

# ESTUDO DA LEI DE FARADAY-LENZ NUMA PROPOSTA INCLUSIVA A PARTIR DA CONSTRUÇÃO DE UM GALVANÔMETRO SONORO

**Ed-Ek Soares Silva**

**Jacques Cousteau da Silva Bor**

## RESUMO

Neste trabalho é abordado o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para se perceber de forma auditiva os efeitos das Leis de indução de Faraday e de Lenz, visto que a compreensão dessas leis é base para o entendimento da geração, transmissão e utilização da energia elétrica. É proposta a construção de um dispositivo experimental com a possibilidade da interação aluno-experimento, tanto para alunos videntes como para alunos que apresentam algum tipo de deficiência visual. Este experimento consiste do uso de um circuito eletrônico para a “observação” da lei de Faraday e Lenz de forma sonora, no lugar do tradicional amperímetro. O circuito mede variações de corrente

elétrica produzindo oscilações do som emitido. Assim, a partir de variações na frequência sonora percebe-se a co-relação com a variação da intensidade da corrente elétrica induzida, que é o ponto principal no fenômeno que se pretende abordar. Esta montagem do aparato eletrônico utiliza poucos componentes, e de fácil aquisição, o que o torna relativamente simples. Além disso, um ponto crucial é romper duplamente com formas convencionais de ensino, e estimular a utilização de recursos além do tradicional material de aula, propondo inovação da prática de ensino, uma vez respeitada à diversidade dos estudantes.

**Palavras-chave:** Ensino de Física, Deficiência visual, Lei de Faraday-Lenz, circuito oscilador.

## INTRODUÇÃO

### O Ensino de Física

A importância da compreensão de Fenômenos Físicos é observada já na formação de crianças entre 10 e 12 anos, onde a Física desempenha um papel fundamental, pois grande parte dos questionamentos dos alunos sobre o seu dia-a-dia e sobre a tecnologia se explica a partir de fundamentos e conceitos da

Física. Portanto, é necessário que os educadores se utilizem de tais fundamentos. Fato evidenciado pela introdução de conhecimentos relativos à Física nos currículos de ensino de ciências, por meio dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN).

Em relação ao ensino de Física no nível médio, os PCN propõem um currículo baseado no domínio de competências básicas e que tenham vínculo com as diversas situações do cotidiano dos alunos, buscando dar significado ao conhecimento escolar, mediante a contextualização dos conteúdos trabalhados em sala de aula (ROMANO, 2004).

Essas experiências do cotidiano, em relação a fenômenos e tecnologias, fazem com que fora da sala de aula os estudantes elaborem conceitos para explicar sua vivência. Isto gera a necessidade de que a escola funcione como base para o conhecimento de vida dos seus estudantes. Dentre a gama de possibilidades que tais vivências proporcionam aos alunos, a eletricidade é um “bem” social presente em praticamente tudo em sua volta. Assim, geração da energia elétrica, transmissão e utilização de equipamentos são pontos cruciais, onde o conhecimento formal e científico e conhecimento empírico devem convergir. Nesse ponto chave está presente de forma mais evidente o fenômeno de “indução eletromagnética”, que é explicado por meio das leis de Indução de Michael Faraday (1791 - 1867) e Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804 - 1865).

Para a observação do fenômeno de indução existem muitos experimentos que podem ser desenvolvidos em laboratórios de Física com um mínimo de equipamentos. Pois, é possível a um docente demonstrar a lei de Faraday-Lenz apenas

com uma bobina, um ímã e um amperímetro (ou galvanômetro). Ao aproximar ou afastar o ímã da bobina é possível visualizar uma deflexão no ponteiro do galvanômetro, que significa uma corrente elétrica produzida na espira.

Esse experimento é fundamental para compreender o princípio básico de funcionamento de inúmeros equipamentos de geração de energia, que vão desde dínamos de bicicletas aos gigantescos geradores das hidroelétricas. Fundamento também de sistemas como motores elétricos, existentes em eletrodomésticos e indústrias, assim como os transformadores de tensão, atuantes tanto nas grandes subestações de energia como no carregador de celular.

