

Necesidad de insumos en las prácticas de laboratorio relacionadas con el estudio del principio de inducción electromagnética entre dos bobinas con núcleo de hierroⁱ

Need for supplies in the laboratory practices related to the study of the principle of electromagnetic induction between two iron core coils

Diego Hernán Romero Moreno¹ <https://orcid.org/0000-0002-9178-8993>

Luis Carlos Ruiz Rojas² <https://orcid.org/0000-0001-5079-9082>

Michael Nicolás Ruiz Cruz³ <https://orcid.org/0000-0003-2680-9548>

Nubia Cristina Naizaque Aponte^{4*} <https://orcid.org/0000-0001-7896-7746>

Fecha de recepción: 1 de mayo de 2021

Fecha de aprobación: 6 de abril de 2022

Resumen

En este artículo se presenta el estudio del principio de inducción electromagnética de Faraday, a través del análisis del campo magnético generado entre dos bobinas senoidales junto con un núcleo de hierro. La metodología aplicada es descriptiva con un enfoque mixto. Como resultados se señalan los requerimientos del diseño experimental, las posibilidades de implementación y su importancia en la enseñanza de la física eléctrica en la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central. El estudio realizado generó una ruta para trabajar en la clase de física eléctrica el fenómeno de inducción electromagnética, revisando la relación voltaje-corriente; y se expone un ejemplo de implementación de mínimos cuadrados para el análisis de experimentos en física.

Palabras clave: *Inducción electromagnética, enseñanza, transformador eléctrico.*

Abstract

This article presents the study of the Faraday electromagnetic induction principle through the analysis of the magnetic field generated between two sinusoidal coils together with an iron core. The applied methodology is descriptive with a mixed approach. As a result, the requirements of the experimental design, the possibilities of implementation in the Technological School Central Technical Institute and its importance in the teaching of electrical physics are presented. The study carried out generated a route to work in the electrical physics class on the phenomenon of electromagnetic induction, reviewing the voltage-current relationship and exposes an example of the implementation of least squares for the analysis of experiments in physics.

Keywords: *Electromagnetic induction, teaching, electric transformer.*

Citar como:

Romero, D. H., Ruiz, L. C., Ruiz, M. N, y Naizaque, N. C. (2022). Necesidad de Insumos en las Prácticas de Laboratorio Relacionadas al Estudio del Principio de Inducción Electromagnética entre Dos Bobinas con Núcleo de Hierro. Letras ConCiencia TecnoLógica. (19), 27-34. <https://doi.org/10.55411/26652544.230>

¹ Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, dhromerom@itc.edu.co

² Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, lcruizr@itc.edu.co

³ Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, mnruizc@itc.edu.co

⁴ Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales, Licenciada en física.

* Autor para correspondencia: Ciencias Básicas, Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, Bogotá, Colombia, nnaizaque@itc.edu.co

1. Introducción

El experimento, como herramienta didáctica en la enseñanza de la física, le permite al docente motivar a sus estudiantes, incluir actividades que favorecen la construcción de modelos mentales estructurados, así como un aprendizaje significativo cuando la práctica experimental se propone bajo ciertos criterios de instrucción. Sin embargo, lo anterior no es posible si no se cuenta con el material mínimo de laboratorio, ya que, en general, este es costoso.

Los integrantes del semillero Diseño de Experimentos en Electromagnetismo (DIEXP), de la ETITC (Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central), estudiaron diseños experimentales para abordar de manera didáctica el aprendizaje de la asignatura de física eléctrica, dado que el laboratorio de física no está dotado con material suficiente. Uno de los objetivos del semillero fue revisar y ajustar montajes experimentales que le permitan al docente de física orientar a los estudiantes de la ETITC en el aprendizaje de conceptos y fenómenos representativos, en especial, en esta asignatura que tiene un nivel de abstracción alto y, por lo tanto, es conveniente que sean analizados en clase. Por lo anterior, se estableció como ruta de trabajo proponer montajes experimentales; construir y evaluar prototipos; además realizar experimentos.

Según Sousa (1995 como citan Rodríguez y Cortez, 2009), el experimento es parte fundamental en el aprendizaje de las ciencias. Es así como estudios realizados han comprobado que la retención del conocimiento adquirido después de 24 horas en un estudiante es de 5% para clases magistrales, 50% para discusión en grupo, 75% para experiencias prácticas y 90% por enseñar a otros.

