

PRÁCTICAS DE LABORATORIO QUE FORTALECEN LA COMPRENSIÓN DEL CAMPO ELÉCTRICO PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Felipe de Jesús López-Saucedo^{1*}, José Alberto Batista-Rodríguez¹, Yuri Almaguer-Carmenates¹, Juan Martín Gómez-González², Ramón Yosvanis Batista-Cruz¹

¹ Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos" Universidad Autónoma de Coahuila. Boulevard Adolfo López Mateos S/N, Independencia, 26830 Nueva Rosita, Coahuila, México.

² Centro de Geociencias, Campus UNAM Juriquilla. Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla La Mesa, C.P. 76230, Querétaro, México.

*felipe.lopez@uadec.edu.mx (autor para correspondencia)

RESUMEN

Este trabajo propone la aplicación de un ejercicio experimental para ayudar a los estudiantes de ingeniería en Ciencias de la Tierra a comprender los conceptos de campo eléctrico, potencial eléctrico, capacitancia y resistividad eléctrica. La metodología utilizada incluye el desarrollo de clases prácticas en el laboratorio y la aplicación de cuestionarios. El análisis de los resultados mostró que la mayoría de los estudiantes identifican la presencia del campo eléctrico en un material conductor o dieléctrico. Los estudiantes también reconocen que los ejercicios experimentales son didácticos y fortalecen su comprensión del campo eléctrico.

Palabras clave: Campo eléctrico, potencial eléctrico, capacitancia, resistencia.

ABSTRACT

This work proposes the application of an experimental exercise to help Earth Sciences engineering students understand the concept of electric field, electric potential, capacitance and electrical resistivity. The methodology used includes the development of practical classes in the laboratory and the application of questionnaires. The analysis of the results showed that the majority of students identify the presence of the electric field in a conductive or dielectric material. Students also recognize that the experimental exercises are didactic and strengthen their understanding of the electric field.

Keywords: Electric field, electric potential, capacitance, resistor.

INTRODUCCIÓN

Estudios fundamentales revelan que las características abstractas, difíciles y complejas involucradas en el estudio de la electricidad y el magnetismo presentan serios desafíos a los estudiantes para comprender estos conceptos (Demirci y Cirkinoglu, 2004; Narjaikaw *et al.*, 2006; Dega *et al.*, 2013; Hau *et al.*, 2018). Investigaciones recientes indican que una de las razones es que los estudiantes memorizan las fórmulas como ecuaciones matemáticas sin considerar el significado físico de la fórmula en cuestión (Mansur, 2015; Hau *et al.*, 2018). En cambio, cuando un estudiante puede simbolizar y representar los conceptos físicos gana claridad en cuanto a dicho significado, muestra comprensión y luego propone una solución al problema. En este sentido, Hau *et al.* (2018) clasificaron tres patrones generales que presentan los estudiantes al momento de resolver un problema de electricidad y magnetismo. En el primer patrón, los estudiantes con un alto grado de comprensión de los fenómenos físicos utilizan símbolos correctamente, representan ecuaciones y cantidades vectoriales correctamente y llegan a una respuesta final. En el segundo y tercer patrones los estudiantes presentan dificultades para comprender adecuadamente los fenómenos físicos y para representar cantidades vectoriales adecuadamente y confunden símbolos, problemas que son más intensos en el caso del último patrón.

Kesonen *et al.* (2011) diseñaron una prueba para evaluar la comprensión de los conceptos de partícula cargada, capacitores, inducción electromagnética y ondas electromagnéticas planas, la cual fue aplicada a 33 estudiantes que ya habían aprobado el curso Electricidad y Magnetismo. Los resultados mostraron que los estudiantes presentan dificultades para expresar cantidades vectoriales y reconocer la simetría entre los campos eléctrico y magnético, por lo que concluyen que es importante enfatizar que deben esforzarse por estudiar estos conceptos en otras áreas relevantes.

