

## GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Andrea Morales, Alain Mai, Bernardo Duarte, Patrick McCarthy

Estrella del Norte # 6 Col. Rancho Tetela, Fax: 3-11-42-77, E-mail: [colegio@marymount.edu.mx](mailto:colegio@marymount.edu.mx)

### Resumen

De forma experimental se comprobó que es posible generar electricidad a través de inducción magnética. Se logró comprobar *que la variación del flujo electromagnético en un área circundada por un circuito conductor cerrado induce una FEM (Fuerza Electromotriz)*. Esto se logró basándonos en un experimento del American Journal of Physics, que consiste en tirar un imán y un peso muerto por un tubo de aluminio para apreciar la diferencia en el tiempo de caída entre ambos. A este experimento le hicimos varias modificaciones que consistieron en dejar caer un imán por un tubo de aluminio, dos de cobre ranurados (uno ranurado de extremo a extremo por el costado y otro ranurado en secciones a lo largo del costado) y uno de PVC para probar que no se genera inducción pues no es conductor. Al tubo de aluminio y a los de cobre, los conectamos a un multímetro (medidor de voltajes) a través de una bobina de alambre de cobre y obtuvimos como resultado los diferentes voltajes que se generan por la caída de los imanes dentro de los diferentes tubos. Después de estas modificaciones a los tubos, se comprobó que efectivamente se genera electricidad por el principio de inducción magnética, sin embargo, se observó que cada uno de los tubos de nuestro experimento tuvo diferentes resultados en cuanto a la electricidad del imán generada en su caída; el tubo de cobre ranurado fue el que más volts generó (alrededor de 10.93 milivolts), seguido por el de aluminio completamente cerrado (9 milivolts), ya que el aluminio tiene menos conductividad que el cobre, en tercer lugar, el tubo de cobre con ventanas (5.96 milivolts) y por último el tubo de PVC (casi 0 milivolts). Es importante mencionar que las cifras mencionadas son los promedios de 6 caídas del imán por cada tubo, para tener una mejor aproximación y disminuir el margen de error.

### Introducción

El tema que hemos elegido para disertar en torno al curso Métodos de la Investigación es el referente a la ley de inducción magnética de Faraday (1), que puede definirse brevemente como:

*La fuerza electromotriz inducida en un circuito es directamente proporcional a la rapidez con que cambia el flujo magnético que la envuelve.*

*Expresado en términos matemáticos:*

$$fem = - \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

En esta ecuación,  $\Phi$  es el flujo magnético y  $t$  es el tiempo.

También, Faraday encontró que cuando un conductor corta líneas de flujo magnético se induce una corriente eléctrica.

Años después del experimento de Faraday, Heinrich Lenz (4) encontró que cualquier fuerza electromotriz inducida estará en una dirección tal que el flujo magnético se crea se opondrá al cambio en el flujo que la produce.

La ley de Lenz (2) y (4), es consecuencia del principio de conservación de la energía. Por ejemplo, cuando un imán se mueve hacia la cara de una espira o un solenoide, se induce una corriente en el alambre, ya que los electrones dentro de éste están sujetos a un campo magnético que crece, a medida que el imán se acerca. Esto produce una fuerza electromotriz (fem) que actúa sobre ellos. La dirección de la corriente inducida depende de si se aproxima el polo norte o el sur; si se aproxima el polo norte, se producirá una corriente en el sentido anti-horario, en tanto que si el polo que se aproxima es el sur, entonces se producirá una corriente en el sentido horario.

Las implicaciones de la ley de Lenz, pero en general, de las ecuaciones del electromagnetismo, han sido de enorme impacto en la sociedad industrial y post-industrial, pues basta mencionar que todo motor o generador, antena de radiodifusión, receptora o transmisora, láser de cualquier tipo, y muchísimos desarrollos tecnológicos actuales, no se habrían inventado sin el conocimiento de estas leyes del electromagnetismo. Por ello, hemos decidido dedicar nuestros esfuerzos en esta materia a desarrollar una serie de experimentos que demuestren de manera contundente y atractiva la ley de Lenz.