Além deste caráter explicativo e fenomenológico é preciso lembrar que **Física é uma ciência experimental e, quando trazida para a sala de aula, deve-se traçar um paralelo entre a teoria e a experimentação científica. Também vale salientar que é proposta pedagógica dos PCN propiciar condições para o estudante “aplicar as tecnologias associadas às Ciências Naturais na escola, no trabalho e em outros contextos relevantes para sua vida” (MEC, 2008, p 96). E completa Castro: “[...] Assim, como educadores devemos romper com uma diretriz de conteúdo e estanque, trazendo cada vez mais para a sala de aula tópicos modernos, mais próximos da realidade dos alunos [...]” (CASTRO, CORREIA; GONÇALVES, 2003, p.3).**

Então, se pretendemos aproximar a ciência apresentada em sala de aula da realidade dos estudantes, precisamos entender, antes de tudo, que esses estudantes não são iguais.

Possuem origens e realidades distintas, e cada um possui uma barreira própria a ser vencida, seja no campo social, cognitivo ou motor. É bem verdade que a construção do conhecimento com o recurso experimental tende a superar essas diversas barreiras com certa facilidade, pois dá sentido e contornos densos ao conceito explorado (BORGES, 2012)

Contudo, um obstáculo em particular merece especial atenção: a deficiência visual. Retomando então a questão do ensino das leis de indução, é evidente que para um aluno cego ou de baixa visão presente em sala de aula, o experimento tradicional, com galvanômetro visual, torna-se algo extremamente abstrato e vago. Barbosa-lima (2016) destaca, em relação ao uso de experimentos, "*a importância da adequação de atividades experimentais a partir da exploração de linguagens não visuais e de estratégias que envolvam o trabalho colaborativo*". Nesse contexto, foi pensada a necessidade de adaptar o experimento, para proporcionar a compreensão da temática por todos os alunos presentes em sala de aula ou laboratório de Física, sendo eles capazes de enxergar ou não.

## METODOLOGIA

Historicamente, em 1831 se formulou que a força eletromotriz induzida num circuito elétrico é proporcional à variação do fluxo de campo magnético sobre este circuito, observado o ângulo entre as linhas de campo magnético e a direção da corrente elétrica no circuito. Esta é a lei de Faraday-

Lenz, uma das leis fundamentais do eletromagnetismo. Em caso particular, quando uma espira ou bobina é exposta a uma variação de um campo magnético, nesta surge uma corrente elétrica denominada *corrente induzida*.

O experimento tradicional consiste em aproximar e afastar uma fonte de campo magnético (como um ímã) de uma bobina conectada a algum elemento que seja capaz de visualizar a intensidade da corrente induzida gerada, sendo mais com o uso de uma pequena lâmpada ou algum instrumento de medição com ponteiro. Esse procedimento contém diversas informações visuais, que uma pessoa não-vidente, ou até mesmo relativamente afastado do experimento, não pode perceber. Portanto, a questão fundamental foi pensar em *como um experimento com tantas informações visuais pode ser adaptado para alguém que não dispõe desse sentido?*

Foi observado que a maioria das pessoas com deficiência visual tem sua capacidade de concentração auditiva melhorada, pois não existem mais informações visuais a serem processadas. Por isto, ficou definido que era necessário desenvolver um experimento a partir de informações auditivas.

O galvanômetro, ou miliamperímetro é o equipamento que serve para medir corrente elétrica de baixa intensidade. A questão é transformar essa informação visual (o ponteiro do galvanômetro) em uma informação sonora. Em função disso, foi projetado um pequeno circuito eletrônico que pode variar a intensidade e frequência de um som emitido em função da corrente elétrica induzida nas bobinas. Assim, um equipamento sonoro foi escolhido como sendo o mais viável, pois o contato

tátil com o instrumento de medição pode alterar as informações a serem coletadas, dificultando a elaboração de tal instrumento.