Para mejorar la comprensión de los conceptos fundamentales de electricidad y magnetismo, se ha propuesto el uso de aplicaciones y software libres como por ejemplo, el software *Tracker* se utiliza en mecánica para analizar movimientos y otras situaciones reales en una y dos dimensiones, para realizar experimentos y simular señales eléctricas. Aguilar-Marín *et al.* (2018) utilizaron *Tracker* para ilustrar la carga y descarga de un capacitor en un circuito RC (un circuito RC está compuesto de resistencias y capacitores) y la inducción electromagnética de Faraday. La estrecha coincidencia entre los resultados experimentales y la simulación en *Tracker* demuestran el uso potencial del software en áreas distintas a la mecánica. Otra ventaja de este enfoque es que los experimentos son económicos y fáciles de realizar. Aguilar-Marín *et al.* (2018) proponen el uso de *Tracker* combinado con dispositivos de medición analógicos para fortalecer el conocimiento de los estudiantes sobre los conceptos fundamentales de la electricidad y el magnetismo en otras ciencias experimentales que involucren el análisis de señales eléctricas.

Otros enfoques de investigación indican que las dificultades que experimentan los estudiantes para comprender los conceptos de electricidad y magnetismo están relacionadas con la falta de participación activa de los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Sa'adah y Ariati, 2018; Liani *et al.*, 2020). Estudios recientes han abordado este problema mediante el uso de instrumentos que miden el nivel de compromiso de los estudiantes y la influencia de las redes sociales. Liani *et al.* (2020) realizaron un estudio en la Facultad de Física de la Universidad Syiah Kuala en Darussalam, Banda Aceh, Indonesia. Se aplicó una prueba a 72 estudiantes que habían estudiado los conceptos de electricidad y magnetismo utilizando recursos de *e-learning*. Los resultados revelaron que el indicador que muestra el mayor nivel de compromiso de los estudiantes es el cognitivo, el cual se evaluó mediante SES-4D. En cambio, otros dos indicadores, el compromiso afectivo y el compromiso conductual, presentaron resultados con un nivel aceptable. Finalmente, Liani *et al.* (2020) concluyen que el uso de las redes sociales no tiene un efecto significativo en el compromiso de los estudiantes y que es razonable esperar que las plataformas de comunicación como *WhatsApp*, *Facebook*, *Twitter* puedan aumentar la motivación de los estudiantes como su participación en el proceso de aprendizaje (De Almeida *et al.*, 2016; Kolluru y Varughese, 2017).

Como consecuencia de las dificultades para transmitir adecuadamente los conceptos de electricidad y magnetismo el presente estudio propone un ejercicio teórico-experimental que tiene como objetivo ayudar a los estudiantes de Ingeniería en Ciencias de la Tierra a fortalecer la comprensión de los conceptos de campo eléctrico, potencial eléctrico, capacitancia y resistividad eléctrica.

MÉTODO

En el ejercicio participaron 32 estudiantes de los programas de estudio de Ingeniero en Recursos Minerales y Energéticos e Ingeniero Geólogo de la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Coahuila, México. El curso de Electricidad y Magnetismo se imparte en el tercer semestre. Se conformaron ocho equipos de trabajo, cada equipo de cuatro integrantes. Los alumnos recibieron tres clases teóricas por semana en formato de conferencia y dos horas de clase práctica en el laboratorio. Al final

de cada sesión de laboratorio, los estudiantes fueron evaluados. Se compilaron tres cuestionarios, uno para cada sesión de laboratorio que constaban de siete preguntas/problemas de los libros de texto de Electricidad y Magnetismo; Bueche y Jerde, 1996; Serway y Beichner, 2002.

