

Desarrollo de Competencias Ingenieriles mediante el uso de un Laboratorio Remoto: Un Estudio de Caso en Inducción Electromagnética

Development of Engineering Skills through the Use of a Remote Laboratory: A Case Study in Electromagnetic Induction

Yanina Jara^{1*}, Bettina Bravo^{1,2}, Yésica Inorreta¹ y Raúl Romero¹

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Av. Del Valle 5737, CP 7400, Olavarría, Buenos Aires, Argentina.

²CONICET - Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Av. Del Valle 5737, CP 7400, Olavarría, Buenos Aires, Argentina.

*E-mail: jaracyanina@gmail.com

Resumen

En el contexto de carreras de ingeniería se enfatiza la importancia de desarrollar competencias ingenieriles, siendo clave la habilidad para identificar, formular y resolver problemas de múltiples variables. Estos desafíos requieren la aplicación de principios científicos, matemáticos y técnicos para encontrar soluciones efectivas y eficientes, centradas en necesidades del mundo real. En este trabajo se muestra como un laboratorio remoto se puede integrar en la enseñanza de la Física y se indaga su potencialidad para favorecer el aprendizaje de conceptos de inducción electromagnética en estudiantes de ingeniería y desarrollo de habilidades de resolución de problemas. Se trata de un estudio de caso, con enfoque cualitativo y de análisis de contenido. Los resultados dan cuenta de que el uso del Laboratorio Remoto permitiría aplicar conceptos teóricos de la Inducción Electromagnética y fomentar el desarrollo de habilidades inherentes a la resolución de problemas.

Palabras clave: Competencias ingenieriles; Laboratorio Remoto; Inducción Electromagnética; Estudio de caso.

Abstract

In the context of engineering careers, emphasis is placed on the importance of developing engineering skills, with the ability to identify, formulate and solve problems from multiple variables being key. These challenges require the application of scientific, mathematical and technical principles to find effective and efficient solutions, focused on real world needs. In this work, it is shown how a remote laboratory can be integrated into the teaching of physics and its potential to promote the learning of electromagnetic induction concepts in engineering students and develop problem-solving skills. This is a case study, with a qualitative and content analysis approach. The results show that the use of the Remote Laboratory would allow to apply theoretical concepts of Electromagnetic Induction and encourage the development of inherent problem solving skills.

Keywords: Engineering Skills; Remote Laboratory; Electromagnetic Induction; Case Study.

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto de las carreras de ingeniería en países como Argentina, uno de los objetivos formativos más destacados es el desarrollo de competencias genéricas, entre las cuales se encuentra "*identificar, formular y resolver problemas de ingeniería*" (Consejo Federal de Decanos de Ingeniería [CONFEDI], 2014). Estos problemas se caracterizan por ser desafíos complejos que requieren la aplicación de principios científicos, matemáticos y técnicos para desarrollar soluciones efectivas y eficientes. En general, están orientados a resolver necesidades específicas del mundo real e implican actividades de diseño, análisis, optimización y toma de decisiones en entornos de incertidumbre. Promover el desarrollo de las habilidades necesarias para abordar estos problemas desde los primeros años de la carrera constituye un reto crucial en la formación de ingenieros.

Ante esta situación hemos diseñado un problema de ingeniería (PI), factible de resolver por estudiantes del ciclo básico, cuya resolución involucra conceptos y leyes asociadas al fenómeno de la inducción electromagnética (IE) y habilidades como las antes mencionadas. Para recrear un contexto ingenieril realista, se utilizó como recurso central un laboratorio remoto desarrollado especialmente para esta investigación (Romero, Villar y Bravo 2023).

