



Encuentro Internacional de
Educación en Ingeniería ACOFI

**GESTIÓN, CALIDAD Y DESARROLLO
EN LAS FACULTADES DE INGENIERÍA**

Cartagena de Indias, Colombia
18 al 21 de septiembre de 2018



APLICACIÓN DE PRUEBAS CONCEPTUALES EN CIRCUITOS ELÉCTRICOS PARA EL MEJORAMIENTO MICROCURRICULAR

Michaël Canu, Mónica Patiño

**Universidad El Bosque
Bogotá, Colombia**

Mauricio Duque

**Universidad de Los Andes
Bogotá, Colombia**

Resumen

Aunque en el mundo anglohablante, por ejemplo, en EE.UU., las pruebas conceptuales (llamadas "Concept Inventories") son comunes en la educación media como superior, y a veces incluidas en los lineamientos del American Board for Engineering and Technology (ABET), en Colombia no hay iniciativas precisas para desarrollar este tipo de herramienta de medición ni en la educación media ni en la educación superior. Sin embargo, algunos autores han utilizado este tipo de prueba en educación en ingeniería en el país, pero sólo para comprobar modalidades alternativas de enseñanza de contenidos específicos como circuitos eléctricos o control de sistemas, pero no ha habido estudios enfocados en esta prueba y su poder de predicción del desempeño estudiantil o de detección de las fallas de los métodos y prácticas comunes en la enseñanza en las facultades de ingeniería. Este artículo propone un paso en esta dirección, mostrando una utilización enfocada en la educación en electrónica, y más precisamente en los conceptos básicos de circuitos eléctricos. Basado en la primera versión del Electric Circuits Concept Inventory de Engelhard and Beichner, modificado, la herramienta propuesta permitió medir el desempeño conceptual de los estudiantes de ingeniería electrónica de una universidad colombiana y extraer informaciones pertinentes sobre las mejoras del currículo actual.

Palabras clave: evaluación; conocimiento conceptual; educación en ingeniería, prueba conceptual

Abstract

English-speaking countries, like USA, frequently apply conceptual tests (also called "Concept Inventory") in secondary education, as well in undergraduate education. These test are sometimes included in the guidelines of the American Board for Engineering and Technology (ABET). However, in Colombia there are no precise initiatives to develop this type of assessment tool neither in high schools nor in colleges.

Although some authors in Colombia have used this type of test in engineering education, they had used them only to check alternative modalities of teaching for specific contents as electrical circuits or systems control. Until now, there are not studies focused on this test and its power to predict students' performance. Neither, the use of concept inventories has been used to detect failures of commonly used teaching methods and practices in engineering schools. This article shows a step forward in this direction, showing a focused use of concept inventories in education in electronics, and more precisely in basic concepts of electricity.

Based on the first version of the Electric Circuits Concept Inventory of Engelhard and Beichner, revisited, the proposed tool allows us to measure the conceptual performance of electronic engineering undergraduate students in a Colombian university. Results provide pertinent information that can be used to improve the current curriculum.

Keywords: *assessment; conceptual knowledge; engineering education; concept inventory*

1. Introducción

Una característica fundamental del ingeniero experto en una área específica es la capacidad de utilizar conceptos disciplinarios para resolver problemas (Pellegrino, Di Bello, & Brophy, 2013). Sin embargo, a menudo los estudiantes no son capaces de generalizar sus conocimientos a otros problemas y contextos que difieren de los que les permitieron construir dicho conocimiento. Desde hace tres décadas se vienen desarrollando diferentes pruebas de nivel conceptual para evaluar tanto a los estudiantes de ingeniería como las metodologías de enseñanza utilizadas. Los *Concept Inventories* (CI) dan un buen ejemplo de la utilización de modelos conceptuales sobre la comprensión de los estudiantes para generar un conjunto de preguntas de manera sistemática (a partir de elementos cognitivos y de observaciones del razonamiento utilizado).