Para fortalecer el aprendizaje de los conceptos teóricos, el presente estudio propone el desarrollo de tres clases prácticas en el laboratorio, en las cuales los estudiantes observarán la importancia del concepto de campo eléctrico:

- Sesión 1: Potencial eléctrico
- Sesión 2: Capacitancia
- Sesión 3: Resistividad eléctrica

Para que los estudiantes puedan familiarizarse con los experimentos, deben tener presente que los conductores son materiales en los cuales las cargas eléctricas se mueven con bastante libertad, es decir, cuando estos materiales se cargan eléctricamente en alguna pequeña región, la carga rápidamente se distribuye por toda la superficie del conductor. Así mismo, hay que recordar que un dieléctrico es un material no-conductor que se caracteriza por ser resistente al paso de las cargas eléctricas (Serway y Beichner, 2002). Los profesores seleccionaron dos muestras de agua de composición química conocida, como se indica en la Tabla 1.

Muestra	Cationes (mg/L)				Aniones (mg/L)	
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	(SO ₄) ⁻²
1	100	1.0	165	30	284	252
2	20	5.73	51	5.7	13.5	48.6

Sesión 1: Potencial eléctrico

La sesión 1 se llevó a cabo utilizando un instrumento de polipropileno, representado en la Figura 1a, en el que se depositó la muestra de agua en turno.

El instrumento de medición tiene un volumen de 1.5 L de geometría rectangular, y está orientado al modelo de las placas paralelas (Serway y Beichner, 2002). También se utilizaron dos electrodos de acero que se energizaron a través de una fuente de

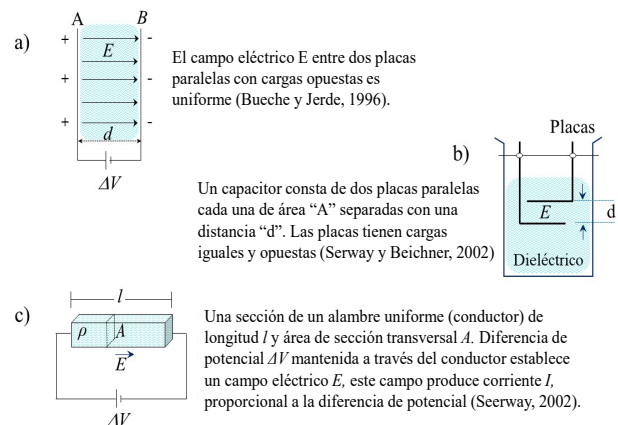


Figura 1. Esquema de la instrumentación para desarrollar las prácticas; (a) potencial eléctrico, (b) capacitancia y (c) resistividad eléctrica.

12 VCC (voltaje de corriente continua). La placa A se define con el potencial alto (+) y la placa B se define con el potencial bajo (-). Posteriormente, la terminal negativa de un voltímetro se conecta a la placa B, mientras que la terminal positiva del mismo voltímetro se deja libre para hacer contacto con la muestra de agua. El ejercicio consiste en desplazar sistemáticamente la terminal positiva del voltímetro en forma horizontal de la placa A a la placa B en la dirección del campo eléctrico (E), como se define en la Ecuación 1.

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} = -\int_A^B E \cdot dx \quad \text{Ec. 1}$$

donde ΔV es la diferencia de potencial, ΔU es la energía potencial y q_0 es la carga de prueba (Bueche y Jerde, 1996).

Este ejercicio permite al alumno comprender cómo una carga positiva pierde energía potencial eléctrica cuando la carga pasa de un potencial alto a uno bajo. La metodología propuesta requiere que se tomen 21 mediciones de ΔV en puntos predeterminados.

Sesión 2: Capacitancia

Las mediciones de capacitancia (C) se llevaron a cabo usando un capacitor experimental de placas paralelas definido por la Ecuación 2 y comprende dos placas de aluminio de 10 cm \times 10 cm separadas 1 cm entre sí. El dispositivo presenta dos terminales, las cuales se conectan a un medidor de capacitancia (capacitor tester YF-7115 DMM, rango de operación de 100 pF-20mF). El ejercicio implicó colocar las placas en un recipiente con la muestra de agua y medir la capacitancia directamente, como se muestra en la Figura 1b,

$$C = \kappa \left(\frac{\epsilon_0 A}{d} \right) \quad \text{Ec. 2}$$

donde C es la capacitancia, κ es la constante dieléctrica del material, ϵ_0 es la permitividad eléctrica del vacío ($8.8541878176 \times 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{N}\cdot\text{m}^2)$), A y d son el área y la separación entre las placas, respectivamente (Serway, 1993).