El problema se integró en la asignatura Física II, parte del ciclo básico de las carreras de ingeniería impartidas en la Facultad de Ingeniería de la UNICEN. Cada unidad temática de la asignatura sigue la secuencia didáctica IDAS (Iniciación, Desarrollo, Aplicación y Síntesis), que reconoce a los estudiantes como protagonistas en la construcción de sus conocimientos, los cuales se basan en saberes previos (formales o intuitivos). Este aprendizaje requiere la guía del docente como mediador, la colaboración entre pares y materiales didácticos diseñados específicamente para facilitarlos (Bravo, Montero, Juárez y Solari, 2021). En la fase de Iniciación, se exploran los conocimientos previos de los estudiantes para luego abordar el estudio de la física partiendo de estos saberes. Durante la etapa de Desarrollo, los estudiantes participan activamente en la construcción de conceptos y leyes, con el docente actuando como guía y mediador del aprendizaje¹. La etapa de Aplicación fomenta el desarrollo de habilidades para resolver problemas mediante la transferencia de conceptos a diferentes contextos y situaciones, incluyendo la resolución de problemas cada vez más complejos que requieren la integración de diversos contenidos y la búsqueda de información relevante. Es en esta fase donde se introdujo el PI diseñado. Finalmente, la instancia de Síntesis busca que los estudiantes reflexionen sobre su proceso de aprendizaje, desarrollen una actitud crítica hacia el mismo y reconozcan su rol activo en la construcción del conocimiento, promoviendo un aprendizaje significativo y duradero.

II. MARCO TEÓRICO

Resolver problemas en general e ingenieriles en particular, resulta un proceso complejo en tanto implica hacer uso de conocimientos conceptuales (específicos del tema estudiado), procedimentales (como acotar el problema, formular hipótesis, diseñar y contrastar hipótesis a través de experimentos), procesos cognitivos (analizar, identificar, comparar, clasificar, resumir, representar, relacionar variables, establecer analogías, elaborar conclusiones y evaluar) y procesos metacognitivos (planear, evaluar, retroalimentar, diseñar, controlar, regular) (García y Renteira, 2012).

Por lo tanto, consideramos esencial que los estudiantes, desde los primeros años de su formación académica, enfrenten y aprendan a resolver problemas de ingeniería (PI) definidos según las siguientes características propuestas por Bravo *et al.* (2021):

- involucren situaciones reales (o pseudo reales) relacionadas con el futuro perfil profesional del estudiantado,
- exijan a los estudiantes utilizar los conocimientos construidos en las asignaturas que conforman el bloque de las llamadas "ciencias básicas" de manera consciente, consistente y coherente,
- estén planteados en términos "indefinidos", es decir, que carezcan de toda la información necesaria para llegar a una solución, lo que requerirá que sean los estudiantes quienes planteen objetivos y busquen diversas formas de resolverlos, busquen y obtengan información de diversas fuentes, investiguen, propongan soluciones y trabajen de manera colaborativa,
- integren las nuevas tecnologías de la información y la comunicación como mediadora de la resolución de problemas y desarrollo de nuevas capacidades cognitivas como así también la ampliación, exteriorización y modificación de numerosas funciones como la memoria, imaginación, percepción y razonamientos (Pozo, 2016).

Respecto de este último punto diversas investigaciones respaldan el hecho de que las Tecnología de la información y la comunicación (TIC) pueden convertirse en recursos didácticos poderosos cuando se integran de manera

¹ En este caso, y a partir del uso de laboratorios virtuales, los estudiantes bajo la guía de los docentes, recolectaron y modelaron datos experimentales para abordar la ley de Faraday.

fundamentada y cuidadosa en las prácticas de enseñanza (Boucíguez, Bravo e Inorreta, 2021; López-Quintero, Pontes-Pedrajas y Varo-Martínez, 2019; Velasco y Buteler, 2017), favoreciendo no sólo la comprensión de conceptos, leyes, teorías, modelos ligados al desarrollo de habilidades relacionadas con el quehacer experimental, la resolución de problemas, el trabajo en equipo, la autorregulación de los aprendizajes, entre otras (López-Quintero *et al.*, 2019; Conejo-Villalobos, Arguedas-Matarrita y Concari, 2019; Gómez-Carmona, Casado-Mansilla, López-de-Ipiña y García-Zubia, 2023). A su vez, entornos de experimentación como los integrados en este trabajo, permite y demanda la manipulación de equipamiento físico, y el registro y análisis de variables de forma remota y mediados por la tecnología lo que imponen formas innovadoras de acceder y procesar la información ampliando así las competencias cognitivas relacionadas con la resolución de problemas (Monereo y Pozo, 2007).

III. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es indagar cómo los estudiantes del ciclo básico de ingeniería abordan la resolución de un problema ingenieril relacionado con la inducción electromagnética utilizando un laboratorio remoto para simular la situación ingenieril. Esto incluirá analizar las habilidades de los estudiantes para identificar variables relevantes, interpretar datos experimentales, y aplicar conceptos físicos en la formulación de hipótesis y conclusiones sobre el funcionamiento de sistemas técnicos complejos.