El CI consiste en preguntas de respuestas múltiples en las cuales los distractores (proposición de respuestas incorrectas) fueron desarrollados primero para preguntas abiertas y para analizar las respuestas dadas. Las preguntas se basan en las investigaciones en educación y más específicamente en las investigaciones sobre las concepciones (llamadas *erróneas* o *alternativas*) de los estudiantes. De hecho, los distractores son en general representativos de las concepciones erróneas de los estudiantes y no son escogidos al azar como sucede con frecuencia en las evaluaciones de respuestas múltiples clásicas. Por eso, los CI están muy enfocados en un concepto particular y preciso de un área disciplinar como el concepto de fuerza, de leyes del movimiento, de mecánica estática, o dinámica, de electricidad, etc.

Varios sitios en internet proponen este tipo de prueba de manera libre para el uso de los docentes de la educación media y superior. Uno de los más conocidos es el sitio PhysPort de la American Association of Physics Teachers (AAPT) en el cual se puede encontrar muchos Concept Inventories actualizados de manera regular (<https://www.physport.org/assessments/>).

2. El “Electric Circuit Concept Inventory” ECCI

Varios autores desarrollaron CI en temas de electricidad como (Rahman & Ogunfunmi, 2010) o (Engelhardt Paula & Beichner, 2004) que concibieron una prueba conceptual sobre el tema de fundamentos de circuitos eléctricos llamada DIRECT (Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test). Este CI fue utilizado por ejemplo por (Getty, 2009) para evaluar una intervención didáctica basada en indagación con estudiantes de universidad (evaluación formativa y sumativa).

Esta evaluación incluye preguntas que apuntan a varios conceptos esenciales de circuitos eléctricos de corriente continua. En su versión original 1.0, los conceptos evaluados son:

Aspectos físicos de los circuitos de corriente continua:

- Identificar y explicar un corto circuito (a menor resistencia fluye mayor corriente por ese camino).
- Entender el aspecto bipolar de los elementos de un circuito eléctricos (los elementos tienen dos puntos posibles de conexión).
- Identificar un circuito eléctrico completo y entender la necesidad del circuito completo (i.e. cerrado) para que fluya la corriente en estado estacionario (algunas cargas están en movimiento, pero su velocidad en cualquier posición no cambia y no hay ninguna acumulación de cargas en ninguno punto del circuito).
- Aplicar el concepto de resistencia (la oposición al flujo de cargas en un circuito) incluyendo el hecho de que la resistencia es una propiedad del objeto (geometría del componente y tipo de material de que está compuesto), que en serie, más se añaden elementos más aumenta la resistencia, y que en paralelo (derivación), más se añaden elementos más disminuye la resistencia.
- Interpretar esquemas y diagramas de varios tipos de circuitos serie, paralelo (derivación) y la combinación de los dos.

Energía:

- Aplicar el concepto de potencia (trabajo efectuado por unidad de tiempo).
- Aplicar una comprensión conceptual de la conservación de la energía incluyendo la ley de voltajes de Kirchhoff ($\sum V = 0$ en una malla) con la batería como fuente de energía.

Corrientes:

- Entender y aplicar la conservación de la corriente (conservación de las cargas en régimen permanente) en una variedad de circuitos.

- Explicar el aspecto microscópico del flujo de corriente en un circuito a través del uso de términos de electrostática como campo eléctrico, diferencia de potencial, y la interacción de las fuerzas sobre las partículas cargadas.

Diferencia de potencial (voltaje):

- Aplicar el conocimiento de que la cantidad de corriente está influenciada por la diferencia de potencial mantenida por la batería y por la resistencia.
- Aplicar el concepto de diferencia de potencial a una variedad de circuitos incluyendo el conocimiento de que la diferencia de potencial en un circuito serie se suma mientras en un circuito paralelo (derivación) queda igual.