Considerando lo anterior, el presente proyecto plantea la pregunta: ¿Qué prácticas de laboratorio se pueden realizar para la enseñanza de los fenómenos electromagnéticos y cuáles son las con-

sideraciones pedagógicas y técnicas para tener en cuenta para que los estudiantes aprendan?

El presente artículo pretende identificar en qué medida influyen las condiciones de laboratorio en la práctica y el entendimiento de fenómenos electromagnéticos, ya que como lo demuestran Angulo & García (1999), el aprendizaje procedimental fomenta la formación crítica en los estudiantes, donde estos se ven enfrentados a comprender los fenómenos del aula mediante ideas espontáneas, lo que les permite establecer relaciones entre la experiencia diaria y su formación formal.

Adicionalmente, esta investigación pretende exponer los conceptos base a tratar en la práctica de laboratorio, siendo el principal el de inducción electromagnética, expuesto en la Ley de Faraday por Michel Fray en 1831. Este se fundamenta en la variación de flujo de campo magnético en un intervalo de tiempo, esto genera un voltaje inducido y, por lo tanto, una corriente inducida. En general, se presenta por medio de la Ecuación 1, donde N es el número de espiras del elemento conductor por el que circulará la corriente inducida, y ϕ el flujo de campo magnético.

$$\epsilon = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

Para entender la Ley de Inducción desde lo conceptual, es necesario comprender el flujo de campo magnético; en la Ecuación 2, se puede analizar que ϕ depende del campo magnético, del área y del ángulo que se forme entre el vector normal a la superficie y el campo magnético.

$$\phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (2)$$

El signo menos, en la Ecuación 1, se conoce como Ley de Lenz, esta dice: “El sentido del voltaje inducido es tal, que el campo magnético creado tiende a oponerse a la variación de que le ha originado”.

Para la enseñanza de la ley, es importante resaltar que el cambio del flujo (ϕ) se puede obtener al modificar el campo magnético, o el tamaño de la

superficie atravesada por las líneas de campo o la orientación del inductor en el campo.

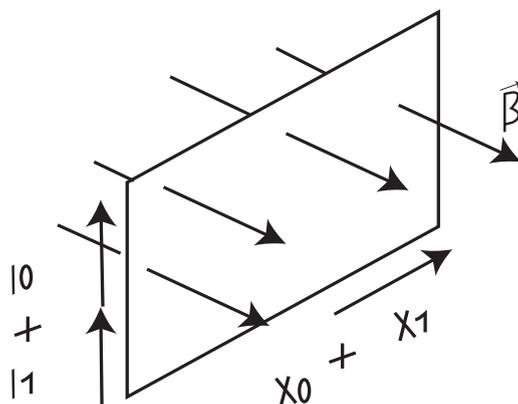


Figura 1: Variación de flujo por ajuste del área

Los transformadores y los generadores eléctricos son dos aplicaciones de la Ley de Inducción, su utilidad en la vida cotidiana hace muy interesante que se aborden estas aplicaciones en la asignatura de física eléctrica. El funcionamiento del transformador eléctrico se puede presentar desde un montaje básico, como en la Figura 2, dos bobinas eléctricamente aisladas con diferente número de vueltas. La bobina primaria (es conectada a una fuente de alimentación de corriente alterna, a partir de esto, se genera una variación de flujo de campo magnético que induce un voltaje en la

bobina secundaria del montaje (. Cuando se hace esta conexión, se llama acople magnético debido a la inducción electromagnética del bobinado primario en el secundario. Un transformador eléctrico incluye un núcleo ferromagnético, el cual permite concentrar el campo magnético, en palabras de Guru y Hiziroglu (2003), “cumple la función de incrementar el enlace de las bobinas debido a su nivel de absorción, si su permeabilidad es alta asegura que la mayoría del flujo que se crea sea enlazada en la otra bobina y la reluctancia sea baja, elevando la eficiencia” (pp. 204-208).