IV. METODOLOGÍA

Se implementa un estudio de caso de enfoque cualitativo con alcance exploratorio y análisis de contenido, con el fin de lograr una comprensión profunda del desarrollo de habilidades necesarias para abordar problemas ingenieriles y la efectividad del laboratorio remoto en el aprendizaje de la física.

A. Participantes

Se trabajó con un grupo completo de estudiantes de Física II de carreras de Ingeniería que se dictan en la Facultad de Ingeniería de Olavarría. La tarea propuesta (que se detalla en el siguiente apartado) fue implementada una vez analizado el fenómeno de IE y abordado los conceptos y leyes asociados (como el concepto de flujo magnético y la Ley de Faraday).

B. Instrumento

Para recolectar datos que permitan alcanzar el objetivo planteado se diseñó un PI, cuyo enunciado se presenta en la Tabla I, y se registró en audio las discusiones que llevaron adelante un grupo de estudiantes mientras resolvían el problema.

TABLA I. Enunciado del problema ingenieril.

(Imaginen que) forman parte del equipo de mantenimiento de un horno cementero y son los encargados de controlar el estado de los soportes de acero (denominados llantas o coronas) donde el mismo se asienta. Alguno de los soportes (que llamaremos de tipo A) deben ser perfectamente circulares y su superficie debe ser lisa, sin roturas ni sobresalientes. Otros, que facilitan el arranque del giro del horno, deben tener "dientes" simétricos en forma, dimensiones y distribución a lo largo del disco (que llamaremos de tipo B). En todos los casos los soportes deben girar según un eje que pase por su centro (deben estar centrados). Ustedes trabajan en un centro de control evaluando, de forma remota, el estado de los soportes. Para ello hacen uso de un equipamiento automatizado que consta de un sensor por inducción electromagnética colocado en la cercanía de los soportes, que en el Laboratorio de Física los soportes estarán simulados por discos, y una cámara de video que permite observar ("en vivo") los elementos giratorios y el movimiento que realizan. Cuando los soportes giran inducen un voltaje que es registrado por el equipo



Tarea 1: Reconocimiento del equipo y del soporte tipo A

Se sabe que el soporte a analizar ha pasado por los controles correspondientes y se ha informado que está en óptimas condiciones. ¿Cómo nos aseguramos de esto? Para responder esta pregunta:

- Observen el equipo montado y describan las características del soporte A (forma, material, características de la superficie, centro de giro...)
- Piensen en el valor de fem que debería indicar el sensor (que funciona por inducción electromagnética).

Pueden acceder al documento que aparece en el anexo I si necesitan ayuda para ello.

Tarea 2: Control remoto

- Hagan girar la rueda (el equipo da dos vueltas en modo automático), durante 100s a una velocidad de 1.8 rpm. (Primero se debe dar inicio al tiempo y luego al botón de velocidad).
- Relacionen los valores obtenidos de voltaje con las características mecánicas del soporte. Es importante, que, en principio, se corrobore que el soporte está girando efectivamente a la velocidad indicada por la interfaz. ¿Cómo nos aseguramos de esto?
- En base a lo observado en la interfaz, revean las respuestas que dieron en la tarea anterior y de ser necesario amplíenlas y/o modifiquenlas a fin de determinar claramente cómo podemos asegurar que la rueda A no tiene fallas mecánicas.

Tarea 3: Control de fallas

Deberán evaluar las condiciones de un soporte que se encuentra actualmente en uso para detectar posibles fallas y prevenir futuros inconvenientes.

- Registren los datos aportados por el sensor, al hacer girar el soporte a analizar durante 100 s y a 1.8 rpm.
- ¿Qué características mecánicas puede llegar a tener el soporte a partir de los datos obtenidos? ¿Cómo lo fundamentas en relación con lo trabajado a inducción electromagnética?
- En caso de detectar alguna falla, utilicen el manual de fallas (anexo II) para determinar el tipo. Justifiquen la elección (analizando la forma de la gráfica de la función que modela, el período, la velocidad y cualquier otro parámetro que les resulte útil para justificar la elección).
- Diseñen un operario para que se acerque al “horno” para contrastar los resultados obtenidos de forma remota.

