

Oscilaciones electromagnéticas forzadas: análisis del sistema simbólico y lingüístico empleado en libros de texto universitarios

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Norah Giacosa, Claudia Zang, Ramiro Galeano, Alejandro Such

Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones. Félix de Azara 1552. N3300LQ. Posadas. Misiones. Argentina.

E-mail: norah@correo.unam.edu.ar

Resumen

Se muestran resultados preliminares de un estudio descriptivo de casos múltiples. Se analiza el sistema simbólico y el sistema lingüístico usado para la presentación del tema oscilaciones electromagnéticas forzadas en diez libros de texto universitarios de uso frecuente en Argentina. Se demuestra que la expresión matemática utilizada para definir el ángulo de fase depende de la cantidad alternante (corriente o voltaje) que se toma implícitamente como referencia simbólica. Dicho resultado se emplea para caracterizar los ejemplares y analizar las representaciones gráficas. Se encontró que en algunos ejemplares, las afirmaciones lingüísticas no son consistentes con las aseveraciones simbólicas. La falta de coherencia entre ambos sistemas dificultaría la comprensión del tema.

Palabras clave: Oscilaciones electromagnéticas forzadas, Ángulo de fase, Libros de texto, Física, Universidad.

Abstract

Preliminary results of a descriptive study of multiple cases are displayed. The symbolic and linguistic systems used for the presentation of the subject of forced electromagnetic oscillations in ten college textbooks often used in Argentina are discussed. The article shows that the mathematical expression used to define the phase angle depends on the alternating quantity (current or voltage) that is implicitly taken as symbolic reference. This result is used to characterize the texts and to analyze the graphical representations. We found that in some textbooks the linguistic statements do not coincide with the symbolic asseverations. The lack of coherence between the two systems would make the understanding of the subject difficult.

Keywords: Forced electromagnetic oscillations, Phase angle, Textbooks, Physics, University

I. INTRODUCCIÓN

Entre los contenidos conceptuales de Física, correspondiente al ciclo básico universitario de carreras de corte científico-tecnológico de la República Argentina, se cita “oscilaciones electromagnéticas forzadas”. En algunos libros de texto (LT) este contenido se presenta bajo el título “circuitos de corriente alterna (CA)”.

La experiencia docente muestra que los estudiantes, en general, tienen dificultades para comprender los fenómenos que acontecen en circuitos de CA. Los errores que pueden identificarse en la corrección de sus exámenes escritos, indican que una de las deficiencias más frecuentes es la inadecuada identificación del denominado ángulo de fase. Otras deficiencias se hacen evidentes cuando los estudiantes deben caracterizar el circuito a partir del valor del mencionado ángulo, establecer correspondencias entre las funciones matemáticas y sus representaciones gráficas, realizar inferencias derivadas de la lectura de gráficos cartesianos y/o diagramas de fasores y resolver situaciones problemáticas, entre otras.

Si bien son múltiples los factores que pueden atribuirse a las carencias mencionadas, los autores creen que uno de ellos, está relacionado con la falta de comprensión de los fenómenos a partir de la lectura de

los LT que utilizan habitualmente los alumnos, pues no siempre las explicaciones presentes en ellos son suficientemente claras para facilitar la construcción de conocimientos (de Pro, 2003).

La importancia que tienen los LT en relación a la calidad educativa que se ofrece en la República Argentina, se reconoció en el Plan de Mejoramiento de la Enseñanza de las Ciencias y las Matemáticas (MCyE, 2007). Entre las recomendaciones para mejorar los recursos didácticos, se sugiere a las autoridades educativas generar iniciativas que aseguren la calidad de los libros de texto existentes en el sistema. Para lograrlo; se propone crear un comité de análisis de LT, elaborarlos teniendo en cuenta esos resultados y; difundir y promover su uso en el nivel primario, secundario y superior.

Por otro lado, son escasas las simulaciones computacionales relacionadas con circuitos de CA que podrían utilizarse como complemento de enseñanza (Marinelli y Lombardo, 2013). Las existentes no siempre se adecuan al contexto educativo donde se pretenden incorporar.

En este trabajo, se presentan resultados preliminares de un estudio descriptivo de casos múltiples realizado sobre una muestra intencional de diez LT universitarios de uso frecuente en Argentina. Se analiza el sistema simbólico y el sistema lingüístico usado para la presentación del tema “oscilaciones electromagnéticas forzadas”.

Los resultados que se muestran representan un insumo para el diseño de futuras simulaciones, que el grupo de investigadores del proyecto en el que se inserta este trabajo planea realizar, y aporta a la literatura existe en torno a los LT.

En la siguiente sección, se describe el marco teórico y los antecedentes que orientaron esta investigación. Luego, se detalla el problema de investigación, la metodología que se estimó más adecuada para el estudio y se presenta la discusión de los resultados obtenidos. Se cierra el escrito mostrando una síntesis e implicancias para la enseñanza que se derivan del análisis realizado.

II. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

Los LT, según Moya Pardo (2008), son una modalidad específica de recurso didáctico diseñado para el acto pedagógico de un nivel educativo particular. A diferencia de otros materiales (enciclopedias, revistas de difusión científica, etc.) numerosos investigadores coinciden en afirmar que los LT se diseñan teniendo en cuenta los lineamientos curriculares oficiales de un contexto específico (Macías et al., 1999; Perales y Jiménez, 2002; Pandiella et al., 2007; de Pro y de Pro, 2011). Se presume, además, que la lectura debe realizarse en el orden propuesto por los autores de los LT para promover el aprendizaje de ciertos contenidos.

La comprensión lectora, desde la postura asumida por los autores y como lo plantean otros investigadores (Graffigna et al., 2008; Sardá et al., 2006; Diffabio, 2005), no es la mera decodificación literal del texto en sí, sino más bien la construcción de significados que elabora el lector basándose en sus experiencias previas, intereses, esquemas cognitivos y propósitos pretendidos. Desde el punto de vista del aprendiz, el lenguaje especializado de la Física ofrece una doble dificultad. Por un lado, utiliza algunos términos de uso habitual que a veces, en el contexto científico, tienen un significado distinto al que se le otorga en la vida cotidiana; y por otro, usa de una manera particular las Matemáticas como herramientas privilegiadas para expresar las leyes que describen los fenómenos físicos. La intensidad y la extensión del lenguaje matemático utilizado en los LT, pueden ser los motivos por los cuales se considere erróneamente a la Física, ciencia experimental, como una ciencia del mismo tipo que la Matemática, ciencia formal (Gellon et al., 2005).

