Marimba ha sido una experiencia gratificante desde la óptica docente y se constituye por lo mismo en un peldaño que permite ascender en el largo e incierto camino de la docencia universitaria.

6. Referencias

- Arduino (s.f.). What is Arduino? (Sitio Web). Consultado en <http://www.arduino.cc/>
- Badia, A. y García, C. (2006). Incorporación de las TIC en la enseñanza y el aprendizaje basados en la elaboración colaborativa de proyectos. *Universities and Knowledge Society Journal*, Vol. 3, N° 2, pp. 42-54.
- Cortés, H.D. (2015a). Marimba Autónoma. (Video). Consultado en <https://youtu.be/IUPUfuOFTo0>
- Cortés, H.D. (2015b). Proyecto Marimba. (Video). Consultado en <https://youtu.be/345dKwzmT2M>
- Gluck, P. y King, J (2015). Physics Project Lab. Oxford: Oxford University Press.
- IYTP (s.f.). International Young Physicists´Tournament. (Sitio Web). Consultado en <http://iypt.org/Home>
- Martí, J.A., Heydrich, M., Rojas, M. y Hernández, A. (2010). Aprendizaje Basado en Proyectos. *Revista Universidad EAFIT*. Vol. 46, N°158, pp. 11-21.
- Villarroel G. C. y Herrera S. C. (2004). Sobre la posibilidad de aplicar la metodología orientada al proyecto, en la enseñanza de la ingeniería de la Universidad de Tarapacá-Chile. *Revista de Facultad de Ingeniería*, Vol. 12, N°2, pp. 74-83.

Sobre el autor

- **Hernán Darío Cortés Silva** Ingeniero Mecánico, Especialista en Pedagogía, Instructor Asociado en la Universidad Central, hcortess@ucentral.edu.co

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

Copyright © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)