O restante do experimento segue conforme o original: bobinas com diferentes números de espiras e ímãs com diferentes intensidades de campo magnético. Pois, foi visto que isto torna mais evidente a influência do campo magnético na intensidade de corrente induzida.

Para a montagem foi projetado um aparelho eletrônico que produz oscilações sonoras, semelhante a um tipo de sirene, que ligada ao experimento tradicional faz perceber que ao se modificar a posição do ímã em relação ao circuito de bobinas uma corrente é induzida e o som emitido pela sirene sofre modificação em sua frequência. Uma vez determinado o aparato necessário foi preciso estabelecer como realizar esta ligação entre o experimento tradicional e como a corrente induzida deveria influenciar a frequência do som emitido.

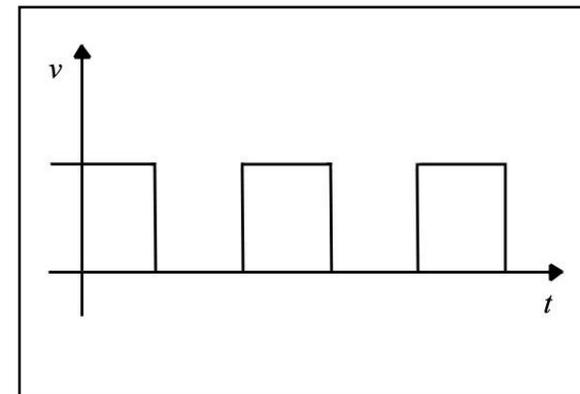
É importante destacar que nesse ponto do estudo do eletromagnetismo, o aluno já deve ter uma compreensão clara das grandezas elétricas tensão, corrente e resistência. Essa questão foi explorada por Morrone (2009), que realiza experimentos sobre eletrodinâmica baseadas no conhecimento sensível, voltados aos estudantes com deficiência visual.

## CONSTRUÇÃO DO GALVANÔMETRO

O equipamento sonoro construído consiste em um circuito oscilador conhecido como *multivibrador*. A definição básica de um multivibrador é a de um circuito digital cuja saída

se alterna entre dois estados lógicos: 1 (um) e 0 (zero) ou, **on** (ligado) e **off** (desligado). A intercalação entre os estados, caracterizada como oscilação, pode ocorrer *espontaneamente*, em caso de instabilidade do estado em que se encontra, ou *forçadamente*, caso o estado possa ser considerado estável. Neste caso, o oscilador ou multivibrador, usado no procedimento experimental apresenta dois estados instáveis. Sendo assim, o circuito utilizado é classificado na eletrônica digital como um *multivibrador astável* (TOCCI, 2007) e em seu sinal de saída é observada uma onda que oscila infinitamente entre os dois estados, conhecida como *onda quadrada* (Figura 1).

Figura 1 - Onda quadrada emitida na saída do oscilador



Para a construção deste oscilador foi usado um circuito integrado timer *LM555*, criado para utilização geral de temporização e bastante empregado na produção de circuitos

de atraso ou de osciladores, podendo ser utilizado em circuitos com períodos que variam entre microssegundos e horas.