El ejercicio tiene la finalidad de ayudar a los estudiantes a comprender cómo aumenta la capacitancia en un material dieléctrico, así como conducirlo a calcular la constante dieléctrica en condiciones estándar de temperatura y presión. La metodología propuesta estipula tres medidas de capacitancia para cada muestra de estudio. El objetivo de las réplicas es calcular una respuesta más precisa de la medición.

Sesión 3: Resistividad eléctrica

La medición de resistividad eléctrica (ρ) se realizó como se muestra en la Figura 1c. El dispositivo es de acrílico basado en la ley de Ohm (Serway y Beichner, 2002), y representa un alambre recto de área transversal A y longitud l . De geometría rectangular, el dispositivo es de 450 cm³, sus electrodos son de aluminio y se energizaron a través de una fuente de 12 V CC.

El ejercicio consistió en medir la diferencia de potencial ΔV (conectando un voltímetro en paralelo) y la corriente I (conectando un amperímetro en serie) que pasa por la sección correspondiente del dispositivo. Con los datos obtenidos se calcula la resistencia eléctrica ($R = \Delta V/I$) mediante la ley de Ohm (Serway y Beichner, 2002). Para determinar la resistividad eléctrica, la metodología requiere los valores de ΔV y I mencionados anteriormente, así como los parámetros geométricos (A y l) del dispositivo, los cuales se sustituyen en la Ecuación 3. Este proceso se realizó por triplicado para cada muestra. El objetivo de las réplicas es obtener una respuesta más precisa de la medición.

$$\rho = R (A/l) \quad \text{Ec. 3}$$

donde ρ es la resistividad eléctrica, R es la resistencia eléctrica y A y l son el área de la sección transversal y la longitud de la sonda, respectivamente (Serway, 1993).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Potencial eléctrico

La Figura 2 presenta los resultados de la Sesión 1: Potencial eléctrico, en la que los estudiantes pudieron representar adecuadamente las líneas de campo eléctrico, las mediciones de potencial eléctrico sobre los desplazamientos horizontales y las líneas equipotenciales.

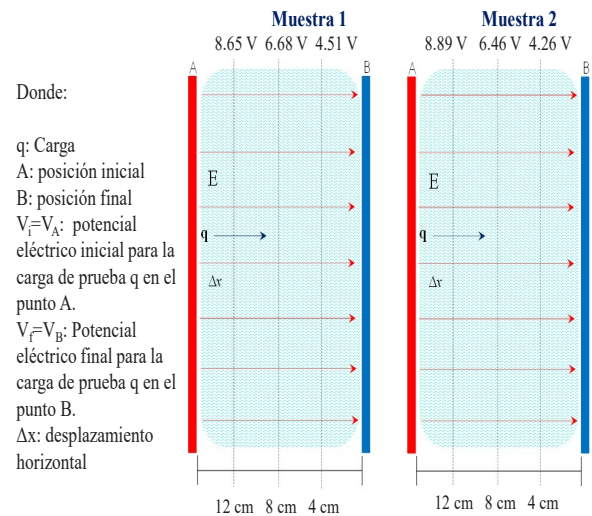


Figura 2. Resultados de la Práctica 1: el comportamiento del potencial eléctrico en las Muestras de agua 1 y 2.

Los estudiantes expresaron correctamente la diferencia de potencial en un campo eléctrico constante (E). Asimismo, explicaron adecuadamente el cambio de energía potencial cuando la carga q se mueve en la dirección del campo eléctrico. También pudieron identificar la relación entre la diferencia de potencial y el campo eléctrico utilizando el siguiente análisis:

$$\Delta V = V_B - V_A = -E \int_A^B dx = -E(B - A) = -Ed \quad \text{Ec. 4}$$

$$\Delta V = V_B - V_A = -Ed \quad \text{Ec. 5}$$

Además, utilizaron la Ecuación 5 para cuantificar el campo eléctrico. Al mismo tiempo, la medida de $\Delta V = 12.31 \text{ V}$ y $d = 0.14 \text{ m}$ reveló que la magnitud del campo eléctrico es $E = 87.92 \text{ V/m}$.