V. RESULTADOS

Al analizar el discurso de los estudiantes al resolver el PI, se puede observar que, mientras hacen lectura previa y analizan los datos iniciales, atienden a las distintas características que tienen los soportes a estudiar. Así por ejemplo uno de los estudiantes expresa: *“Ah... vamos a tener un soporte que tenga muchos dientes”*.

En la etapa de situarse en el problema, sin haber experimentado aún con la interfaz del laboratorio remoto, el grupo empieza a cuestionarse sobre cómo asegurar que el sistema a estudiar gire a la velocidad determinada por el problema. Así proponen: *“Vamos a tener que asegurarnos que gire a 1,8 rpm”, “Tendremos que ver cómo podemos hacer para que tenga esa velocidad”*.

Al leer el material diseñado especialmente por el equipo docente (aportada en el anexo I) interpretan su funcionamiento. A su vez, empiezan a relacionarlo con lo que verían en la interfaz. Así por ejemplo expresan: *“Este*

ímán de acá induce una fem que toma que el soporte tiene una hendidura y que eso lo vamos a ver en la gráfica”, “El gráfico nos va a decir que falla tiene el soporte”.

Sin haber empezado a resolver las tareas aún, hacen un análisis de las distintas posibilidades que pueden llegar a ver en la interfaz y de qué característica tendría ese soporte, en función de lo que observen.

Una vez situados en el equipo, reconocen sin dificultad los elementos constitutivos y empiezan a analizar cada uno de los soportes. Miden el espesor de cada soporte, identifican de qué material están hechos, notan las diferencias entre ellos, analizan y comprenden sin dificultad el funcionamiento del sensor y el sentido de giro de los soportes. Así por ejemplo discuten: *“Pueden moverse para un lado o para el otro”, “La velocidad se la vamos a dar nosotros”, “Entonces esto va a estar girando a 1,8 rpm y el sensor que es dónde se induce va a ir agarrando cada soporte” y “Podemos mover el sensor a cada uno de los soportes y ver”.* Concluyen dónde sucede el fenómeno físico y cómo se envía esa información a la interfaz.

Para tratar de resolver la tarea 1, incorporan conceptos como área, campo magnético y ángulo (refiriéndose a la orientación relativa entre la fuente de campo magnético variable y la espira donde se induce fem) empiezan a analizar qué es lo que varía en el problema: *“Acá pareciera ser que hay una variación de campo” y “y si porque el área no te cambia y el ángulo tampoco”.*

Y empiezan a discutir sobre cuál sería el valor de fem: *“¿Estimamos un valor? no sé... tantos volts”, “Puede ser que tengamos que hacer cálculos” y “es que de otra manera no podemos estimarlo”.*

Se les dificulta encontrar la relación de lo que está pasando con una expresión, hasta que uno de ellos propone: *“sé que la fem se relaciona con la derivada del flujo y la N (cantidad de vueltas)”.* Recurren al dato de la velocidad angular y empiezan a discutir qué expresión se relaciona con la velocidad para poder calcular lo requerido.

Se observa que tienen serias dificultades para encontrar una relación con las variables que intervienen y que no pueden llegar a establecer un valor de fem: *“Que varíe el flujo magnético es consecuencia de una variación de campo”; “El soporte está en óptimas condiciones... No va a tener fallas”; “Si el disco es perfecto y gira a velocidad constante, el sensor no va a detectar una variación de flujo. Entonces si no hay una variación de flujo, la fem va a ser cero”.*

En la tarea 2, ellos se sitúan en la interfaz y analizan todos los componentes que la conforman. Parten de la premisa diciendo de que *“la fem nos tiene que dar cero”.* Pero cuando empiezan a experimentar observan una gráfica como las siguientes (en donde se registra un valor de fem que pueden considerar constante pero no nula, como se observa en la Figura 1.



FIGURA 1. Registro de fem al girar la rueda tipo A.