En este mismo sentido, los LT de Física son catalogados por algunos investigadores como “bilingües” (Alexander y Kulicowich, 1994, citados en Pocoví y Ovejero, 2009). Utilizan alternativamente dos sistemas, lingüístico y simbólico, entre los cuales el lector debe desplazarse o realizar una “traducción” para lograr una adecuada comprensión lectora. El sistema lingüístico está constituido por las expresiones verbales que describen los fenómenos físicos, en tanto que al sistema simbólico lo conforman las representaciones tales como ecuaciones, gráficos, esquemas y diagramas. “*Los requerimientos de procesamiento de información por parte del lector aumentan cuanto menos abundantes y explícitas son las traducciones*” (Pocoví y Ovejero, *op.cit.* p.3).

Por otro lado, entre los reportes de investigaciones dedicadas a contenidos específicos de Física presentes en los LT universitarios, pueden mencionarse algunos relacionados con este trabajo que abordaron los siguientes tópicos: fuerza electromotriz en circuitos de corriente continua (Montero Moreno, 2007), circuitos eléctricos (Kofman y Concari, 2006), campo magnético (Almudí, 2001), ley de Ampère (Kofman y Concari, 2000), inducción electromagnética (Catalán y Caballero Sahelices, 2009) y corriente de desplazamiento (Pocoví y Hoyos, 2008) entre otros. Si bien existen trabajos concernientes a oscilaciones electromagnéticas forzadas (Reyes Rodríguez, 2009; Pazmiño y Chicaiza, 2011), no tienen como objeto de estudio la presentación del tema en LT universitarios.

III. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En los LT universitarios de uso habitual en el ciclo básico de carreras de corte científico-tecnológico existen diferentes maneras de definir el ángulo de fase entre las cantidades alternantes corriente y voltaje en circuitos *RLC* conectados en serie. Si bien en todos los LT se lo define mediante la tangente trigonométrica del cociente entre la reactancia (X) y la resistencia (R), existen dos maneras distintas de cuantificar a la reactancia. Mientras que en algunos ejemplares se precisa como la diferencia entre la reactancia inductiva (X_L) y la reactancia capacitiva (X_C), en otros; se presenta como la diferencia entre la reactancia capacitiva y la reactancia inductiva. En las ecuaciones (1) y (2) se muestran las expresiones simbólicas que se encuentran en los LT (la tilde de la ecuación (2) corresponde a los autores del trabajo de investigación).

$$tg\phi = \frac{X_L - X_C}{R} \quad (1)$$

$$tg\phi' = \frac{X_C - X_L}{R} \quad (2)$$

Dado un circuito *RLC* en serie como se muestra en la Figura 1 se propone, en primer lugar, demostrar que si la fuente de excitación y la corriente alterna temporal se presentan como se muestran en las ecuaciones (3) y (4) respectivamente, existen dos maneras de definir al ángulo entre las cantidades alternantes, y que cada una de ellas determina la reactancia.

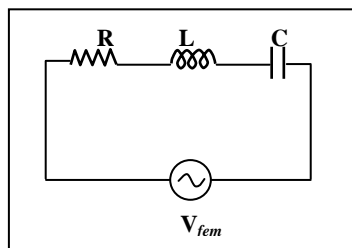


FIGURA 1. Circuito *RLC* en serie

$$V_{fem} = V_{0T} \sin(\omega t + \alpha) \quad (3)$$

$$I = I_0 \sin(\omega t + \alpha) \quad (4)$$

Se plantean las siguientes hipótesis:

H1: Si el ángulo de fase (ϕ) es igual a la diferencia entre la constante de fase del voltaje (α) y la constante de fase de la CA (β), lo cual supone aceptar que la oscilación de referencia simbólica es la CA, la reactancia es igual a la diferencia entre la reactancia inductiva y la reactancia capacitiva. En consecuencia se satisface la ecuación (1).

Simbólicamente: Si $\Rightarrow \phi = \alpha - \beta \Rightarrow X = X_L - X_C$

H2: Si el ángulo de fase (ϕ') es igual a la diferencia entre la constante de fase de la CA (β) y la constante de fase del voltaje (α), lo cual presupone admitir que la oscilación de referencia simbólica es el voltaje, la reactancia es igual a la diferencia entre la reactancia capacitiva y la reactancia inductiva. Consecuentemente se cumple la ecuación (2).

Simbólicamente: Si $\Rightarrow \phi' = \beta - \alpha \Rightarrow X' = X_C - X_L$

Como segunda parte del trabajo, se pretende dar respuesta a los siguientes interrogantes: ¿Cuál es la referencia lingüística que se infiere de los fragmentos verbales relativos al ángulo de fase? ¿Qué funciones matemáticas se utilizan para describir las cantidades alternantes de voltaje y corriente en circuitos *RLC* en serie? ¿Qué funciones matemáticas definen reactancia, módulo de impedancia y ángulo de fase? ¿Qué tipo de representaciones gráficas se muestran?

IV. METODOLOGÍA

La metodología empleada en esta investigación se sitúa en la modalidad de estudio descriptivo de casos múltiples (Ander-Egg, 2010). Se seleccionó un conjunto de LT universitarios que se utilizan frecuentemente para la enseñanza de Electromagnetismo en el ciclo básico de carreras científico-tecnológicas que se desarrollan en Argentina. Seguidamente, dada la imposibilidad de analizar todos los LT existentes en el mercado argentino, se escogieron diez que reunieran ciertas características: a) estén mencionados en la Bibliografía recomendada en diferentes Programas Analíticos vigentes en la institución donde está registrado el proyecto de investigación, b) el autor no se repitiera y c) su edición fuera lo más actual posible. Por último, se ordenaron alfabéticamente y se identificaron con un código conformado por una letra y un número arábigo (T1, T2, etc.). Dicho código se utilizará en lo sucesivo para referirse a ellos. La selección de LT, que se muestra en la Tabla I, se estima que proporciona una muestra intencional rica en información y adecuada para los propósitos de la investigación.

TABLA I. Libros de texto y código asignado.