Nuestro trabajo persigue principalmente un enfoque pedagógico, pues en nuestro país se presta muy poca atención a la enseñanza de las ciencias naturales, y en particular de la física, a través de experimentos que complementen la teoría.

Durante el proceso de investigación bibliográfica, detectamos que la revista por excelencia para difundir avances en la metodología de la enseñanza de la física, es el American Journal of Physics (3), órgano oficial de comunicación de la American Physics Teachers Society.

## **Antecedentes**

Históricamente, la importancia del electromagnetismo se remonta al año 639 AC, cuando Tales de Mileto observó ciertas propiedades del ámbar, que atraía otros objetos al ser frotado, signo de la electricidad estática. De hecho, la palabra electrón proviene del griego “ambar” (ἤλεκτρον). Muchos siglos después, Faraday, Ampère y muchos otros fueron construyendo los pilares de lo que ahora es el electromagnetismo. Como hemos dicho líneas atrás, el estado actual de la civilización humana, tan tecnificado y globalizado, sería imposible sin el electromagnetismo.

A modo de ejemplo, algunas aplicaciones de la ley de inducción magnética y sus variantes que se usan cotidianamente son los motores eléctricos, los frenos magnéticos utilizados en los trenes rápidos, y los medidores de potencia eléctrica o “wattorímetros” que tenemos en casa.

Nuestro mayor empeño en la realización de este trabajo consiste en presentar la ley de inducción magnética mediante varios experimentos, inspirados en un artículo ya publicado en el American Journal of Physics (3) previamente, pero ahora adaptado con variantes ingeniosas, que permitan la apreciación del fenómeno con más detalle y contundencia.

## Hipótesis

General: Que la variación del flujo electromagnético en un área circundada por un circuito conductor cerrado induce una FEM (Fuerza Electromotriz). Si dicha FEM ocurre en un medio conductor, ésta da lugar a una corriente eléctrica.

### Particulares:

- Que el deslizamiento de un imán dentro de un tubo metálico, por acción de la gravedad, se ve afectado por la interacción magnética entre el imán y el tubo metálico.
- Que al ranurar el tubo, el desplazamiento del imán descendiendo por los tubos tendrá discontinuidades en las secciones ranuradas, afectando así el tiempo de caída y su velocidad. Esto se medirá con un cronómetro y a simple vista.
- Que al variar la intensidad del campo magnético y la masa del imán, cambiarán los parámetros (velocidad y tiempo de caída) de su recorrido por el tubo.
- Que se demostrará la generación de una FEM (Fuerza Electromotriz) al ranurar el tubo, mediante técnicas simples como un electroscopio.

## Objetivo

Observar e ilustrar, de manera experimental, la tercera ecuación de Maxwell, llamada ley de inducción de Faraday.

En las Figs. 1 y 2 se demuestra el movimiento del imán dentro del tubo junto con el flujo magnético que este produce al caer.

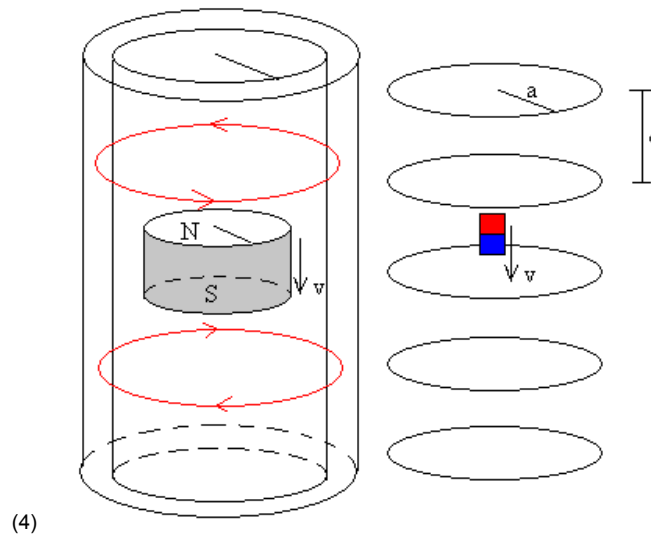


Fig. 1 Esquema del prototipo usado para nuestro experimento, mostrando el imán y las corrientes inducidas en sus extremos norte y sur, las cuales ocasionan que su descenso sea significativamente menor al que tendría por caída libre.