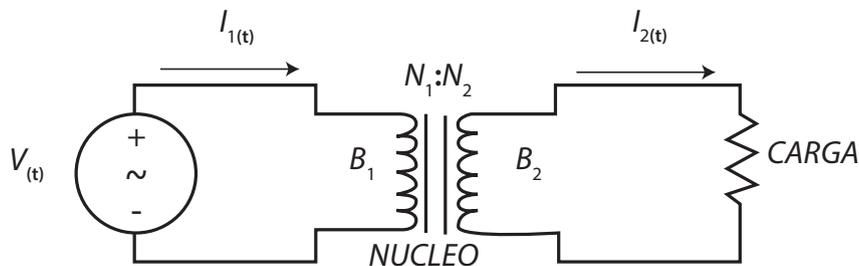


Figura 2. Transformador ideal con carga

Se establece el planteamiento de que un transformador ideal, donde los bobinados no generen una resistencia natural y de la misma forma, un flujo de dispersión igual a cero, se puede decir que el flujo magnético es el mismo, en el bobinado primario y en el bobinado secundario.

$$\frac{V_{(t)1}}{N_1} = \frac{V_{(t)2}}{N_2} \quad (6)$$

Con la Ecuación 6, se puede establecer la relación entre el número de vueltas de los bobinados y el voltaje de salida. De la misma forma, la potencia en el bobinado primario es igual al bobinado secundario, obteniendo la relación:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (7)$$

Es así como se establece una relación inversa entre el número de vueltas y la transformación de las corrientes primaria y secundaria.

En un transformador real, parte de la energía potencial eléctrica se convierte en otros tipos de energía (por ejemplo, térmica), o energía potencial eléctrica no útil. Lo anterior, se puede evidenciar ya que la potencia de entrada no es igual a la potencia de salida. Los devanados, tienen cierta resistencia, lo que produce calor por el efecto Joule. También hay transformación de energía por histéresis en el núcleo, ya que es un material ferromagnético, la relación entre magnetización y el campo magnético externo es diferente cuando el campo externo aumenta que cuando disminuye. La magnetización y desmagnetización de un material que tiene histéresis implica la disipación de energía. Las pérdidas por histéresis se minimizan utilizando hierro dulce con una espira de histéresis estrecha.

Otro tipo de transformación de energía importante se da en el núcleo del transformador por la generación de corrientes de Foucault. Para mejorar la eficiencia del transformador es recomendable

utilizar un núcleo laminar; de igual forma, la histéresis se puede reducir utilizando un núcleo que contenga propiedades bajas a la producción de ciclos de histéresis.

2. Metodología

La metodología aplicada para este proceso de investigación fue descriptiva con un enfoque mixto; se identificaron las características principales del fenómeno de inducción electromagnética para el caso de un transformador eléctrico, analizando los elementos primordiales para la enseñanza del fenómeno desde un enfoque experimental, por lo tanto, se pueden considerar como etapas: el diseño del montaje, la precisión del montaje, la viabilidad del montaje y las ventajas de implementación del experimento.

En cuanto al método utilizado, se tomó como base la propuesta experimental de Villalba et al., (2015), en la que se estudió el fenómeno de inducción electromagnética, analizando el transformador reductor, con el propósito de evidenciar la dependencia lineal entre el voltaje inducido en el secundario y la corriente que hay en el bobinado primario. Para este caso, se planteó el estudio de dependencia lineal, pero solo para el caso de un transformador elevador, como se puede observar en la Figura 2. En el montaje (Figura 3), se implementaron dos situaciones: en la primera, se usó una relación $N_1=300: N_2=1200$; y en la segunda, la relación es de $N_1=250: N_2=500$.

Es decir, en ambos casos se incrementó el voltaje en el embobinado secundario. Inicialmente, se hizo una prueba en el laboratorio de física de la ETITC con fuente de corriente alterna, sin embargo, el rango de variación de voltaje de esta fuente es de 5V por paso. Por lo anterior, se repitió el experimento en el laboratorio de electricidad de la ETITC utilizando un núcleo de hierro macizo y el banco de baja tensión DL 1013M3. En este banco, se pueden realizar experiencias con voltaje alterno o voltaje continuo, los valores de las tensio-

nes se regulan según se requiera. Para realizar el montaje, se utilizó la salida de voltaje alterno va-

riable de 0 V - 440 V, con corriente máxima de 8 A. El experimento se realizó sin carga alguna.