Código	Libro de texto
T1	Alonso, E. y Finn, E. (1976) <i>Física. Vol. II Campos y ondas</i> . Barcelona. España: Fondo Educativo Interamericano S.A.
T2	Bauer, W. y Westfall, G. (2011) <i>Física para Ingeniería y Ciencias con Física moderna. Volumen 2</i> . 1º Ed. México: McGraw Hill.
T3	Gettys, E.; Keller, F. y Skove, M. (2005) <i>Física para Ciencias e Ingeniería. Tomo II</i> . México: McGraw Hill.
T4	Giancoli, D. (2009) <i>Física para Ciencias e Ingeniería con Física moderna. Volumen II</i> . 4ta Ed. México: Pearson Educación
T5	Halliday, D.; Resnick, R. y Krane, K. (1999). <i>Física. Vol. 2</i> . 4ta. Ed. México: Compañía Ed. Continental, SA.
T6	McKelvey, J. y Groth, H. (1981) <i>Física para ciencias e ingeniería. Tomo II</i> . 1ra. Ed. México: Harla S.A.
T7	Serway, R. y Jewett, J. (2009) <i>Física para ciencia e ingeniería con Física Moderna. Vol. 2</i> . 7ma. México: Ed. Cengage Learning Editores S.A.
T8	Tipler, P. (1993) <i>Física. Tomo 2</i> . 3ra Ed. España: Editorial Reverté S.A.
T9	Tippens, P. (2011) <i>Física, conceptos y aplicaciones</i> . 7º Ed. Perú: McGraw Hill.
T10	Young, H. y Freedman, R. (2009) <i>Física universitaria con Física Moderna. Vol.2</i> . 12º Ed. México: Pearson Educación.

Como técnica de estudio se empleó el análisis de contenido (Bardín, 1996). Las fases cronológicas de dicho proceso se circunscribieron a pre-análisis, exploración del material y tratamiento de resultados e interpretaciones. La lectura superficial del pre-análisis posibilitó poner en evidencia algunas propiedades de los LT. La exploración del material de manera sistemática, la re-lectura y desarrollos matemáticos permitieron reconocer ciertas regularidades y cuestiones implícitas con las que se construyeron progresivamente las categorías de análisis. Finalmente, se optó por presentar los resultados -cuando fuera posible- en tablas comparativas.

Las categorías y subcategorías que se utilizaron para la exploración del material impreso fueron:

Expresiones lingüísticas relativas al ángulo de fase: Las dos subcategorías se elaboraron teniendo en cuenta la referencia lingüística: a) CA y b) voltaje alterno.

Funciones matemáticas que describen las Oscilaciones Electromagnéticas Forzadas: Las dos subcategorías analizadas aluden a: a) Fuente de fem alterna y Corriente alterna en circuitos RLC en serie, y b) Reactancia, Impedancia y Ángulo de fase.

Tipos de Representaciones gráficas: Las dos subcategorías analizadas son: a) Diagrama de fasores y b) Gráfico cartesiano.

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A. Demostración H1

Según la ecuación de las mallas de Kirchoff se puede establecer la relación (5).

$$V_R + V_L + V_C = V_{fem} \quad (5)$$

Sustituyendo cada una de las expresiones que determinan la diferencia de potencial en los elementos del circuito en la ecuación (5) se obtiene la ecuación (6).

$$RI + L \frac{dI}{dt} + \frac{Q}{C} = V_{0T} \text{sen}(\omega t + \alpha) \quad (6)$$

Reordenando la ecuación (6) y derivando con respecto al tiempo t se obtiene la ecuación diferencial no homogénea la ecuación (7).

$$L \frac{d^2 I}{dt^2} + R \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} I = \omega V_{0T} \cos(\omega t + \alpha) \quad (7)$$

Si se supone que la solución estacionaria de la corriente, es decir una vez que hayan desaparecido las variaciones transitorias, es de la forma que se indica en la ecuación (4), su derivada primera y segunda con respecto al tiempo, serán como se muestra en las ecuaciones (8) y (9) respectivamente.

$$\frac{dI}{dt} = \omega I_0 \cos(\omega t + \beta) \quad (8)$$

$$\frac{d^2 I}{dt^2} = -\omega^2 I_0 \text{sen}(\omega t + \beta) \quad (9)$$

Sustituyendo las ecuaciones (8) y (9) en la ecuación (7) se obtiene la ecuación (10):

$$-\omega^2 L I_0 \text{sen}(\omega t + \beta) + \omega R I_0 \cos(\omega t + \beta) + \frac{I_0}{C} \text{sen}(\omega t + \beta) = \omega V_{0T} \cos(\omega t + \alpha) \quad (10)$$

Dividiendo ambos miembros por la frecuencia angular (ω) se obtiene la ecuación (11).

$$-\omega L I_0 \text{sen}(\omega t + \beta) + R I_0 \cos(\omega t + \beta) + \frac{I_0}{\omega C} \text{sen}(\omega t + \beta) = V_{0T} \cos(\omega t + \alpha) \quad (11)$$

Desarrollando las sumas indicadas en la ecuación (11), teniendo en cuenta las ecuaciones (12) y (13), se obtiene la ecuación (14).

$$\text{sen}(a \pm b) = \text{sen} a \cdot \cos b \pm \text{sen} b \cdot \cos a \quad (12)$$

$$\cos(a \pm b) = \cos a \cdot \cos b \mp \text{sen} a \cdot \text{sen} b \quad (13)$$

$$-\omega L I_0 (\text{sen} \omega t \cdot \cos \beta + \text{sen} \beta \cdot \cos \omega t) + R I_0 (\cos \omega t \cdot \cos \beta - \text{sen} \omega t \cdot \text{sen} \beta) + \frac{I_0}{\omega C} (\text{sen} \omega t \cdot \cos \beta + \text{sen} \beta \cdot \cos \omega t) = V_{0T} (\cos \omega t \cdot \cos \alpha - \text{sen} \omega t \cdot \text{sen} \alpha) \quad (14)$$

Reemplazando la reactancia inductiva ($X_L = \omega L$), la reactancia capacitiva ($X_C = 1/\omega C$) e igualando coeficientes de ambos miembros de $\text{sen}(\omega t)$ y $\text{cos}(\omega t)$ en la ecuación (14) se obtienen las ecuaciones (15) y (16).

$$\begin{cases} -I_0 X_L \cos \beta - I_0 R \text{sen} \beta + I_0 X_C \cos \beta = -V_{0T} \text{sen} \alpha & (15) \\ -I_0 X_L \text{sen} \beta + I_0 R \cos \beta + I_0 X_C \text{sen} \beta = V_{0T} \cos \alpha & (16) \end{cases}$$

Definiendo ϕ tal como se indica en la ecuación (17) se obtiene la ecuación (18).

$$\phi = \alpha - \beta \quad (17)$$

$$\alpha = \beta + \phi \quad (18)$$

Reemplazando la ecuación (18) en la ecuación (15) y la ecuación (16) se obtienen las ecuaciones (19) y (20):

$$\begin{cases} I_0 (-X_L \cos \beta - R \text{sen} \beta + X_C \cos \beta) = -V_{0T} \text{sen}(\beta + \phi) & (19) \\ I_0 (-X_L \text{sen} \beta + R \cos \beta + X_C \text{sen} \beta) = V_{0T} \cos(\beta + \phi) & (20) \end{cases}$$

Desarrollando la suma del segundo miembro de las expresiones (19) y (20) se obtienen las ecuaciones (21) y (22) respectivamente.