A estos aspectos conceptuales centrales en circuitos eléctricos, se decidió añadir algunas preguntas que apuntan específicamente a obstáculos didácticos que provienen de la construcción de la idea misma de *electricidad* (Benseghuir et Closset, 1993) y que fueron obstáculos epistemológicos también. Uno de estos obstáculos es un razonamiento muy estudiado en la literatura en didáctica de la física: el razonamiento secuencial (Closset et al., 1993), modelizado desde 1983 por Closset en su tesis de doctorado. Este razonamiento sigue en estudiantes de universidad (Viennot, 1994) aunque se habla de un razonamiento presente en los estudiantes de la escuela primaria y media y debería desaparecer en las carreras universitarias, especialmente en ingeniería eléctrica o electrónica.

De hecho, ya algunas preguntas del ECCI original evalúan este aspecto del razonamiento estudiantil como la pregunta 26 o un aspecto de la 29 (Engelhardt Paula & Beichner, 2004) y la idea era añadir otras preguntas del mismo tipo para poder probar este razonamiento con mayor precisión.

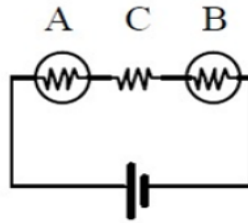
Las preguntas del ECCI de Engelhardt and Beichner con menos correlación (Canu & Duque, 2016) fueron excluidas de la prueba, pasando de 29 a 22 ítems para poder añadir las preguntas de razonamiento secuencial sin aumentar el tiempo de la prueba. Cabe precisar que se añadieron otras preguntas que no pertenecen a esta categoría y que no se van a detallar en este artículo.

3. El razonamiento secuencial y local

El razonamiento secuencial en electrocinética consiste en pensar que la corriente sale del polo de la batería, pasa por los diferentes componentes, se gasta en unos de estos componentes y finalmente “vuelve” a la batería. Los estudiantes que presentan este tipo de concepción errónea no consideran el circuito como un sistema en el cual cada punto depende de manera instantánea del resto del circuito.

La pregunta del ECCI que permite probar este razonamiento esta presentada en las figuras 1.

12. Si se aumenta la resistencia C, ¿qué le pasa a la luminosidad de los bombillos A y B?



- a. A y B aumentan
- b. A disminuye, B queda igual
- c. A queda igual, B disminuye
- d. A y B quedan iguales
- e. A y B disminuyen

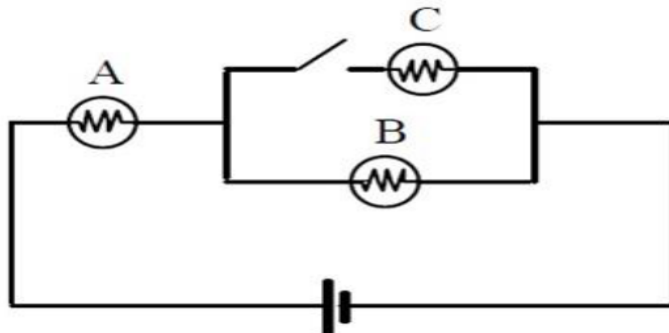
Respuesta: _____

Figura 1: Prueba de razonamiento secuencial del ECCE original

Esta misma pregunta ya se encontraba en una versión ligeramente diferente en Closset (1993), considerando un estado inicial con la resistencia fija y la misma pregunta en caso de variación de la resistencia. El objetivo de estas preguntas es identificar si el estudiante puede considerar el circuito como un sistema y entonces entender que los dos bombillos de la malla, como son iguales, van a brillar de la misma manera sin importar el valor de la resistencia (pregunta 7 respuesta e). En el caso de la pregunta de Closset (1993) se busca también un elemento temporal en el razonamiento de los estudiantes: a veces razonan de manera diferente si piensan que el circuito está en régimen permanente o si piensan que hay variaciones en el circuito (en este caso el circuito está siempre en régimen permanente entonces no debería haber diferencia de razonamiento en el caso de una resistencia fija o que varía).