## O Circuito Oscilador

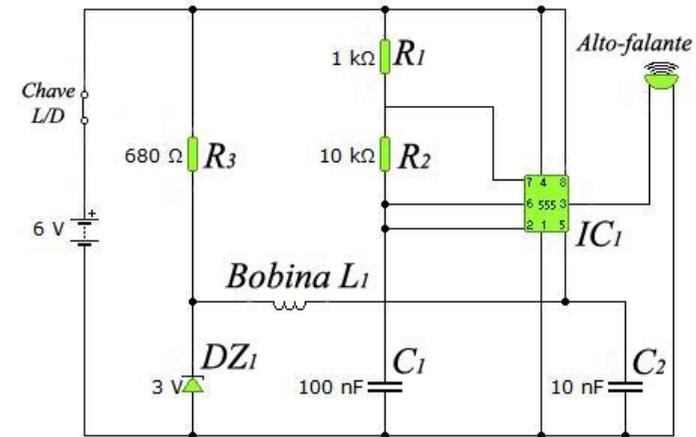
### Materiais utilizados

- Um circuito integrado *LM 555*;
- Um diodo zener de  $3,0\text{ V}$ ;
- Resistores de  $680\ \Omega$ ,  $1\text{ k}\Omega$  e  $10\text{ k}\Omega$ ;
- Capacitores de  $10\text{ nF}$  e  $100\text{ nF}$ ;
- Uma fonte de alimentação de  $6\text{ V}$  ou quatro pilhas comuns;
- Um alto-falante;
- Uma bobina com 500 e outra com 1000 espiras;
- Ímãs de diferentes intensidades;
- Uma protoboard ou circuito impresso universal para pequenas montagens;

### Montagem

O circuito completo é mostrado detalhadamente em seu diagrama esquemático, *Figura 2*. Para montagem do circuito forma tomadas orientações básicas de eletrônica, conectando e/ou soldando os componentes em seus devidos terminais, seja na protoboard ou placa de circuito impresso.

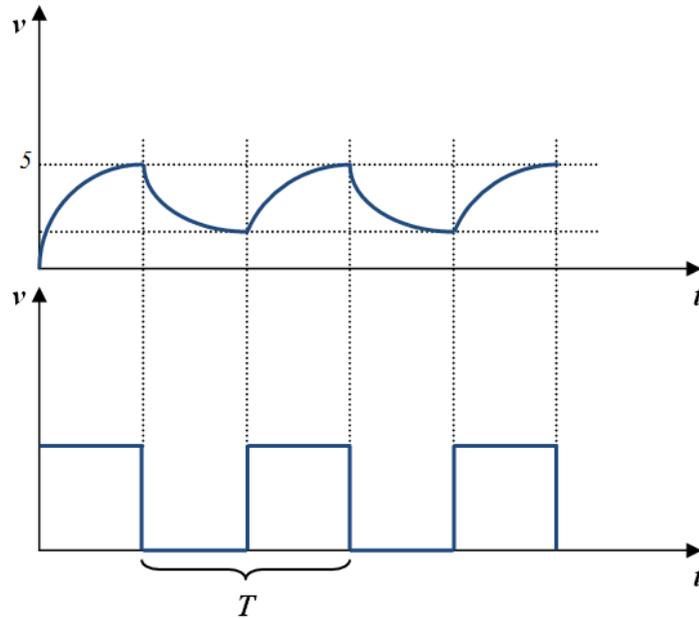
**Figura 2** - Diagrama esquemático do circuito oscilador



### Funcionamento

A frequência do som emitido depende do tempo de carga e descarga do capacitor  $C_1$ . O tempo de carga depende, além dos valores dos resistores  $R_1$  e  $R_2$ , da capacitância do  $C_1$ , que determina por quanto tempo o circuito permanecerá no estado *on*. O tempo de descarga, além da capacitância do  $C_1$ , vai depender apenas do valor do resistor  $R_2$ , determinando assim o tempo de permanência no estado *off*. O circuito integrado *LM555* ( $IC_1$ ) utiliza o pino 7 ligado a um dos terminais do  $R_2$  para esta função. Para melhor entendimento observe a *Figura 3*, onde são representadas respectivamente, em forma de gráfico, a tensão em função do tempo de carga e descarga do capacitor  $C_1$  e a onda quadrada resultante do circuito.

**Figura 3** - Gráfico de carga e descarga do capacitor (superior) e onda quadrada resultante do circuito (inferior).



No funcionamento normal do oscilador o capacitor  $C_1$  carrega até  $2/3$  da tensão de alimentação  $V_{cc}$ . Quando a tensão atinge este ponto o LM555 desliga a saída permanecendo no estado *off* e ativa a função de descarga fazendo a tensão no capacitor cair até chegar a  $1/3$  de  $V_{cc}$ . Neste ponto, o LM555 liga a saída ficando no estado *on*, ao passo que aciona a função de carga elevando a tensão no capacitor  $C_1$  até  $2/3$  de  $V_{cc}$  e iniciando um novo ciclo.