$$\begin{cases} I_0 (-X_L \cos \beta - R \text{sen} \beta + X_C \cos \beta) = -V_{0T} (\text{sen} \beta \cdot \cos \phi + \text{sen} \phi \cdot \cos \beta) & (21) \\ I_0 (-X_L \text{sen} \beta + R \cos \beta + X_C \text{sen} \beta) = V_{0T} (\cos \beta \cdot \cos \phi - \text{sen} \beta \cdot \text{sen} \phi) & (22) \end{cases}$$

Igualando los coeficientes del $\text{sen} \beta$ y $\cos \beta$ en la ecuación (21) se obtienen las ecuaciones (23) y (24)

$$\begin{cases} -I_0 R = -V_{0T} \cos \phi & (23) \\ -I_0 X_L + I_0 X_C = -V_{0T} \text{sen} \phi & (24) \end{cases}$$

Reiterando el procedimiento en la ecuación (22) se obtiene las ecuaciones (25) y (26)

$$\begin{cases} -I_0 X_L + I_0 X_C = -V_{0T} \text{sen} \phi & (25) \\ I_0 R = V_{0T} \cos \phi & (26) \end{cases}$$

Las ecuaciones (23) y (24) constituyen un sistema de ecuaciones idéntico al conformado por las ecuaciones (25) y (26). Dividiendo las ecuaciones (23) y (24) se obtiene la ecuación (27):

$$\frac{-I_0 X_L + I_0 X_C}{-I_0 R} = \frac{-V_{0T} \text{sen} \phi}{-V_{0T} \cos \phi}$$

$$\text{tg} \phi = \frac{X_L - X_C}{R} \quad (27)$$

La ecuación (27) se obtuvo definiendo el ángulo de fase Φ como la diferencia entre la constante de fase del voltaje y la constante de fase de la CA ($\Phi = \alpha - \beta$), por lo cual queda demostrada la primera hipótesis.

B. Demostración H2

Para demostrar la segunda hipótesis se establece la relación entre Φ' y Φ que se muestra en la ecuación (28).

$$\phi' = -\phi \tag{28}$$

Reemplazando la ecuación (28) en la ecuación (27) y teniendo en cuenta que $tg(-a) = -tga$ se obtiene la ecuación (29).

$$tg\phi' = tg(-\phi) = -tg\phi = -\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right) = \frac{-X_L + X_C}{R}$$

$$tg\phi' = \frac{X_C - X_L}{R} \tag{29}$$

La ecuación (29) se dedujo definiendo el ángulo de fase Φ' como la diferencia entre la constante de fase de la CA y el voltaje ($\Phi' = \beta - \alpha$), demostrándose así la segunda hipótesis.

C. Expresiones lingüísticas relativas al ángulo de fase

Las expresiones lingüísticas relativas al ángulo de fase son escasas. En ningún ejemplar de la muestra analizada se explicita simbólicamente si el denominando ángulo de fase es la diferencia entre la constante de fase de la CA y el voltaje o la diferencia entre la constante de fase del voltaje y la constante de fase de la CA.

En la Tabla II se presentan fragmentos extraídos de los LT de donde se podría deducir, por el orden en que se presentan los elementos de la conjunción, la referencia inferida del sistema lingüístico (RI d SL).

TABLA II. Fragmentos, relacionados con el ángulo de fase, explicitados en los LT analizados.

LT	Fragmentos explicitados en los LT	RI d SL
T1	y la diferencia de fase α entre la corriente y la fem aplicada se obtiene de (p.667)	voltaje
T2	...la diferencia de fase entre la corriente y el voltaje es ... (p.966) La constante de fase se define como la diferencia de fase entre los fasores V_R y V_m ... (p.969)	voltaje
T3	...el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente es igual a ... (p.763)	corriente
T4	... el ángulo de fase Φ entre el voltaje y la corriente:... (p.800)	corriente
T5	... el ángulo Φ entre los fasores i_m y ϵ_m es (p.285)	voltaje
T6	El ángulo de fase Φ entre la corriente y la FEM(p.929)	voltaje
T7	... Φ es cierto ángulo de fase entre la corriente y el voltaje aplicados...(p.932), El voltaje total $\Delta V_{m\acute{a}x}$ forma un ángulo Φ con $I_{m\acute{a}x}$... (p.933) ... encuentre el ángulo de fase entre la corriente y el voltaje (p.934)	indeterminada
T8	La suma de los vectores que representan estas tensiones da un vector que forma un ángulo con la corriente y representa la fem aplicada (p.913) ...el fasor ϵ forma un ángulo con V_R (p.913)	corriente
T9	... ángulo de fase Φ , que es una medida del grado de adelanto del voltaje con relación a la corriente en un elemento específico del circuito. (p.632)	corriente
T10	Se llama Φ al ángulo de fase, el cual indica la fase del voltaje en relación con la corriente. (p.1066) ...el ángulo Φ entre los fasores de voltaje y de corriente es el ángulo de fase del voltaje de fuente v con respecto a la corriente i ; es decir, es el ángulo con el que el voltaje de fuente se adelanta a la corriente. (p.1072)	corriente

En la muestra examinada existen cinco LT (T3, T4, T8, T9 y T10) donde la CA es la “referencia inferida del sistema lingüístico” y cuatro (T1, T2, T5 y T6) donde dicha referencia es el voltaje. En el ejemplar restante, T7, no se puede deducir la referencia.

D. Funciones matemáticas que describen las Oscilaciones Electromagnéticas Forzadas

En la Tabla III se muestran las expresiones simbólicas de voltaje alterno y CA en función del tiempo que se utilizan en la presentación del tema circuitos RLC en serie en cada uno de los LT analizados. En la mayoría de los LT, excepto en el T9, existe una dependencia funcional entre ellas. La función temporal de la CA que se exhibe, excepto en T9, es la solución estacionaria propuesta para una ecuación diferencial semejante¹ a la mostrada en la ecuación (7).

TABLA III. Expresiones formales de voltaje alterno y CA utilizadas en los LT.