El puntaje general obtenido del cuestionario (Q1) es relativamente bajo, como se muestra en la Tabla 2. La revisión del cuestionario reveló errores relacionados con símbolos, magnitudes en notación científica y conversión de unidades (p. ej., J a eV). Sin embargo, el 62.5 % de los alumnos presentó una calificación notablemente aceptable superior a 80.

Tabla 2. Puntuación de los cuestionarios			
	Q1	Q2	Q3
Media	68.68	70.39	87.67
Mínimo	0.0	0.0	0.0
Máximo	100	100	100
N	32	32	32

Las respuestas de los estudiantes son suficientemente detalladas y breves. Al concluir la Sesión 1 se reconoce que los estudiantes lograron describir el campo eléctrico como un campo vectorial, lo que les permite fortalecer la asimilación de conceptos relevantes, como los principios de superposición y potencial eléctrico.

Capacitancia

La Figura 3 presenta los resultados de la Sesión 2: Capacitancia, en la que los estudiantes lograron comprobar que varía dependiendo del material dieléctrico, mientras que el resto de las variables se mantienen constantes. Los estudiantes identificaron la Muestra 2 como un material dieléctrico más significativo que la Muestra 1, debido a su capacitancia notablemente mayor. La Figura 3 muestra que la capacitancia de la Muestra 1 es de 743 pF, mientras que la capacitancia de la Muestra 2 es de 1101 pF (1.101 nF). El nivel de comprensión mostrado durante la clase práctica mejoró notablemente. En esta sesión, pocos estudiantes experimentaron problemas para identificar el campo eléctrico constante que se presenta entre las placas del capacitor. Se destacó que los estudiantes lograron aplicar la Ecuación 2 y presentar el valor κ para cada material, 84 para la Muestra 1 y 124 para la Muestra 2.

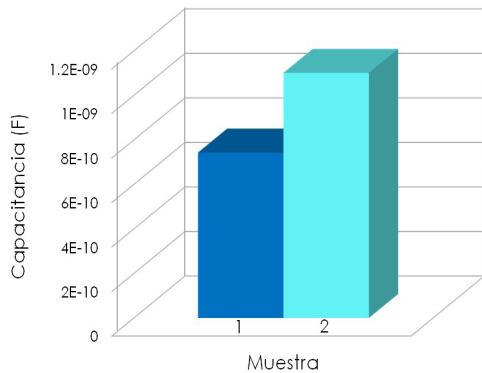


Figura 3. Resultados de la Práctica 2: comportamiento de la capacitancia en función del material dieléctrico.

Los estudiantes asimilaron el análisis de un circuito RC, como se observa en la Figura 4, y modelaron la carga y descarga del capacitor. Además, identificaron el campo eléctrico presente entre las placas del capacitor a través de la diferencia de potencial medida y la distancia d ($E = 1231 \text{ V/m}$).

La puntuación promedio del cuestionario (Q2) es de 70.39, como se muestra en la Tabla 2. La revisión del cuestionario reveló que los alumnos pueden identificar las diversas configuraciones de capacitores (en serie, paralelo y combinaciones) y que tienen muy en cuenta la relación entre carga, voltaje y la capacitancia.

En general, el 71.87 % de los alumnos obtuvo una nota aceptable, superior a 80. Esto revela que el nivel de comprensión de los estudiantes aumentó. Por lo tanto, las sesiones de laboratorio tienen un impacto positivo en el proceso enseñanza-aprendizaje de los estudiantes.