Este razonamiento se combina a veces con un aspecto local (razonamiento local) que consiste en considerar modificaciones de la corriente únicamente en el lugar donde está ubicado el componente, quedando igual el resto del circuito. Un ejemplo de prueba de este razonamiento se presenta en la pregunta 13 (figura 3). En este circuito, el estudiante debe identificar de inmediato que el bombillo A no puede quedar igual si se cierra el interruptor porque cualquier modificación de un componente del circuito tiene efecto en el resto de la malla. Sin embargo, eso no es suficiente para contestar correctamente esta pregunta y permite sólo descartar las respuestas "a" y "e" en un primer paso. Luego el estudiante debe saber manipular corriente y voltaje al mismo tiempo para contestar correctamente.

13. ¿Qué pasa con la luminosidad de los bombillos A y B cuando el interruptor se cierra?



- a. A queda igual, B disminuye
- b. A y B disminuyen
- c. A brilla más, B disminuye
- d. A y B aumentan
- e. A y B quedan iguales

Respuesta: _____

Figura 2: Ejemplo de pregunta que permite detectar razonamientos locales.

7. Se pueden utilizar varias cajas negras que contienen componentes escondidos, el en sentido que se quiere para construir circuitos eléctricos. Las cajas negras disponibles son las siguientes:



En el circuito siguiente, ¿A cuál(es) caja(s) negra(s) puede(n) corresponder la caja X?

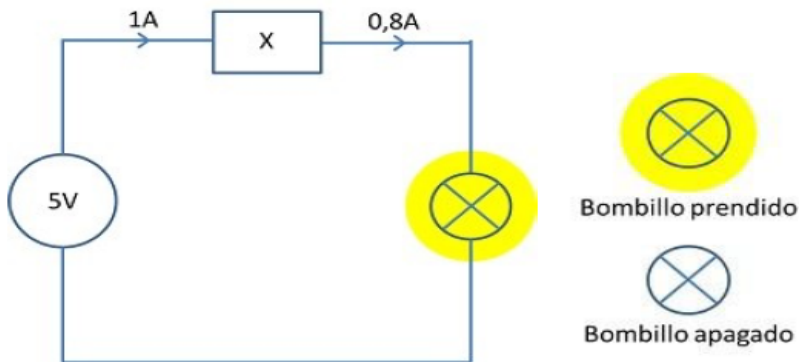


Figura 3: Pregunta nueva sobre el razonamiento secuencial (Respuestas posibles: a.:B, b.:Situación imposible, c.D, d.:A y e.:C).

4. Metodología

Se utilizó la prueba conceptual sobre los circuitos eléctricos “Electric Circuit Concept Inventory modificada” al final del semestre en los 3 cursos de circuitos eléctricos, llamados Circuitos 1, 2 y 3. Todos los estudiantes (n=63) presentaron la prueba tanto los estudiantes de la carrera diurna como los de la carrera nocturna en una sola semana.

5. Resultados y discusiones

Se presentan en las siguientes figuras los resultados promedio de estos diferentes grupos de estudiantes con las barras de error estándar. Como se puede observar en la tabla 1, el nivel de los estudiantes sube al pasar por los diferentes cursos, lo que surge que estos cursos permiten una construcción conceptual que va reforzándose desde el curso 1 hasta 3. La diferencia es significativa, es decir no proviene de un error aleatorio.

Sin embargo, la comparación de los 3 cursos entre ellos no tiene una validez muy fuerte considerando que no son los mismos estudiantes que se evalúan en cada curso. La evaluación de estos mismos estudiantes del curso 1 al 2 y al 3 está prevista y va a permitir obtener dentro de 3 años una información más clara con respecto al efecto de cada uno de los cursos.