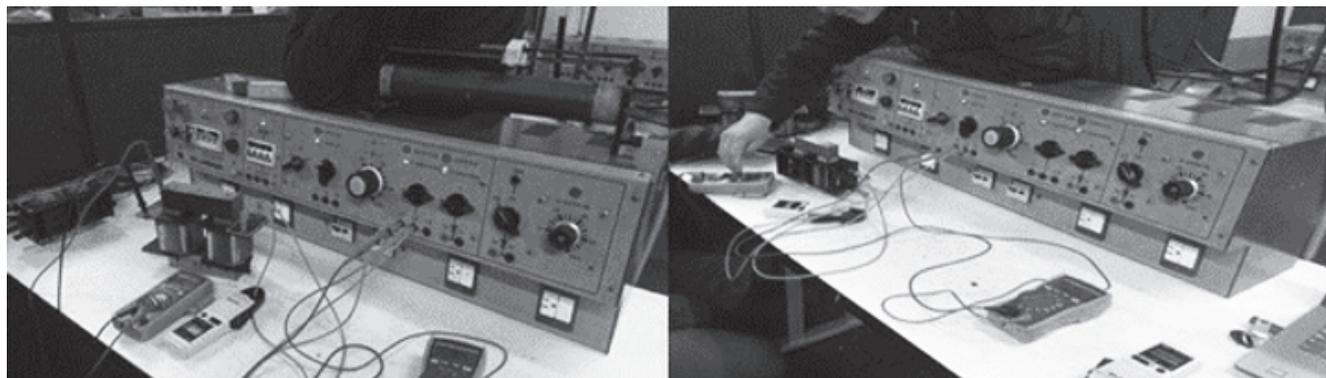


Figura 3. Montaje experimental: Medición de voltaje y corriente, la relación de número de espiras es para montaje 1 (izquierda) 300:1200 y para el montaje 2 (derecha) 250:500

3. Resultados

Se puede evidenciar en la Figura 4, el comportamiento lineal descrito en la Ecuación 6, el valor del coeficiente de correlación (R) indica que la ecuación, describe la relación lineal entre el voltaje y la corriente en la bobina secundaria con un

error del 1%. Al normalizar los datos y hallar el error relativo porcentual, entre los valores experimentales y los valores esperados para el voltaje en la bobina secundaria, se obtuvo un error relativo en promedio de 1,1%.

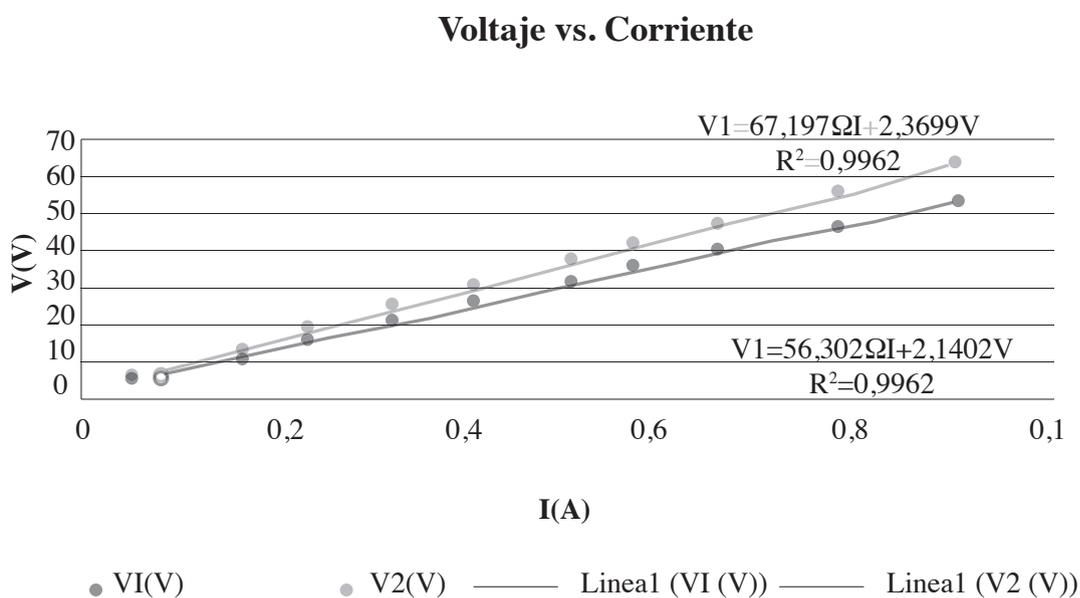


Figura 4. El ajuste de la recta por mínimos cuadrados y coeficiente de correlación. V1 valores experimentales y V2 valores teóricos