Esto los obliga a repensar sus ideas y replantearse nuevas respuestas: *“No sé porque tira esos valores de fem... nos está dando un promedio de 3 y pico”; “¿Pero tiene que ser cero, o puede ser constante?”; “Vemos un valor constante que nosotros dijimos que iba a ser cero y le erramos feo porque es como un valor promedio de 4mV”; “Esta oscilación se produce porque por más que la superficie sea constante no es perfectamente lisa”.*

Como conclusión de la tarea 2, y bajo la guía del docente, reconocen que lo que analizan es un sistema real, que registra un valor no nulo de fem dado a *“perturbaciones eléctricas y mecánicas”* del entorno donde se encuentra el sensor. Finalmente concluyen que *“la bobina siempre es la misma, el área es igual. En condiciones perfectas, el disco tendría que ser lo más liso y pulido posible para que no haya variación de flujo. Pero también es un sistema que está midiendo otras cosas”.*

Para la tarea 3, deben predecir qué características mecánicas tiene el soporte a partir del comportamiento de la señal eléctrica que observan en la interfaz, que se muestra en la figura 2, y la información propuesta en el manual de fallas.



FIGURA 2. Registro de fem al girar la rueda a predecir las características.

Si bien les cuesta decidirse entre la falla 3 y la falla 4 optan por la primera, porque: *“Tiene una hendidura dónde lo capta el sensor”*; *“Sabemos que es el soporte que tiene una hendidura por los dos picos que vimos”*; *“Si el disco es perfecto nos tiene que dar un valor constante”*; *“Nosotros estamos suponiendo que es el disco que vimos hoy que tenía una hendidura”* y *“si tuviéramos dos fallas veríamos cuatro picos”*.

Al analizar el informe técnico elaborado por los estudiantes se puede observar que:

- Logran contextualizar el problema, es decir, a qué hace referencia el PI. Distinguen los distintos soportes sobre los cuales se asientan los hornos y qué características presenta cada uno. Reconocen los elementos constitutivos del equipo montado y los elementos que conforman la interfaz (Laboratorio Remoto).
- Tienen en cuenta variables de análisis tal como:
 - Terminación de los soportes (Superficie lisa, rugosa, etc.)
 - Desperfectos superficiales (hendiduras, roturas)
 - Vibraciones asociadas a aspectos mecánicos (Propias del funcionamiento del horno o de la estructura misma)
- Reconocen el fenómeno físico de IE, relacionando la detección de fallas o hendiduras de los soportes, argumentando que, *“mientras que no haya ningún desperfecto en el soporte, el voltaje generado por la bobina se mantendrá constante (No es cero ese valor porque concluyen que es un sistema real), pero que, al acercarse a alguna falla o hendidura, el sensor notará una variación en el flujo y la fem generada será mayor”*.
- Relacionan lo observado de la señal eléctrica con la Figura 3 (Anexo II) correspondiente al manual de fallas. *“Ya que los saltos presentados en las mediciones se corresponden”*.
- Distinguen dos tipos de mediciones: directa (haciendo referencia a la observación del equipo) e indirecta (por medio de las cámaras ubicadas y haciendo uso de la interfaz).
- Concluyen que el estado del equipo es óptimo, y que no presenta deformaciones que signifiquen alteraciones importantes en el funcionamiento del horno cementero.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El análisis de cómo los estudiantes del ciclo básico de ingeniería abordan la resolución de un problema ingenieril relacionado con la inducción electromagnética, utilizando un laboratorio remoto, nos ha permitido obtener valiosas hipótesis y observaciones sobre su proceso de aprendizaje. A continuación, se destacan los puntos principales:

- **Comprensión y contextualización del problema:** Los estudiantes lograron situarse adecuadamente en el contexto del problema ingenieril. Fueron capaces de reconocer los elementos constitutivos del equipo y la interfaz del laboratorio remoto, comprendiendo las características físicas y mecánicas de los soportes a analizar. Este hallazgo sugiere que el uso de laboratorios remotos puede ser efectivo para familiarizar a los estudiantes con situaciones técnicas complejas.
- **Identificación de variables relevantes:** Los estudiantes mostraron una capacidad notable para identificar y discutir las variables relevantes que afectan el fenómeno de la inducción electromagnética, como la superficie y el estado de los soportes, las vibraciones mecánicas, y las perturbaciones en el entorno del sensor. Sin embargo, enfrentaron dificultades al intentar relacionar estas variables con expresiones matemáticas concretas, lo que indica la necesidad de un mayor apoyo en el desarrollo de estas habilidades.
- **Interpretación de datos experimentales:** A lo largo de las tareas, los estudiantes pudieron interpretar los datos experimentales y reconocer la influencia de las imperfecciones reales en el sistema. La discrepancia entre sus expectativas iniciales y los datos observados los llevó a reformular sus hipótesis, un proceso que evidencia su capacidad para adaptarse a la complejidad de sistemas reales.