O *pino 5* do LM555 é o controle do limite de carga do capacitor  $C_1$ . Como o sinal de saída depende deste tempo, esse recurso foi utilizado para fazer variar a frequência do som emitido. Para este fim foi feita uma adequação com um diodo zener  $DZ_1$ , fornecendo uma alimentação constante. Em série com o diodo é ligada à bobina  $L_1$ , onde serão testadas as leis em estudo. Ao se "aproximar" ou "afastar" um ímã no centro da bobina é criado um movimento de cargas elétricas pela variação do campo magnético, ou seja, há uma variação de tensão em seus terminais. Conseqüentemente varia também a tensão no *pino 5*, controle de carga do capacitor  $C_1$ . Dessa forma, quando há variação de campo magnético de forma a produzir corrente elétrica em qualquer sentido é provocada uma variação da frequência das oscilações, ou seja, do som. Assim, quanto mais rápido for movido o ímã maior a tensão na bobina e maior será a alteração na frequência do som de referência, para mais ou para menos dependendo do caso em que se aproxima ou se afasta um ímã.

O tempo de carga ( $t_c$ ) do capacitor  $C_1$  é dado pela equação 1:

$$t_c = 0,693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C_1 \quad (\text{Equação 1})$$

E o tempo de descarga ( $t_d$ ) pela equação 2:

$$t_d = 0,693 \cdot R_2 \cdot C_1 \quad (\text{Equação 2})$$

O período de oscilação  $T$  é dado pela soma dos tempos de carga e descarga, somando-se a equação 1 e a equação 2, temos:

$$\begin{aligned} T &= t_c + t_d \\ T &= 0,693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C_1 + 0,693 \cdot R_2 \cdot C_1 \\ T &= 0,693 \cdot C_1 \cdot (R_1 + 2R_2) \end{aligned} \quad (\text{Equação 3})$$

Finalmente, a frequência ( $f$ ) do som emitido é dada pelo inverso do período de oscilação  $T$  (Equação 4):

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1,44}{C_1 \cdot (R_1 + 2R_2)} \quad (\text{Equação 4})$$

### Resposta do Oscilador

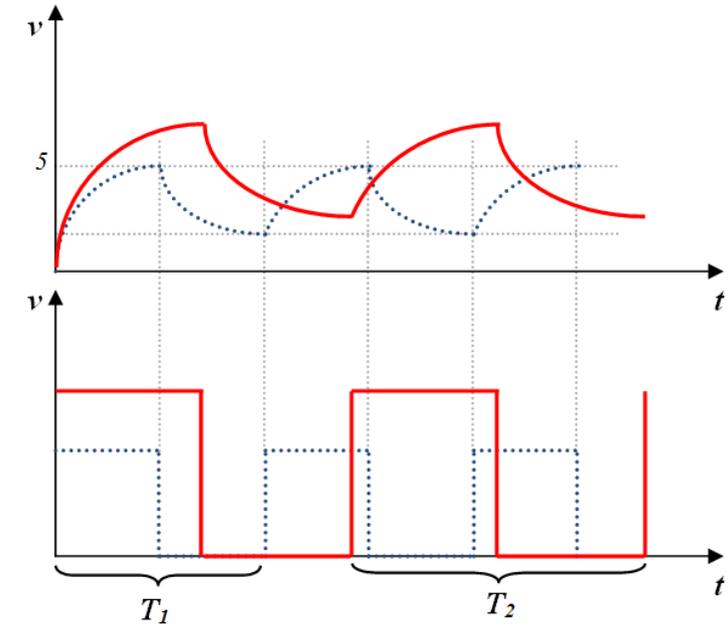
O resultado da frequência emitida pelo oscilador é um ruído contínuo e imperturbável de pulsos, na forma de rápidos estalos agudos. Mas, a menor variação de um campo magnético sobre a bobina produz perceptíveis variações da frequência destas oscilações.