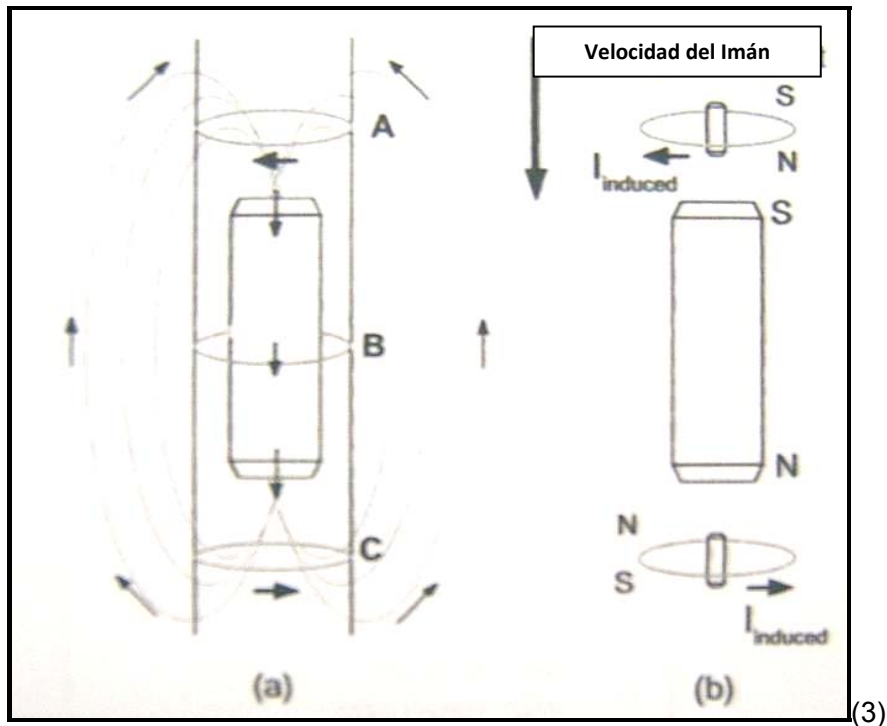


Fig. 2 Esquema del experimento publicado en el American Journal of Physics (3).

### Objetivos Específicos

Demostrar que se genera una corriente eléctrica a partir de un campo electromagnético que genera el cambio del flujo magnético, y que dicha corriente genera, a su vez, un campo magnético que se opone al primero.

Hacer un experimento basado en el esquema del American Journal of Physics que demuestre de manera visual el fenómeno de la inducción magnética para enriquecer su comprensión.

### Metodología

Lugar: Laboratorio de Plasmas de Baja Temperatura dirigido por el Dr. Jaime de Urquijo en el Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM, Campus Morelos.

### Materiales

- Dos tubos de cobre de 1.5 metros.
- Un tubo de PVC de 1.5 metros.
- Un tubo de Aluminio de 2 metros.
- Alambre de cobre Magneto aislado
- Iman (2.2 Kgauss)
- Peso muerto de un metal no conductor equivalente al peso y a la masa del imán.

(5)



- Adhesivos

## Equipo

- Cronómetro, se va a usar para medir el tiempo de caída del imán y del metal.
- Osciloscopio, instrumento de medición electrónico para la representación gráfica de señales eléctricas que pueden variar en el tiempo y se usará para medir la intensidad de la corriente eléctrica.
- Multímetro, aparato que se emplean para indicar el paso de corriente eléctrica por un circuito y para medir la intensidad de la corriente eléctrica producida.

## Procedimiento

1. Ranurar uno de los dos tubos de cobre de 1.5m a todo lo largo del costado con un grosor de 2mm.
2. Ranurar el segundo tubo de cobre a lo largo del costado haciendo ventanas de 10cm. Por 2mm.
3. Ponerle bobinas a los tubos con el alambre de cobre. (14 vueltas por bobina)
4. Arrojar un cuerpo sin campo magnético por los tubos ranurados y medir los volts que generen en su caída con el medidor de voltaje, medir cuánto tarda en caer y medir la intensidad de la corriente eléctrica generada. Hacer lo mismo ahora con el imán.