- Aplicación de conceptos físicos: Aunque los estudiantes identificaron conceptos clave como el flujo magnético y la fuerza electromotriz (fem), encontraron dificultades para aplicar de manera precisa las relaciones matemáticas que rigen estos fenómenos. Esto sugiere que, si bien comprenden los conceptos a nivel cualitativo, es necesario fortalecer su capacidad para utilizarlos en la resolución cuantitativa de problemas.
- Capacidad para formular hipótesis y conclusiones: Finalmente, los estudiantes fueron capaces de formular hipótesis coherentes sobre las características mecánicas de los soportes a partir de la observación de la señal eléctrica en la interfaz. Aunque tuvieron dificultades para decidir entre posibles fallas, lograron llegar a conclusiones razonables que reflejan una buena comprensión del problema.

Los resultados muestran, que los entornos de experimentación remota como medio para simular situaciones reales son una herramienta eficaz que promueven el desarrollo de habilidades en el abordaje de problemas ingenieriles complejos. No obstante, es necesario reforzar ciertos aspectos del aprendizaje, particularmente en la aplicación de conceptos físicos y la formalización matemática de las relaciones entre variables, para lograr un dominio más integral del proceso de resolución de problemas en ingeniería.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación que financia el PICT "Desarrollo Iterativo de propuestas didácticas para la enseñanza y el aprendizaje de la física" en cuyo marco se lleva a cabo la investigación presentada. También a la Facultad de Ingeniería de la UNCPBA y a estudiantes y docentes de la Asignatura Física II en la que se implementó el recurso desarrollado.

REFERENCIAS

Boucíguez, B., Bravo, B. e Inorreta, Y. (2022). "Escapando Gracias a Faraday" un juego serio para la enseñanza de la Física. Memorias 8º Congreso Internacional de Innovación Educativa. Tecnologías para la Educación (pp 818 – 824). Organizado por Tecnológico de Monterrey.

Bravo, B., Montero, M., Juárez, M. y Solari, F. (2021). Desarrollo de la competencia de resolución de problemas ingenieriles en clases de Física. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, 16(2), 1-17.

Conejo-Villalobos, M., Arguedas-Matarrita, C. y Concarri, S. (2019). Difundiendo el uso de laboratorios remotos para la enseñanza de la Física: Talleres con docentes y estudiantes. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31(extra), 205-213.

Consejo Federal de Decanos de Ingeniería [CONFEDI] (2014). *Competencias en Ingeniería. (1ra ed.)*. Mar del Plata: Universidad FASTA Ediciones.

García, J. y Renteira, E. (2012). La medición de la capacidad de resolución de problemas en las ciencias experimentales. *Ciência & Educação*, 18(4), 755-767.

Gómez-Carmona, O., Casado-Mansilla, D., López-de-Ipiña, D. y García-Zubia, J. (2024). Human-in-the-loop machine learning: Reconceptualizing the role of the user in interactive approaches. *Internet of Things*, 25, 101048.

López-Quintero, J. L., Pontes-Pedrajas, A. y Varo-Martínez, M. (2019). Las TIC en la enseñanza científico-técnica hispanoamericana: Una revisión bibliográfica. *Digital Education Review*, 229-243.

Monereo, C. y Pozo, J. I. (2007). Competencias para (con) vivir con el siglo XXI. *Cuadernos de pedagogía*, 370(12), 12-18.

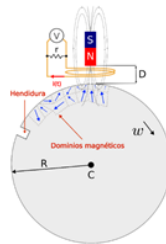
Pozo, J. I. (2016). *Aprender en tiempos revueltos*. España: Grupo Anaya.

Romero, R. E., Villar, S. A. y Bravo, B. (2023). Laboratorio remoto para inducción electromagnética basado en un dispositivo de medición industrial. *Revista de Enseñanza de la Física*, 35, 261-268.