Assim, uma vez que se fez disponível e operante o circuito montado, é de se discutir uma possível calibragem para se determinar quantitativamente os valores de corrente induzida correspondente para as diferentes frequências de som emitido.

Nesta onda, o período ( $T$ ) das oscilações é visivelmente modificado a medida que o ímã é introduzido na bobina. E para visualizar estas condições a figura 4 abaixo, expressa a onda

que representa a carga do capacitor  $C_1$  e a *Onda Quadrada*, saída sonora do oscilador.

**Figura 4** - Comparação da forma de onda antes e depois da interação magnética.



Na figura 4 temos o gráfico da carga do capacitor  $C_1$  e a forma de onda de saída correspondente. Onde, a cor azul pontilhado corresponde às oscilações antes da interação da bobina com o ímã (Período  $T_1$ ) e a cor vermelha contínua, corresponde a forma de onda modificada pela interação (Período  $T_2$ ). Neste caso especificamente houve o aumento do período de  $T_1$  para  $T_2$ , respectivamente.

Por fim, percebe-se que, em aspectos qualitativos, os resultados são excelentes, pois alternar o número de espiras entre 1000 e 500 produz mudanças significativas na frequência do som produzido, que é de aproximadamente 680 Hz. E ao mudar a intensidade do campo magnético utilizado, ou seja, diferentes ímãs, também são notáveis as respostas na modificação, além de modificar a velocidade com que o ímã se aproxima da bobina. Para quantificar o valor da intensidade da corrente apenas ouvindo a variação da frequência seria necessário um uso longo e prolongado do equipamento, o que foge ao objetivo inicial do experimento.

## CONCLUSÕES

O Galvanômetro sonoro, descrito nesse trabalho, rompe com uma tendência que pode passar despercebida pela maioria dos professores, pois ao se explicar um fenômeno ou experimento constantemente se usa expressões como “vejam isto”, “olhem o que acontece”, “observem os resultados”. Esta é uma descrição incompleta, porque se baseia no pressuposto de que todas as pessoas estão “vendo” o que se está apontando.

Logo, o recurso auditivo é de grande valia nas abordagens didáticas que possibilitem incluir indivíduos cegos ou de baixa visão, como no trabalho de Camargo e Silva (2006) que utilizou o som para determinar posição e de um móvel.

Por fim, a utilização do Galvanômetro sonoro, pode e deve ser usada em paralelo com o equipamento visual convencional. Pois este dará as informações quantitativas de que a abordagem

puramente sonora não dispõe ao curto prazo, complementando o ponto frágil que foi destacado na resposta do oscilador.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA-LIMA, Maria da Conceição de Almeida, et al. Reflexões sobre o ensino de física para deficientes visuais. **Ciência em tela**. v.9. n.1, 2016

BORGES, J.C.S. et al. Análise e reflexões sobre a formação docente e o ensino de física experimental. **Holos** (Natal. Online), v. 3, p. 159, 2012.

CAMARGO, Eder Pires; SILVA, Dirceu da. O ensino de física no contexto da deficiência visual: análise de uma atividade estruturada sobre um evento sonoro-posição de encontro de dois móveis. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 12, n. 2, 2006.

CASTRO, Ronaldo A. de; CORREIA Filho, João A.; GONÇALVES, Heitor A.: **A Inserção da Física Moderna no Ensino Médio**, in: XV Simpósio Nacional do Ensino de Física, p. 1780 – 1789, 2003.

MEC: **Bases Legais dos PCN – Ensino Médio**, Ministério da educação, 2008. Disponível em <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/baseslegais.pdf> acessado em 16 de dezembro de 2009.

MORRONE, Wagner; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; AMARAL, Luiz Henrique. Analogias e experimentação em eletrodinâmica baseadas no conhecimento sensível: um



experimento para aprendizagem significativa de alunos deficientes visuais. ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, v. 7, 2009.