LT	Voltaje alterno	Corriente alterna
T1	$V\mathcal{E} = V\mathcal{E}_0 \text{sen } \omega_f t$	$I = I_0 \text{sen}(\omega_f t - \alpha)$
T2	$V_{fem} = V_{\max} \text{sen } \omega t$	$i = I \text{sen}(\omega t - \phi)$
T3	$V = V_m \text{sen}(\omega t)$	$i = I_m \text{sen}(\omega t + \phi)$
T4	$V = V_o \cos(\omega t + \phi)$	$I = I_0 \cos \omega t$
T5	$\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \text{sen } \omega t$	$i = i_m \text{sen}(\omega t - \phi)$
T6	$\mathcal{E}_{(t)} = \mathcal{E}_0 \cos \omega t$	$i_{(t)} = i_0 \cos(\omega t - \phi)$
T7	$\Delta v = \Delta V_{\max} \text{sen } \omega t$	$i = I_{\max} \text{sen}(\omega t - \phi)$
T8	$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} \cos \omega t$	$I = I_{\max} \cos(\omega t - \delta)$
T9 ^(*)	$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} \text{sen } 2\pi f t$	$i = i_{\max} \text{sen } 2\pi f t$
T10	$v = V \cos(\omega t + \phi)$	$i = I \cos \omega t$

^(*) Las expresiones formales de voltaje y corriente instantánea no están relacionadas entre sí.

En la Tabla IV se presentan los LT y las expresiones formales de reactancia, módulo de la impedancia y ángulo de fase. Es de hacer notar que las expresiones de reactancia inductiva y la reactancia capacitiva utilizadas en algunos ejemplares (T1, T2, T4, T6) se presentan más desarrolladas. De igual manera, el ángulo de fase también se representa con otras letras griegas (α , δ) en algunos LT (T1 y T8 respectivamente).

TABLA IV. Expresiones formales de reactancia, impedancia y ángulo de fase según los LT analizados.

LT	Reactancia	Módulo de la Impedancia	Ángulo de fase
T1, T2, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10	$X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right)$
T3	$X = \frac{1}{\omega C} - \omega L$	$Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}$	$\phi' = \tan^{-1}\left(\frac{X_C - X_L}{R}\right)$

Asignando constante de fase a las cantidades alternantes, α para el voltaje y β para la CA, como se indica en la Tabla V; es posible reconocer en los LT la cantidad alternante que se toma como referencia simbólica para definir el ángulo de fase. En los LT T1, T2, T4, T5, T6, T7, T8 y T10 se define implícitamente el ángulo de fase como la diferencia entre la constante de fase del voltaje y la constante de fase de la CA, en tanto que en T3 el ángulo de fase es, implícitamente, la diferencia entre la constante de fase de la CA y la constante de fase del voltaje. En los LT del primer grupo, la función de referencia simbólica es la CA y en T3 lo es el voltaje.

¹ El término semejante se utiliza para indicar que, en algunos ejemplares, la variación temporal de voltaje se presenta con la función trigonométrica coseno.

TABLA V. Significado implícito de la diferencia de fase en los LT analizados.

LT	Voltaje alterno	Corriente alterna	Diferencia	Referencia simbólica
T1, T2, T4*, T5, T6*, T7, T8*, T10*	$V = V_{0T} \text{sen}(\omega t + \alpha)$	$I = I_0 \text{sen}(\omega t + \beta)$	$\phi = \alpha - \beta$	corriente alterna
T3	$V = V_{0T} \text{sen}(\omega t + \alpha)$	$I = I_0 \text{sen}(\omega t + \beta)$	$\phi' = \beta - \alpha$	voltaje alterno

Los LT señalados con * usan la función coseno.

Entre los LT donde se toma como referencia simbólica a la CA existen dos, T4 y T10, en los que se asigna constante de fase nula a la CA y seis, T1, T2, T5, T6, T7 y T8, en que utilizando la misma referencia se otorga una constante de fase distinta de cero a la CA. Existe un solo ejemplar, T3, donde se toma como referencia simbólica el voltaje con constante de fase nula. En ningún ejemplar se adopta como referencia simbólica, al voltaje con constante de fase distinta de cero.

En T4 y T10 el denominado ángulo de fase es igual a la constante de fase del voltaje ($\Phi = \alpha$), en T1, T2, T5, T6, T7 y T8 es igual al opuesto de la constante de fase de la CA ($\Phi = -\beta$) y en T3 es igual a la constante de fase de la CA ($\Phi = \beta$). En la Tabla VI se sintetizan dichos resultados.

Tabla VI. Síntesis de referencia simbólica, constante de fase y ángulo de fase según los LT analizados.

LT	Voltaje alterno	Corriente alterna	Referencia simbólica	Constante de fase	Φ
T4, T10	$V = V_{0T} \cos(\omega t + \phi)$	$I = I_0 \cos \omega t$	CA	Nula	α
T1, T2, T5, T7	$V = V_{0T} \text{sen} \omega t$	$I = I_0 \text{sen}(\omega t - \phi)$	CA	Distinta de cero	$-\beta$
T6, T8	$V = V_{0T} \cos \omega t$	$I = I_0 \cos(\omega t - \phi)$	CA	Distinta de cero	$-\beta$
T3	$V = V_{0T} \text{sen} \omega t$	$I = I_0 \text{sen}(\omega t + \phi)$	voltaje	Nula	β

Existe un único LT, T9, donde se presentan las relaciones tanto de voltaje instantáneo como de corriente instantánea en función de la frecuencia [$\varepsilon = f(\omega)$ e $i = f(\omega)$] de manera independiente, es decir sin vinculación entre ambas expresiones formales. Dicha presentación se realiza en la introducción al tema y remitiendo al lector, al capítulo inmediatamente anterior. En este ejemplar, durante el desarrollo tanto de circuitos simples (R , L o C) como combinados (RLC en serie), no se muestra de manera explícita una expresión simbólica que asigne el ángulo de fase a cualquiera de las dos funciones temporales. Por la manera en que se define el ángulo de fase en este ejemplar, se infiere que la referencia simbólica que se asigna implícitamente es la CA.

Comparando las Tabla II y Tabla VI, se aprecia que en T4, T8, T9 y T10 la “referencia inferida del sistema lingüístico” es consistente con la “referencia simbólica” con la cual se define el ángulo de fase.

En todos los LT se explicita que para un circuito en serie RLC si se comparan la reactancia inductiva (X_L) con la reactancia capacitiva (X_C) existen tres posibles condiciones: mayor, igual o menor.

Para todos los LT si $X_L > X_C$ el circuito es *predominantemente inductivo*, si $X_L = X_C$ el *circuito está en resonancia* (T1), es decir es *resonante* o también denominado *completamente resistivo* (T7) y si $X_L < X_C$ el circuito es *predominantemente capacitivo*. Pero, el signo del ángulo de fase en la muestra de LT analizado depende de la manera en que se definió la reactancia. En la mayoría de los LT analizados (T1, T2, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10) un ángulo de fase positivo ($\Phi > 0$) representa un circuito predominantemente inductivo y un ángulo de fase negativo ($\Phi < 0$) representa un circuito predominantemente capacitivo. Sólo en T3, si el ángulo es positivo el circuito es predominantemente capacitivo y; si es negativo el circuito es predominantemente inductivo. En todos los ejemplares de la muestra, si el ángulo de fase es nulo, el circuito está en resonancia.