Es importante mencionar que después de estudiar los tres montajes descritos en la metodología se observaron diferencias al incluir o no el núcleo de hierro, además, los valores de voltaje en la bobina secundaria son significativamente menores si se comparan con los obtenidos al incluir el núcleo. Este resultado es interesante porque permite que el estudiante practicante observa la importancia del material y las características del núcleo en forma cualitativa. Adicionalmente, aunque no se midieron corrientes de Foucault en la propuesta experimental, sí se evidenciaron sus efectos cualitativos en los montajes por la vibración del núcleo, por lo que es posible comparar las diferencias al mover el bloque en la parte superior del núcleo.

4. *Discusión*

También al desarrollar la experiencia, se encontró que la fuente de corriente alterna del laboratorio de física no aumenta el voltaje para al menos 10 valores de voltaje, es decir, al girar la perilla aumenta el voltaje de 5 a 10 v y de 10 a 15 v; para realizar el ajuste por mínimos cuadrados, es necesario tener un rango mayor. Es importante tener en cuenta que el experimento se realizó en un laboratorio de baja tensión; sin embargo, esto dificulta que la práctica se realice en el curso de física eléctrica, ya que dicho laboratorio tiene restricciones de ingreso, por ejemplo, la indumentaria de los estudiantes (botas y overol) y conocimiento sobre riesgo eléctrico.

Esto sugiere que se realice esta práctica al menos con estudiantes de carreras como electromecánica y mecatrónica, por la disponibilidad de la indumentaria y el currículo de los programas mencionados.

Es común encontrar prácticas de laboratorio para mostrar la inducción electromagnética en términos del generador eléctrico, pero una propuesta que incluya el transformador eléctrico favorecerá el aprendizaje de dicha ley porque incluye la va-

riación de flujo de campo eléctrico cuando esta se debe a la variación del campo magnético.

En este sentido, el montaje experimental introduce conceptos como corrientes Foucault, como se puede ver en la Figura 3, el núcleo de hierro tiene una parte móvil (parte superior), al mover o retirar dicha parte los estudiantes pueden percibir cómo aumentan las vibraciones al cambiar de posición el bloque superior. El docente, que quiera trabajar en este aspecto, podrá medir variaciones del voltaje en el bobinado secundario definiendo otras posiciones del bloque superior, con los mismos materiales o cambiar la forma del núcleo de macizo a laminado.

Sin embargo, se recomienda aumentar el nivel de precisión de los instrumentos de medición para lograr evidenciar las diferencias cuantitativamente, ya que como se mencionó en los resultados, el porcentaje de error es bajo, lo que indica que para encontrar discrepancias en este aspecto se hacen mediciones más precisas. Por otro lado, el montaje, también permite describir las propiedades de los materiales ferromagnéticos.

Así mismo, el docente debe indicar y revisar la relación entre el número de espiras de la bobina primaria y la bobina secundaria, de forma previa, ya que el sistema funciona como un transformador elevador, y se debe tener precaución con los valores de voltaje en la bobina secundaria para los instrumentos de la ETITC, ya que infraestructura no puede sobrepasar los 600 voltios, rango de medición máximo del multímetro.

De igual forma, se deben revisar los valores máximos de corriente; en el experimento, el rango de la corriente se controló para no obtener valores superiores a los 3 A ya que la bobina de entrada soportaba hasta 3.5 A, esto se puede calcular con el calibre del cable.

Finalmente, una propuesta alterna que permita evidenciar el experimento descrito en este traba-

jo, sin las dificultades técnicas de ingreso al laboratorio, sería un video donde se presenten y se detallen los elementos teóricos mencionados, así como mostrar a los estudiantes el paso a paso, es decir, presentar la práctica como experimento demostrativo, en la que se suministren los datos para que los estudiantes del curso puedan analizarlos. Aunque, en esta propuesta se pierde la oportunidad de medición y de percepción directa, se puede lograr la revisión y análisis del tema.