ROMANO, Jair Carlos: **Governo do Estado do Rio Grande do Norte: Ensino Médio de Qualidade** – Física. Natal: Sistema de Ensino Holos, 2004.

TOCCI, Ronald J.; WIDMER, Neal S.: **Sistemas Digitais: Princípios e Aplicações**. Editora Pearson / Prentice Hall (Grupo Pearson). 10ª Ed. São Paulo, 2007.

## Sobre os autores

### Ed-Ek Soares Silva

Licenciatura plena em Física no IFRN e Mestre em Física aplicada, na sub-área de Astrofísica Estelar (UFRN). Docente em Física na Secretaria de Educação do Estado do Rio Grande do Norte.

E-mail: edek20@hotmail.com;

### Jacques Cousteau da Silva Borges

Graduado em Engenharia Elétrica (UFRN) e Licenciado em Física (CEFET-RN). Doutorado em Instrumentação e Controle de sistemas mecânicos - UFPB. Docente do IFRN do Mestrado profissional nacional em Ensino de Física. Experiência na área de Física experimental e instrumental - ênfase em Física, construção e desenvolvimento de experimentos e divulgação científica.

E-mail: cousteau.borges@ifrn.edu.br;

## STUDY OF THE FARADAY-LENZ LAW IN AN INCLUSIVE PROPOSAL FROM THE CONSTRUCTION OF A SONIC GALVANOMETER

### Abstract

In this paper, we discuss the development of an electronic device to audit the effects of Faraday and Lenz induction laws, since the understanding of these laws is the basis for understanding the generation, transmission and use of electric energy. It is proposed the construction of an experimental device with the possibility of student-experiment interaction, both for sighted students and students who present some type of visual impairment. This experiment consists of the use of an electronic circuit to "observe" the law of Faraday and Lenz in a sonorous way, instead of the traditional ammeter. The circuit measures variations of electric current producing oscillations of the emitted sound. Thus, from variations in the sound frequency, we can see the co-relation with the variation of the intensity of the induced electric current, which is the main point in the phenomenon that is intended to be addressed. This assembly of the electronic apparatus uses few components, and of easy acquisition, which makes it relatively simple. In addition, a crucial aim is to break doubly with conventional forms of teaching,

and to stimulate the use of resources beyond the traditional classroom material, proposing innovation of teaching practice, once respected for the diversity of students.

**Key-words:** Physics Teaching, Visual deficiency, Faraday-Lenz's Law, oscillator circuit.

## ESTUDIO DE LA LEY DE FARADAY-LENZ EN UNA PROPUESTA INCLUSIVA A PARTIR DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN GALVANÓMETRO SONORO

### Resumen

En este trabajo se aborda el desarrollo de un dispositivo electrónico para percibir de forma auditiva los efectos de las Leyes de inducción de Faraday y de Lenz, ya que la comprensión de esas leyes es base para el entendimiento de la generación, transmisión y utilización de la energía eléctrica. Se propone la construcción de un dispositivo experimental con la posibilidad de la interacción alumno-experimento, tanto para alumnos videntes como para alumnos que presentan algún tipo de deficiencia visual.

Este experimento consiste en el uso de un circuito electrónico para la observación de la ley de Faraday y Lenz de forma sonora en lugar del tradicional amperímetro. El circuito mide variaciones de corriente eléctrica produciendo oscilaciones del sonido emitido. Así, a partir de variaciones en la frecuencia sonora se percibe la co-relación con la variación de la intensidad de la corriente eléctrica inducida, que es el punto principal en el fenómeno que se pretende abordar. Este montaje del aparato electrónico utiliza pocos componentes, y de fácil adquisición, lo que lo hace relativamente simple. Además, un punto crucial es romper doble con formas convencionales de enseñanza, y estimular la utilización de recursos además del tradicional material de clase, proponiendo innovación de la práctica de enseñanza, una vez respetada a la diversidad de los estudiantes.

**Palabras clave:** Enseñanza de Física, Deficiencia visual, Ley de Faraday-Lenz, circuito oscilador.