Las afirmaciones que comparan el estado instantáneo de las cantidades alternantes (adelanta, está en fase, atrasa) en circuitos simples o en circuitos combinados (RLC en serie) totalizan 227. En 132 ocasiones, la referencia lingüística es la CA y en 95 lo es el voltaje. En la mayoría de los LT, excepto en

T10, es usual presentar expresiones verbales sinónimas para comparar las cantidades alternantes de circuitos predominantemente capacitivos o predominantemente inductivos.

E. Representaciones gráficas

En relación a la representación gráfica de las funciones temporales indicadas en la Tabla VI, es de hacer notar que en los LT T3, T4 y T10 utilizando un sistema de coordenadas cartesianas ortogonales donde el tiempo inicial coincide con la intersección de los ejes, la función de referencia graficada con constante de fase nula es idéntica a la función de referencia simbólica utilizada para definir el ángulo de fase. En los LT T1, T2, T5, T6, T7, y T8 la función de referencia graficada con constante de fase nula (voltaje) no coincide con la función de referencia simbólica usada para definir el ángulo de fase (CA).

En la muestra examinada existen 21 gráficos cartesianos de corriente y voltaje de circuitos simples y combinados (*RLC* en serie) donde es posible reconocer la función que se grafica con constante de fase nula. En 16 gráficos la constante de fase nula corresponde al voltaje y, en los 5 restantes, a la CA. De los 12 epígrafes de figuras donde se explicita la cantidad alternante que adelanta o atrasa, en 10 el sistema lingüístico es consistente con la referencia simbólica utilizada. En los dos casos restantes, presentes en T4, no hay correspondencia entre el sistema lingüístico y el sistema simbólico. Las representaciones gráficas son consistentes con las ecuaciones matemáticas utilizadas, pero no así con la descripción verbal que compara el desfase entre ambas cantidades alternantes (Fig. 30.16 (b), p.797 y Fig. 30.17 (b), p.798).

Los diagramas de fasores y gráficos cartesianos de circuitos *RLC* en serie presentes en la muestra de LT analizados totalizan 42. De ellos, el 81% (34/42) representa diagramas de fasores y el 19% (8/34) restante corresponde a gráficos cartesianos.

Los diagramas de fasores que se muestran son mayoritariamente (32/34) representaciones basadas en modelos teóricos generales, sin asignación de valores numéricos a las variables. Los dos únicos ejemplos numéricos se presentan en el T6 y forman parte de la resolución dada a los problemas resueltos. Existen 6 diagramas de fasores, sobre un total de 34, que están relacionados con gráficos cartesianos. De ellos, 2 corresponden a circuitos resonantes, 2 a circuitos predominantemente inductivos y 2 a circuitos predominantemente capacitivos. Los LT en los que se muestra la citada correspondencia son: T1, T2, T3, y T10, y representan el 40% de la muestra. De ellos, sobresale el T2, por ser el único ejemplar donde se muestran los tres casos mencionados.

Del análisis realizado en torno a los diagramas de fasores presentes en los LT surge que, en todos los ejemplares se asigna un *sentido* “antihorario” al giro de los fasores. Respecto al origen del tiempo, en la mayoría de los LT (T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10) se adopta un semieje horizontal coincidente con el semieje positivo de las x que usualmente, se utiliza para representar un sistema de coordenadas cartesianas rectangulares. Existe un solo LT, T1, que elige el semieje negativo de las y como origen.

Los ángulos señalados desde el origen hasta los fasores son heterogéneos. En la muestra seleccionada, es posible identificar un grupo de LT donde se señala el ángulo “ ωt ” desde el origen hasta el fasor que representa el voltaje máximo (T1, T2, T3, T5, T7) o el ángulo “ $\omega t \pm \Phi$ ” hasta el fasor de corriente o fasor de voltaje máximo en la resistencia (T6, T8). En cambio, en otros LT (T4, T10) se indica el ángulo “ ωt ” hasta el fasor que representa la corriente. Existe un solo LT, T9, donde no se puede reconocer criterio alguno.

Respecto a las magnitudes representadas, en el 90% de los LT se trabaja con valores máximos de voltaje o CA; el único LT que lo hace con valores eficaces de voltaje o CA es el T9. Las proyecciones de los fasores están determinadas por la función trigonométrica que se emplea en cada LT. En el 60% de los LT (T1, T2, T3, T5, T7, T9) se emplea la función seno, y en el 40% restante (T4, T6, T8, T10) la función coseno para definir las cantidades alternantes.

Las figuras con gráficos cartesianos de circuitos *RLC* en serie que se muestran en los LT seleccionados, totalizan ocho. En siete ocasiones se grafican funciones alternantes en el mismo sistema de coordenadas cartesianas y en una, se lo hace en sistemas de coordenadas diferentes. Entre las primeras, existen seis que muestran CA y voltaje y una, que exhibe gráficos temporales de voltaje tanto en la fuente como en los elementos con asignación de valores numéricos. En la figura restante, se representa la CA en función del tiempo y el voltaje instantáneo en los elementos pasivos del circuito. La distribución de figuras es la siguiente: 3 en T2, 2 en T1, 1 en T3, T7 y T10. En T4, T5, T6, T8 y T9 no se muestran gráficos cartesianos de circuitos *RLC* en serie.

En T1, T2, T7 y T10 se representa el voltaje y la CA, en gráficos cartesianos donde la variable independiente corresponde al tiempo. En T3 se muestran gráficos de las mismas funciones pero la variable independiente resulta del producto entre la frecuencia angular y el tiempo (“ ωt ”); es decir se grafican en función de un ángulo variable en el transcurso del tiempo. En T1, T2 y T3 no se explicitan las referencias en el eje de las ordenadas que posibiliten, identificar las variables dependientes que se están

representando gráficamente. En T2 se señalan sobre el eje de las ordenadas los valores máximos de CA y de voltaje. En T3 se indica en el eje de las abscisas los valores π , 2π y " ωt_1 ".