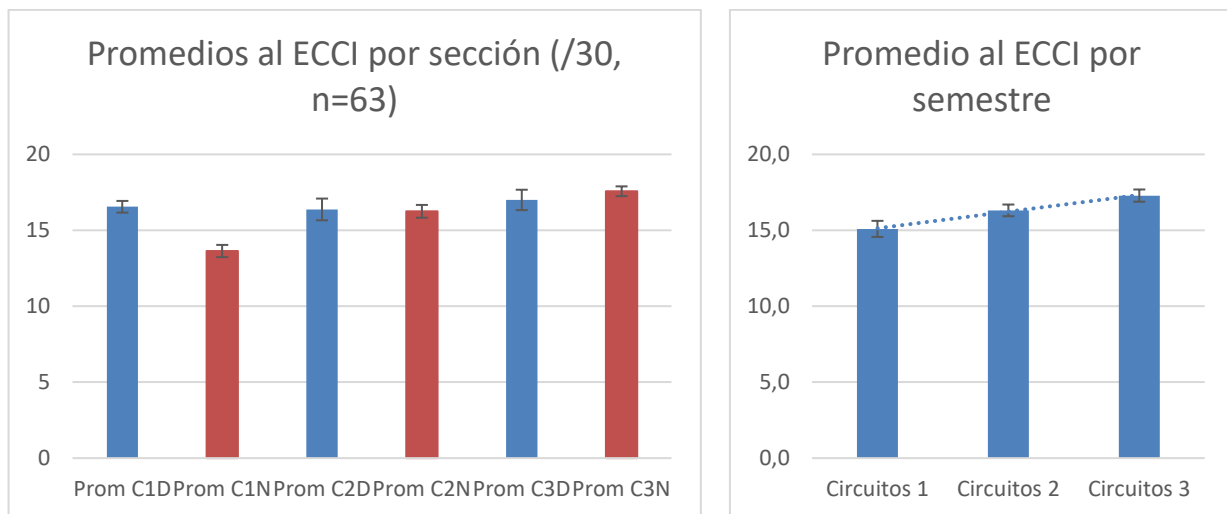


Ilustración 4: Comparación inter sección (Prom C1D = promedio de la sección de control 1 modalidad Diurna) y intersemestre.

Tabla 1: Comparación inter semestre

	Promedio	sd	Error
Circuitos 1	15.1	3.4	0.43
Circuitos 2	16.3	5.0	0.63
Circuitos 3	17.3	4.6	0.58

Lo interesante reside en el análisis de las respuestas a cada pregunta y sobre todo a las preguntas de tipo “razonamiento secuencial y local”. La tabla 2 muestra estos resultados.

Tabla 2: Análisis de las preguntas de razonamiento secuencia (número de respuestas).

Respuesta	P7	P12	P13
a	7	0	32
b	11	0	11
c	3	27	8
d	29	1	1
e	0	35	10
Respuesta correcta	b	e	c
Dificultad	17%	56%	13%
Respuesta incorrecta más elegida	d: 46%	c: 43%	a: 52%

La pregunta P7 es la de la figura 3, la P12 es la de la figura 1 y la P13 es la de la figura 2. Se puede observar que las respuestas incorrectas representativas del razonamiento secuencial (P7 y P12) y local (P13) son muy correlacionadas. Sin embargo, en el caso de la P12, una mayoría de estudiantes contesta correctamente, pero queda una proporción importante de estudiantes con un razonamiento local. En el caso de la P7 y P13, los estudiantes contestan en mayoría de manera incorrecta, escogiendo la respuesta que corresponde al razonamiento secuencial.

Tabla 3: Evolución inter semestre (taza de respuesta correcta)

	P7	P12	P13
Inicio C1	0.19	0.55	0.13
Evolución C1-C2	-0.11	0.12	0.04
Evolución C2-C3	0.12	-0.17	-0.06
Final C3	0.20	0.50	0.11

Como se puede observar, las concepciones erróneas de este tipo no cambian de manera significativa entre el primer y el tercer semestre, es decir entre el primer y el tercer curso de circuitos. Aunque se podría pensar que son conceptos básicos que sólo el primer curso debería tratar, se puede considerar también que cada curso debería promover la desaparición de estas concepciones erróneas a través de los numerosos ejercicios y laboratorios que siguen los estudiantes. Se puede constatar que no es el caso.