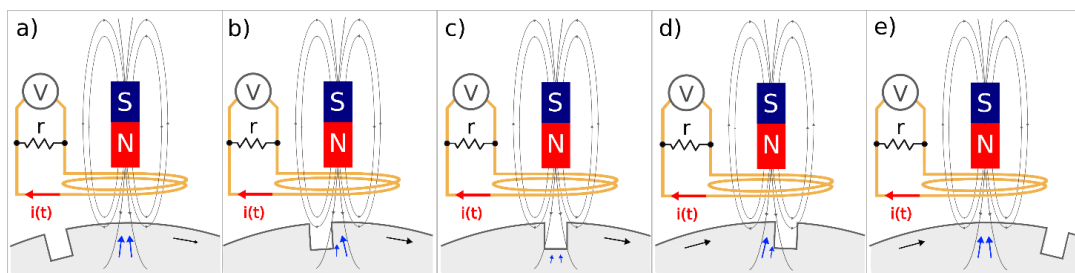
Velasco, J. J. y Buteler, L. M. (2017). Simulaciones computacionales en la enseñanza de la física: una revisión crítica de los últimos años. *Enseñanza de Las Ciencias*, 35(2), 161-178. doi: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2117>

ANEXO I

El equipo se puede modelar a partir de dos dispositivos: un disco de material ferromagnético que rota sobre un eje y un sensor de proximidad magnético. Debido que el material del disco es ferroso (acero A36) y suponiendo que inicialmente no está magnetizado, se asume que la magnetización neta del material tiende a cero en todas las regiones del disco que no estén próximas al sensor, como lo muestran las flechas azules de la siguiente figura.



A medida que el disco gira, y como lo muestran las siguientes figuras, parte de los dominios magnéticos del material del disco, los que se encuentran cerca del imán del sensor, se magnetizarán de forma tal que el campo magnético generado al interactuar con el campo magnético del imán generará un campo magnético neto en el centro de la espira (posición de interés) menor en intensidad que la intensidad del campo magnético del imán.



Siempre que la hendidura se encuentre lejos del sensor el flujo de campo magnético en la espira permanecerá constante. Se realiza aquí una nueva suposición: que los dominios magnéticos en todo el material son iguales y están igualmente distribuidos.

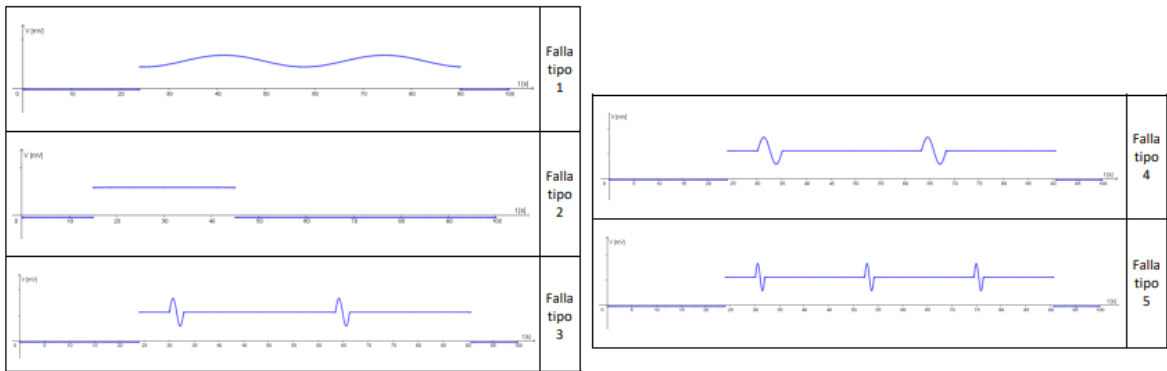
Cuando la hendidura se aproxima al sensor se produce una reducción de material ferromagnético que enfrenta al sensor de forma tal que se produce un aumento de la intensidad de campo magnético neto en el centro de la espira.

Esta variación del campo magnético repercute en una variación del flujo de campo magnético en el centro de la espira. La ley de Faraday indica que una variación de flujo magnético en el área que encierra una espira conductora producirá una tensión inducida que, por ser un circuito eléctrico cerrado (espira- resistencia r), producirá una corriente eléctrica en la espira.

Dado que las características de la señal tensión inducida producida en la espira está relacionada con el fenómeno mecánico (la hendidura) conocer el comportamiento de la tensión inducida en función del tiempo permite indagar aspectos mecánicos que podrían derivar en fallas mecánicas (aquí la hendidura se puede interpretar como una rotura en la superficie del disco).

ANEXO II

Manual de fallas – Soportes tipo A



Nota: la amplitud de la señal en ninguno de los casos debe superar los 50mV