5. Conclusiones

El caso de inducción electromagnética por variación de campo magnético se puede abordar a través de una práctica experimental que revise el funcionamiento del transformador eléctrico. Se encontró que incluir esta aplicación en la enseñanza de la Ley de Faraday ofrece diferentes ventajas como:

- Analizar aplicaciones de los tipos de materiales magnéticos y sus usos.
- La importancia de los transformadores en los sistemas de distribución de energía potencial eléctrica.
- El análisis de una situación experimental que involucre una relación lineal, el principio de conservación de la energía y diferentes formas de conseguir eficiencia en una máquina eléctrica.

Lo anterior, a través de una orientación del docente, facilita crear un ambiente de enseñanza-aprendizaje que promueva la interdisciplinariedad y la aplicación de los conceptos a contextos reales, lo que redundará en un aprendizaje significativo del estudiante.

Por otra parte, se puede hacer el montaje experimental en un laboratorio de física eléctrica para mostrar el fenómeno de inducción y el funcionamiento del transformador con restricciones, ya que no hay material suficiente en el laboratorio

de física, que permita organizar grupos de trabajo. Por lo tanto, la práctica, es demostrativa.

Es posible realizar la práctica en términos cuantitativos solo si se cuenta con una fuente que permita al menos 10 valores diferentes de voltajes. Para favorecer el análisis de los estudiantes del fenómeno de inducción electromagnética y, en particular, del funcionamiento del transformador eléctrico, se deben adquirir fuentes regulables o desarrollar la práctica en el laboratorio de electricidad, con el fin de llevar a cabo mediciones de la relación entre el voltaje y la corriente para medir voltaje y la corriente en las bobinas primarias y secundarias.

La propuesta de incluir el transformador eléctrico, como un ejemplo de la Ley de Inducción de Faraday en la clase de física eléctrica, está orientada a mostrarle a los estudiantes un modelo de variación de flujo de campo magnético cuando no hay movimiento relativo de los componentes del sistema, además, de indicarles la importancia de la corriente alterna, y cómo esta genera un campo magnético variable que puede inducir corrientes en conductores cercanos.

En el experimento propuesto (el transformador eléctrico), no se pretende medir corrientes Foucault, aunque sería interesante darle continuidad al trabajo, comparando cómo cambia el voltaje inducido en la bobina secundaria, usando un núcleo laminar (son láminas unidas entre sí y aisladas eléctricamente, las cuales ayudan a reducir la aparición de estas corrientes) y un núcleo macizo que, por su grosor, tienen una resistencia menor a la inducción de corriente, por ello se genera un campo magnético que se opone al anterior (al campo que induce la corriente en el núcleo).

6. Referencias

- Guru, B. S., Hizirolu, H. R. & Brito, J. E. (2003). *Máquinas eléctricas y transformadores*. Oxford University Press.

Rodríguez-Sandoval, E. & Cortés-Rodríguez, M. (2010). Evaluación de la estrategia pedagógica “aprendizaje basado en proyectos”: percepción de los estudiantes. *Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)*, 15, 143-158. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-12942010000100002

Sears, F., Zemansky, M. & Freedman, R. (2011) *Física universitaria*. 11 ed. México: Pearson Educación. Disponible en <https://www.untumbes.edu.pe/vcs/biblioteca/document/varioslibros/0437.%20Sears%20y%20Zemansky.%20F%C3%ADsica%20universitaria.%20Vol.%20I.pdf>

sky.%20F%C3%ADsica%20universitaria.%20Vol.%20I.pdf

Villalba, J. M., Ferreira, L., Arribas, E., Nájera, A. & Beléndez, A. (2015). Estudio experimental de la inducción electromagnética entre dos bobinas: Dependencia con la corriente eléctrica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 37, 1313-2 1313-7. Disponible en <https://www.scielo.br/j/rbef/a/4rTkGcTXMgdfNM8r8bjd-6br/?lang=es>

Notas:

ⁱ Artículo de investigación