5. Cerrar el circuito del tubo de cobre ranurado completamente, con alambre de cobre en cada extremo.
6. Repetir el paso tres en el tubo de aluminio, PVC y de cobre con el circuito cerrado y anotar los datos de cada caída del imán y del cuerpo no magnético.
7. Repetir el experimento 6 veces en cada tubo y anotar los datos de cada caída. (Voltaje, Tiempo, y vueltas de la bobina)
8. Explicar porque se genera este fenómeno.

## Diseño Experimental

Realizamos el experimento seis veces en cada tubo para comprobar si hay variación en la intensidad que se genera en la corriente eléctrica, en los volts generados en cada caída o en el tiempo de caída dependiendo de las modificaciones de cada tubo.

## Variables

- Dependientes: la corriente inducida mediante el experimento es la variable a medir. También la velocidad y el tiempo de caída.
- Independientes: Diámetro del tubo masa de los imanes, potencia de los imanes.

## Resultados y Discusión

Cuando se deja caer un imán en un tubo de aluminio sin ranurar, se produce una cierta corriente eléctrica en un cierto tiempo (*Véase Anexo 1 y 2*), al repetir este proceso en un tubo de cobre ranurado en secciones, la cantidad de electricidad generada disminuye con respecto al tiempo, es decir, que mientras más lenta sea la caída, menos electricidad se genera. Así como el tiempo de caída, se observa el fenómeno de que por cada vez que llega el imán a una sección ranurada se acelera la caída y cuando la sección ranurada se acaba, disminuye el tiempo y la velocidad de caída.

En el caso del tubo completamente ranurado no se generó corriente alguna y el imán cayó a una velocidad cercana a la caída libre; sin embargo, fue frenado por la fricción del tubo. Esto puede considerarse como un error sistemático inevitable del experimento.

Cuando se dejó caer el imán por el tubo de PVC, se obtuvieron los mismos resultados que en el tubo completamente ranurado. Cuando se cerró el circuito del tubo completamente ranurado en las partes superior e inferior, el tiempo de caída aumentó y se llegó a producir una pequeña corriente eléctrica.

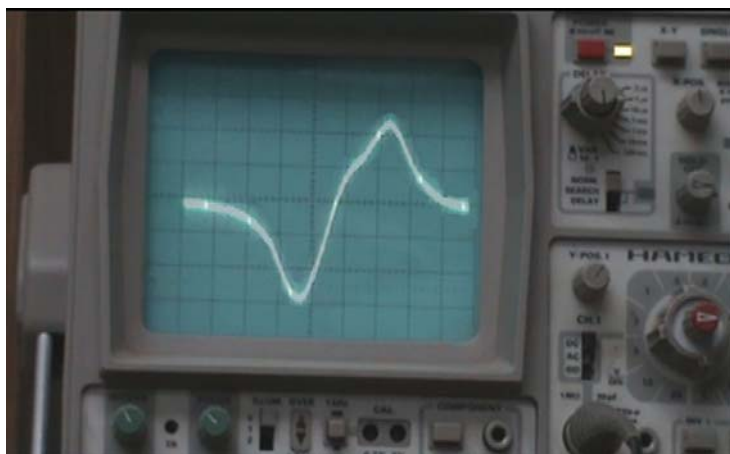
La cantidad de electricidad que se observaba en el osciloscopio era proporcional al número de vueltas que se le dio con el alambre de cobre a los tubos.

En base a las gráficas y a las mediciones con los aparatos del instituto de ciencias físicas, los resultados numéricos son los siguientes:

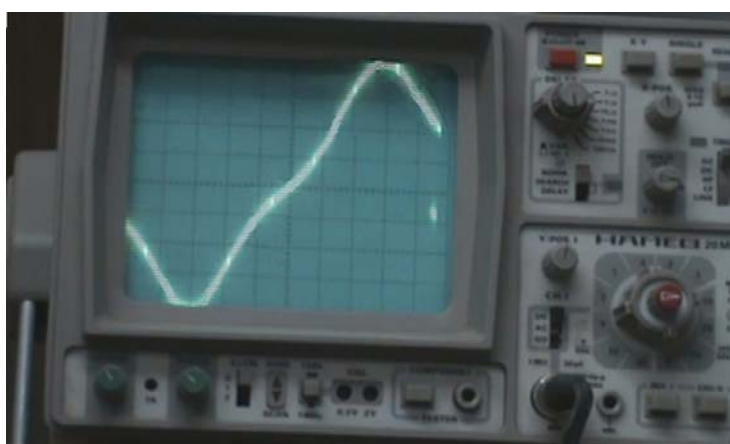
- El promedio de las caídas del imán por el tubo de cobre ranurado, produjeron un promedio de 10.93 milivolts y un tiempo de caída promedio de 3.35 segundos
- el promedio de las caídas del imán por el tubo de aluminio completamente cerrado produjeron un voltaje promedio de 9.95 milivolts con un tiempo promedio de caída de 7 segundos
- El promedio de las caídas del imán por el tubo de cobre con ventanas produjo un promedio de 0.51 volts milivolts al colocar la bobina justo en una de las ventanas y 5.96 al colocar la misma en la sección cerrada del tubo.
- Por último, el tubo de PVC (material no conductor) produjo un voltaje de 0 y las caídas sumaron un promedio de 0.93 segundos.

Es sumamente importante mencionar que la bobina empleada en todos los tubos del experimento fue un alambre de cobre que giraba 14 veces alrededor del tubo.

Finalmente, después de calcular la desviación estándar para los voltajes generados en los tubos, obtuvimos una desviación promedio de 0.3



Primera lectura: Oscilación generada por la corriente eléctrica de la caída del imán dentro del tubo de Cobre Ranurado.



Segunda lectura: Oscilación generada por la corriente eléctrica de la caída del imán dentro Tubo de Aluminio

## Conclusión

Dependiendo de las características y de la conductividad de un tubo, al mismo tiempo que la potencia y el peso de un imán, se puede generar una corriente eléctrica no constante. Las ranuras el tubo le dieron una vista diferente al experimento original del American Journal of Physics (3), ya que estamos probando objetivamente, que sí se genera una corriente eléctrica, no solamente observacionalmente, sino que además se puede cuantificar este fenómeno. Fue por esta demostración que obtuvimos el primer lugar en el área Físico – Matemático nivel preparatoria en el XIX Congreso de Investigación del CUAM

## Agradecimientos

Agradecemos a nuestros asesores, el Dr. Jaime de Urquijo y al Dr. Antonio Juárez Reyes del Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM por todo su apoyo a lo largo del proyecto. También agradecemos a nuestro profesor, el Dr. Enrique Galindo del IBT por toda su emotividad y ayuda a lo largo del semestre para la realización de este trabajo.

## Bibliografía

(1) Faraday's law of induction. (2008). In *Encyclopædia Britannica*. Retrieved February 12, 2008, from Encyclopædia Britannica Online: URL: <http://www.britannica.com/eb/article-9033718>

(2) Paul E. Tippens, *Física: Conceptos y Aplicaciones*, Editorial McGraw Hill, 6° edición, Marietta Georgia, p.688.

(3) MacLatchy, Backman and Bogan, *Am. J. Phys.* 61, Pag. 143-149 (December 1993).

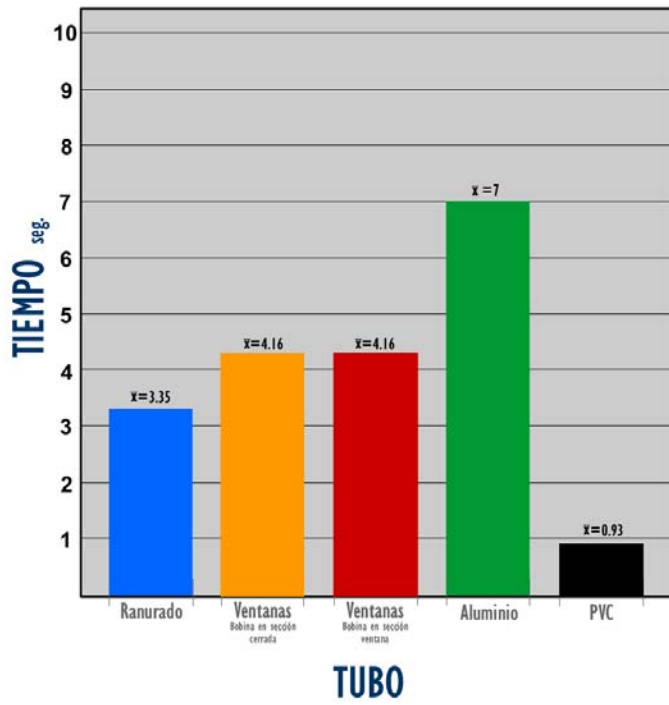
(4) Lenz's law. ( 2008). In *Encyclopædia Britannica*. Retrieved February 12, 2008, from Encyclopædia Britannica Online: URL: <http://www.britannica.com/eb/article-9047780>