6. Conclusiones y perspectivas

Como visto, la aplicación de una herramienta de tipo Concept Inventory permite detectar algunas fallas en el razonamiento de los estudiantes que no se pueden detectar de manera “clásica”, es decir a través de las evaluaciones de conocimientos declarativos o de la resolución de ejercicios calculatorios de aplicación. Faltaría estudiar la evolución de los mismos estudiantes a través de los 3 semestres del curso para poder extraer resultados más fiables pero estos resultados están alineados con estudios similares conducidos en otros países. Se necesita entonces realizar

actividades específicas para que los estudiantes puedan desarrollar este conocimiento conceptual y no pensar que el estudio clásico de la materia por si solo es suficiente para combatir las concepciones erróneas de este tipo.

7. Referencias

- BENSEGHIR, A., & CLOSSET, J.-L. (1993). Prénance de l'explication électrostatique dans la construction du concept de circuit électrique : points de vue historique et didactique. *Didaskalia*, 2, 31–47. <https://doi.org/10.4267/2042/20183>
- Canu, M., & Duque, M. (2016). Lecciones aprendidas de un curso de circuitos eléctricos en modalidad híbrida. In ACOFI (Ed.), *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería: El cambio para la competitividad y la sostenibilidad* (p. 85). Cartagena de Indias.
- Jean-Louis Closset. (1992). Raisonnements en électricité et en hydrodynamique. *ASTER*, 14(4), 143–155.
- Ebel, R.L. (1954). Procedures for the Analysis of Classroom Tests. *Educational and Psychological Measurement*, 14, 352-364.
- Engelhardt Paula, & Beichner, R. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), 98-115.
- Getty, J. C. (2009). *Assessing Inquiry Learning in a Circuits/Electronics Course*. Paper presented at the 39th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, San Anotinio, texas.
- Pellegrino, J., Di Bello, L., & Brophy, S. (2013). The Science and Design of Assessment *Engineering Education in cambridge handbook of engineering education research*, 571-598.
- Rahman, M., & Ogunfunmi, T. (2010). *A concept inventory for an Electric Circuits course : Rationale and fundamental topics*. Paper presented at the Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Paris.
- Rodríguez Jiménez, O. R. (2013). LA EVALUACIÓN OBJETIVA EN INGENIERÍA APORTES EN PROCESOS DE EVALUACIÓN Y MEJORA CURRICULAR. In ACOFI (Ed.), *World Engineering Education Forum* (p. 1). Cartagena de Indias.
- Viennot, L. (1994). Fundamental patterns in common reasoning: Examples in physics. *European Research in Science Education - Proceedings of the First Ph. D. Summerschool*, 12(2), 33–47.

Sobre los autores

- **Michaël Canu**: Maestría en Control de sistemas y de producción de la Ecole des Mines de Nantes (France), Maestría y Doctorado en didáctica de las disciplinas de la universidad Paris Diderot- Paris 7 (Francia), Doctor en Ingeniería de la Universidad de Los Andes. Profesor asociado de la Universidad El Bosque. mcanu@unbosque.edu.co
- **Mónica Patiño**: Ingeniera Electrónica, especialista en gerencia de proyectos y Magister en Docencia en la Educación Superior de la Universidad El Bosque. Profesora asociada de la universidad El Bosque. patinomonica@unbosque.edu.co

- **Mauricio Duque:** Ingeniero eléctrico, Msc en ingeniería Universidad de los Andes, DEA y Doctor en Ingeniería de INRP, Grenoble, Francia. Profesor asociado de la Universidad de los Andes. maduque@uniandes.edu.co.

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

Copyright © 2018 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)