En todos los LT se representan las funciones de voltaje y CA en un sistema de coordenadas cartesianas rectangulares, lo cual supone aceptar que se considera como origen del tiempo la intersección de los ejes. No obstante, en los gráficos se pueden distinguir tres criterios diferentes. En algunos LT (T3, T7) se grafican ambas funciones únicamente para tiempos iguales o superiores a cero. En otros (T2, T10), se representan ambas funciones para tiempos "anteriores" al momento en el que se puso en marcha el cronómetro que posibilita estudiar el fenómeno (por ejemplo Fig. 2.a) y en el restante (T1) las funciones se representan para tiempos disímiles, una de ellas para valores de tiempos iguales o mayores a cero y la otra, solamente para tiempo mayores a cero. La figura 17.26 del T1 (p.608), semejante a la que se muestra en la Figura 2.b, es al parecer de los autores de la investigación, conceptualmente incorrecta, porque para tiempos comprendidos entre cero y α/ω no se representa la corriente y; para tiempos superiores a $3\pi/\omega$ e inferiores a $(3\pi+\alpha)/\omega$ no se grafica el voltaje. Otras deficiencias semejantes se muestran en el T9 (fig. 32.8, p. 630 y fig. 32.9, p. 631) en circuitos simples, donde falta la gráfica de una cantidad alternante para intervalos de tiempos mayores a los anteriores e iguales a la cuarta parte del período.

Respecto a las amplitudes de las funciones graficadas, es de hacer notar que sólo en T10 se indica explícitamente que las escalas para representar a la corriente y el voltaje son distintas, de manera que las amplitudes de las curvas no son significativas.

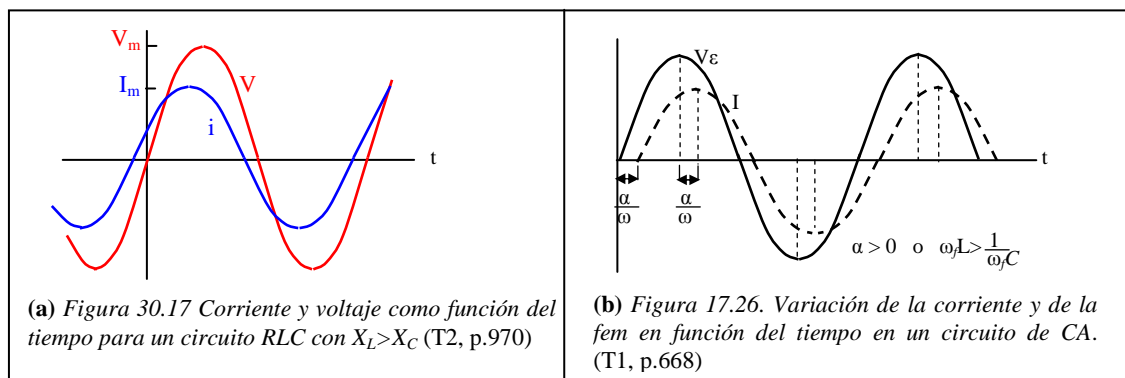


FIGURA 2. Selección de gráficos cartesianos según LT analizados.

En T7 se supone que en un circuito RLC en serie, el voltaje aplicado y la corriente varían en el transcurso del tiempo como se indica en las ecuaciones (30) y (31).

$$\Delta v = V_{m\acute{a}x} \text{sen} \omega t \quad (30)$$

$$I = I_{m\acute{a}x} \text{sen}(\omega t - \phi) \quad (31)$$

Además se señala que " Φ es cierto ángulo de fase entre la corriente y el voltaje aplicados" (p. 932) y que la diferencia de potencial en los extremos de la resistencia, del inductor y del condensador son como se indica en las ecuaciones (32), (33) y (34).

$$\Delta v_R = I_{m\acute{a}x} R \text{sen} \omega t = \Delta V_R \text{sen} \omega t \quad (32)$$

$$\Delta v_L = I_{m\acute{a}x} X_L \text{sen} \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = \Delta V_L \cos \omega t \quad (33)$$

$$\Delta v_C = I_{m\acute{a}x} X_C \text{sen} \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = -\Delta V_C \cos \omega t \quad (34)$$

La figura 33.13 (p.932) que muestra CA y voltaje en los elementos con constante de fase nula, es consistente con las ecuaciones (32), (33) y (34), pero contradice las hipótesis (30) y (31). En la fase de cada una de las expresiones de voltaje temporal, faltó sumar el opuesto del ángulo de fase (Φ) y las gráficas presentadas debieron estar trasladadas con respecto al origen de coordenadas. El diagrama de fasores que se presenta en este mismo ejemplar (fig. 33.15, p.933), es nuevamente consistente con las expresiones (32), (33) y (34) pero contradice las hipótesis señaladas en (30) y (31).

En el tipo de circuito mostrado, según la propia definición de ángulo de fase que se adopta (cuya reactancia es $X = X_L - X_C$) la referencia simbólica implícita es la CA, la constante de fase distinta de cero corresponde a la CA y; según las hipótesis propuestas, el ángulo de fase Φ es igual al opuesto de la constante de fase de la CA.

VI. SÍNTESIS E IMPLICANCIAS PARA LA ENSEÑANZA

Se demostró que el ángulo de fase, es un ángulo que resulta de la diferencia de constante de fase entre las cantidades alternantes voltaje y corriente. En el 90% de los ejemplares se define implícitamente el ángulo de fase como la diferencia entre la constante de fase del voltaje y la CA; y se señala que la reactancia de un circuito *RLC* en serie es la diferencia entre la reactancia inductiva y la reactancia capacitiva. En el 10% restante (T3) el ángulo de fase se define implícitamente como la diferencia entre la constante de fase de la CA y la constante de fase del voltaje; la reactancia es igual a la diferencia entre la reactancia capacitiva y la reactancia inductiva.

En la muestra analizada existen dos LT (T4 y T10) donde se adopta implícitamente como “referencia simbólica” a la CA con constante de fase nula, en ellos el ángulo de fase es igual a la constante de fase del voltaje. Asimismo, hay seis LT (T1, T2, T5, T6, T7 y T8) donde se selecciona implícitamente la misma referencia, pero con constante de fase distinta de cero. En dichos ejemplares, el ángulo de fase es igual al opuesto de la constante de fase de la CA. También existe un ejemplar (T3) donde se elige implícitamente al voltaje con fase nula como “referencia simbólica”. En este único caso, el ángulo de fase es igual a la constante de fase de la CA. Por último, en T9, dado que no asigna constante de fase a las cantidades alternantes, no se puede realizar una inferencia semejante a las anteriores. Es necesario pues, al recomendar LT a los estudiantes, explicitar estas cuestiones que, aunque parezcan triviales, entrañan dificultades para ellos.

Sólo en el 30% de los LT examinados (T3, T4, T10), la “referencia simbólica” coincide con la función que se representa gráficamente con constante de fase nula.