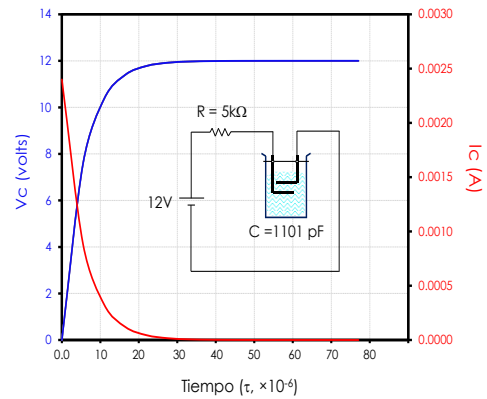


Figura 4. Análisis de un circuito RC.

Resistividad eléctrica

En la Figura 5 se presentan los resultados de la Sesión 3: resistividad eléctrica. Durante esta clase práctica los estudiantes pudieron identificar que la resistividad varía en función de la composición del material, mientras que el resto de las variables se mantienen constantes. Los estudiantes identificaron que la Muestra 2 es un material más resistivo que la Muestra 1, debido a su resistividad notablemente más alta. La Figura 5 muestra que la resistividad de la Muestra 1 es $8.29 \Omega\cdot\text{m}$, mientras que la resistividad de la Muestra 2 es $15.81 \Omega\cdot\text{m}$, una observación consistente con los resultados mostrados en la Figura 3, lo que confirma que la Muestra 2 es un material más aislante que la Muestra 1.

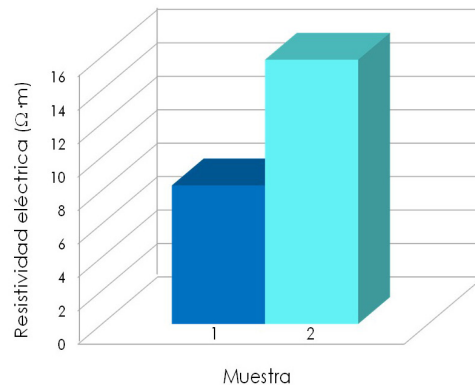


Figura 5. Resultados de la Práctica 3: resistividad eléctrica de la Muestra 1 y 2.

En esta sesión, la mayoría de los estudiantes explicaron adecuadamente cómo fluye la corriente en un material conductor a través de la ley de Ohm ($V = RI$). Se destacó que los estudiantes mejoraron la comprensión de la densidad de corriente (J) y la conductividad eléctrica (σ) e identificaron el campo eléctrico que se crea a través de la diferencia de potencial. Para las muestras A y B, el campo eléctrico es de 47.95 V/m y 51.28 V/m , respectivamente.

El puntaje general obtenido del cuestionario (Q3) fue de 87.67, como se muestra en la Tabla 2. En términos generales, se observa que el 78.12 % del alumnado obtuvo una calificación notablemente aceptable, superior a 80. El análisis de los resultados conduce a la observación de que los estudiantes desarrollaron un mejor nivel de interpretación de las variables físicas. Para finalizar, se observó que las sesiones de laboratorio brindan elementos que estimulan la motivación y el interés de los estudiantes en el aprendizaje de los conceptos de campo eléctrico, potencial eléctrico, capacitancia

y resistividad eléctrica. El análisis de los resultados mostró que la mayoría de los estudiantes identifican la presencia del campo eléctrico en un material conductor o dieléctrico. Los alumnos lograron asimilar al campo eléctrico como una región que es generada y se distribuye a través de una fuente (VCC) y que, al entrar en contacto con un material (ya sea conductor o dieléctrico), altera el campo eléctrico.

Muchos estudiantes desarrollaron habilidades para resolver problemas y para trabajar en el laboratorio. Sin embargo, se requiere de la tutoría de los profesores para brindarles apoyo, orientación y retroalimentación, en las clases teóricas, prácticas y en la resolución de problemas. Como consecuencia positiva de la presente investigación, los autores identifican una serie de elementos que permitirán mejorar la estructura de las clases prácticas, la selección de problemas y los ejercicios de retroalimentación.