(5) URL: <http://images.google.com.mx/images?q=tubo+de+cobre&gbv=2&hl=es&start=18&sa=N&ndsp=18>  
(consultado el día 25 de febrero 2008)

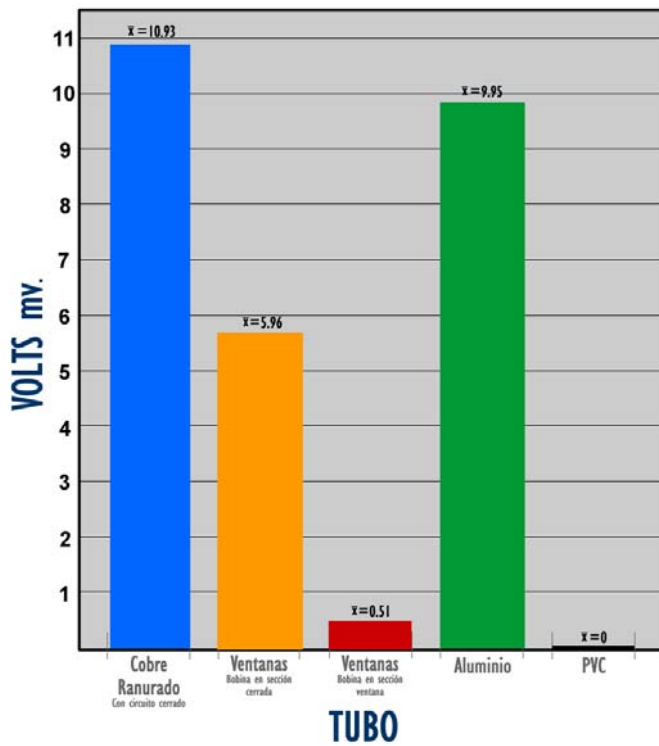
Anexo 1

	#CAIDA	TIEMPO	VOLTS	VUELTAS
		Seg.	mv.	EN BOBINA
<b>RANURADO</b>	1	3.8	11.2	14
	2	3	11.5	14
	3	2.8	10.5	14
	4	3.5	7.4	14
	5	3.5	12.5	14
	6	3.5	12.5	14
Promedio		3.35	10.93	
<b>TUBO CON VENTANAS</b> <i>bobina en sección (media)</i> <i>cerrada</i>	1	5	5.5	14
	2	4	8.6	14
	3	4	5.4	14
	4	4	8.2	14
	5	4	4.1	14
	6	4	4	14
Promedio		4.16	5.96	
<b>VENTANAS</b> <i>bobina en sección abierta</i> (ventana)	1	5	0.8	14
	2	4	0.7	14
	3	4	0.5	14
	4	4	0.5	14
	5	4	0.5	14
	6	4	0.1	14
Promedio		4.16	0.51	
<b>ALUMINIO</b>	1	7	9.1	14
	2	7	11.6	14
	3	7	8.1	14
	4	7	9.7	14
	5	7	12.5	14
	6	7	8.7	14
Promedio		7	9.95	
<b>PVC</b>	1	0.9	0	14
	2	0.8	0	14
	3	0.6	0	14
	4	1.1	0	14
	5	1.2	0	14
	6	1	0	14
Promedio		0.93	0	

Anexo 2



Promedios del tiempo de caída en cada tubo



Promedios de voltaje generado en cada tubo (El tubo ranurado tenia el circuito cerrado)