Del análisis de los recursos visuales utilizados en los LT al presentar circuitos eléctricos *RLC* en serie, surge que se privilegia el uso de diagrama de fasores por sobre el de gráficos cartesianos. En todos los LT se utiliza un giro antihorario para señalar la evolución temporal de los fasores. En una mayoría (90%) se adopta como origen el eje $+x$; existiendo sólo un LT (T1) donde se usa el eje $-y$. En el 90% de los LT las magnitudes representadas por fasores, corresponden a valores máximos de potencial y CA, sólo en T9 se grafican los valores eficaces. En algunos LT los gráficos cartesianos presentan deficiencias, tales como ausencia de referencias en el eje de las ordenadas (T1, T2, T3) y de ciertos intervalos de gráficas (T1, T9). Estas deficiencias sumadas a las expresiones verbales que no se corresponden con la referencia simbólica, al entender de los autores, dificultarían la comprensión del tema.

En un ejemplar, T7, las expresiones matemáticas empleadas para definir las cantidades alternantes de voltaje de la fuente y CA son inconsistentes con las expresiones simbólicas y sus representaciones gráficas en cada uno de los elementos pasivos del circuito.

Dadas las características del estudio exploratorio de casos múltiples descrito, los resultados obtenidos no son, obviamente, generalizables. Sin embargo, se espera que los mismos puedan servir de insumo para orientar a los docentes de Física en el proceso de selección de LT. También se anhela promover investigaciones relacionadas con los LT y la comprensión lectora. Como desafío para el grupo de investigación, queda pendiente la elaboración de simulaciones computacionales que pudieran utilizarse como complemento para la enseñanza universitaria.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto de investigación 16Q479 registrado en la Secretaría de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales dependiente de la Universidad Nacional de Misiones.

REFERENCIAS

- Ander-Egg, E. (2010) *Métodos y Técnicas de investigación social, Vol. III: Cómo organizar el trabajo de investigación*. España: Lumen.
- Almudí, J. (2001) Introducción del concepto de campo magnético en primer ciclo de Universidad: dificultades de aprendizaje y propuesta de enseñanza alternativa de orientación constructivista. Tesis (Doctorado en Ciencias Físicas), Universidad del País Vasco, Bilbao, España.
- Bardin, L. (1996) *El análisis de contenido*. Madrid: Akal.
- Catalán, L., Caballero Sahelices, C., Moreira, M. (2009) Los libros de texto usados por los alumnos para el aprendizaje del campo conceptual de la inducción electromagnética. *Latin - American Journal of Physics Education*. (3) 3. pp. 656-664.
- de Pro, A. (2003) La enseñanza y el aprendizaje de la Física. En Jiménez Aleixandre, M. (coord) *Enseñar Ciencias*. España: GRAÓ. pp. 175-202.
- de Pro, C. y de Pro, A. (2011).¿Qué estamos enseñando con los libros de texto? La electricidad y la electrónica de tecnología en 3º ESO. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 8 (2), pp.149-170.
- Diffabio, H. (2005) Competencias para la comprensión de textos y el pensamiento crítico en nivel medio y universitario. Tesis (Doctorado en Ciencias de la Educación) Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
- Gellon, G., Rosenvasser Free, E., Furman, M. y Golombek, D. (2005) *La ciencia en el aula. Lo que nos dice la ciencia sobre cómo enseñarla*. Buenos Aires: Paidós.
- Graffigna, M., Luna, A., Ortiz, A., Pelayes, A., Rodríguez Manzanares, M. y Varela, C. (2008) Lectura y comprensión de textos en el nivel superior: un desafío compartido entre alumnos y docentes. *Revista Iberoamericana de Educación*. 46(2) 4. pp. 1-15.
- Kofman, H. y Concari, S. (2006) Aspectos polémicos de la estructura conceptual del tema circuitos eléctricos. Un análisis comparativo en textos de enseñanza universitaria, VIII Simposio de Investigación en Educación en Física, Gualaguaychú. Universidad Nacional de Entre Ríos, pp. 209-217.
- Kofman, H. y Concari, S. (2000) Dificultades conceptuales con la ley de Ampère. Análisis bibliográfico y simulación como propuesta. V Simposio de Investigación en Educación en Física. Santa Fe. APFA, Universidad Nacional del Litoral, Vol. 1, pp.82 – 90.
- Macías, A.; Castro, J.; Maturano, C. (1999) Estudio de algunas variables que afectan la comprensión de textos de Física. *Enseñanza de las Ciencias*. 17 (3), pp.431-440.
- Marinelli, M. y Lombardo, G. (2013) Utilización de GeoGebra para el análisis de circuitos de corriente alterna. Congreso Latinoamericano de GeoGebra. Chaco. UNCAUS. pp. 1-5.
- MCyE (2007). Comisión Nacional para el Mejoramiento de la Enseñanza de las Ciencias Naturales y la Matemática. *Informe Final*. (Agosto, 2007).
- Montero Moreno, A. (2007) El concepto de fuerza electromotriz en la interpretación de circuitos de corriente estacionaria. Análisis crítico de su enseñanza y propuesta didáctica alternativa. Tesis (Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales) Universidad de Granada, España.
- Moya Pardo, C. (2008) Aproximación al concepto y tratamiento de texto escolar. Cuadernos de Lingüística Hispánica. 11, pp. 133-152.
- Pandiella, S., Pandiella, P., Sowter, C., Medina, E., Leonetti, A., Quiroga Tello, R., Alday, M. y Gutierrez, L. (2007) Los libros de texto de Ciencias y la calidad de la educación. *Memorias de las I Jornadas Nacionales de Investigación Educativa, II Jornadas Regionales y VI Jornadas Institucionales*. Facultad de Educación Elemental y Especial. Universidad Nacional de Cuyo. pp. 1-8.

Pazmiño, E. y Chicaiza, A. (2011). Estudio de las oscilaciones electromagnéticas en los circuitos RLC y análisis teórico del circuito de Van Der Pol. Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas. UTC. Latacunga.

Perales, J. y Jiménez, F. (2002) Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*. 20 (3), pp. 369-386.

Pocoví, M. y Ovejero, A. (2009) Aprendizaje de la noción de aceleración angular a partir de textos. XVI Reunión Nacional de Educación en Física. San Juan, Argentina. Universidad Nacional de Cuyo.

Pocoví, C. y Hoyos, E. (2008) Traducción del sistema simbólico al lingüístico en la presentación de la corriente de desplazamiento en libros de texto de nivel universitario básico. IX Noveno Simposio de Investigación en Educación en Física. Rosario. Universidad Nacional de Rosario.

Reyes Rodríguez, F. (2009) Aspectos didácticos de la planificación metodológica referida a la corriente alterna en un circuito eléctrico. *Revista Digital Ciencia y Didáctica*. Nº 21. pp. 44-54.

Sardá, A.; Márquez, C. y Sanmartí, N. (2006) Cómo promover distintos niveles de lectura de los textos de ciencias. *REEC: Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, Vol 5, Nº 2, 290-303. Disponible en: <http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen5/ART5_Vol5_N2.pdf> Acceso 20 sep.2007