CONCLUSIONES

Se llevó a cabo un ejercicio experimental para ayudar a los estudiantes a comprender el concepto de campo eléctrico, guiándolos en la identificación de que el campo eléctrico: (i) es un campo vectorial; (ii) forma dipolos en un material dieléctrico; y (iii) genera una fuerza que da movimiento a las cargas en un material conductor. También se concluyó que las prácticas de laboratorio son indispensables para comprender la relación entre el campo eléctrico, el potencial, la capacitancia y la resistividad. La metodología descrita en el presente estudio favorece el desarrollo de capacidades cognitivas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Oscar Avila Vargas y Francisco Fernández Escobar por su valiosa revisión constructiva y objetiva que condujo a mejorar el manuscrito. Asimismo, nuestro agradecimiento a Susana A. Alaniz Álvarez y al equipo editorial por sus atenciones durante el proceso de edición y publicación. Finalmente, se extiende un agradecimiento a la Escuela Superior de Ingeniería Universidad Autónoma de Coahuila por brindar las condiciones para el desarrollo del presente trabajo.

REFERENCIAS

Aguilar-Marín, P., Chávez-Bacilio, M., y Jáuregui-Rosas, S. (2018). Using analog instruments in Tracker video-based experiments to understand the phenomena of electricity and magnetism in physics education. *European Journal of Physics*, 39 (3).

Bueche, F.J. y Jerde, D.A., (1996). *Fundamentos de Física*. Tomo II, Sexta Edición. Mc Graw-Hill Interamericana de México.

De Almeida, L. R, da Costa, J. P. C., de Sousa, R. T., de Freitas, E. P., Canedo, E. D., Pretz, J., and Del Galdo, G. (2016). *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* 15.

Dega, B. G., Kriek, J., y Mogese, T. F. (2013). Students' conceptual change in electricity and magnetism using simulations: a comparison of cognitive perturbation and cognitive conflict. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(6), 677–698.

Demirci, N. y Cirkinoglu, A. (2004). Determining students preconception/misconceptions in electricity and magnetism. *Journal of Turkish Science Education*, 1 (2), pp; 51-54.

Hau, R. R. H., Marwoto, P., y Putra, N.M.D. (2018). Pattern of mathematic representation ability in magnetic electricity problem. *Journal of Physics: Conf. Series* 983, 012015, 1-6.

Kesonen, M. H. P., Asikainen, M. A., y Hirvonen, P.E. (2011). University students' conceptions of the electric and magnetic fields and their interrelationships. *European Journal of Physics*, 32 (2).

Liani, N.S., Nur, S., y Huda, I. (2020). The influence of communication platform on the students' engagement in the magnetic electricity e-learning class. *Journal of Physics: Conf. Series* 1460, 012123.

Mansyur, J. (2015). Teachers and students preliminary stages in physics problem solving. *International Education Studies*, 8 (9), 1-13.

Narjaikaew P., Emarat N., Soankwan C., y Cowie, B. (2006). Year-1 Thai University Students' Conceptions of Electricity and Magnetism (Physics Educational Network of Thailand (PENThai) and The Centre for science and Technology Education Research (CSTER)).

Sa'adah, U., y Ariati, J. (2018). Hubungan antara student engagement (keterlibatan siswa) dengan prestasi akademik mata pelajaran matematika pada siswa kelas. *XI SMA Negeri 9 Semarang Empati* 7 (69).

Serway, R.A (1993). *Electricidad y magnetismo*. Tercera Edición. Mc Graw-Hill, México.

Serway, R.A y Beichner, R.J., (2002). *Física para Ciencias e Ingeniería*. Tomo II. Quinta Edición. Mc Graw-Hill, México.

Kolluru, S., y Varughese, J.T. (2017). Structured academic discussions through an online education-specific platform to improve Pharm.D. students learning outcomes. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 9 (2), 230-236.

Manuscrito recibido: 6 de junio de 2023

Manuscrito corregido recibido: 9 de octubre de 2023

Manuscrito aceptado: 16 de octubre de 2023