

Modelado y Resolución de un problema de corriente alterna

Juan Alberto Farina¹, Daniel Del Greco¹, Rubén Sarges Guerra¹, Luis Paradiso¹

¹Facultad Regional Rosario, Universidad Tecnológica Nacional, Zeballos 1341, CP 2000, Rosario, Santa Fe, Argentina.

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

E-mail: juanalbertofarina@gmail.com

Resumen

En este trabajo se presenta una propuesta didáctica que contempla el diseño e implementación de un trabajo práctico, seleccionando una actividad experimental que tiene por finalidad el análisis de funcionamiento de un tubo fluorescente, durante la enseñanza de corriente alterna en un curso universitario básico. Se contrastan los datos dados por el fabricante con los valores medidos en el aula, se discute la validez del modelo y su importancia en el proceso de construcción del conocimiento científico, pone en contacto a los estudiantes con instrumentos de uso para mediciones en corriente alterna, se discute la selección de escalas adecuadas y se evidencian otros aspectos relevantes que brinda la experimentación con un dispositivo de uso cotidiano.

El propósito del experimento es lograr que los estudiantes logren dar significado a algunos conceptos fundamentales de la electricidad y como en una experiencia determinada se conjugan diferentes miradas que explican desde la física el funcionamiento de ciertos dispositivos tecnológicos cotidianos. Abordar desde la experimentación la determinación de reactancias e impedancias desde la propia práctica de modo de relacionar conceptos trabajados desde el punto de vista teórico con la práctica experimental, en el tema corriente alterna. Se presentan los fundamentos disciplinares y didácticos, se muestra la configuración experimental y finalmente se presentan resultados de la implementación y discusión de los mismos.

Palabras clave: Modelización, Corriente alterna, Contexto, Circuitos, Reactancias.

Abstract

This paper presents a methodological approach that includes the design and implementation of practical work, selecting an experimental activity which aims at analyzing operation of a fluorescent tube, during the teaching of alternating current in a basic university course presents. The data given by the manufacturer with the measured values in the classroom contrast, the validity of the model and its importance in the process of construction of scientific knowledge is discussed, brings together students with instruments used for measurements in alternating current, selecting appropriate scales discussed and other relevant aspects offered experimenting with a device for everyday use are evident.

The purpose of the experiment is to get students to achieve to give meaning to some fundamental concepts of electricity and a certain experience and different perspectives from physics explaining the operation of certain everyday technological devices are combined. Address from experiments determining reactance and impedance from the actual practice of how to relate concepts studied from the point of view of theory with experimental practice in the AC issue. Disciplinary and educational foundations are presented, the experimental setup is shown and finally implementation results and discussion thereof are presented.

Keywords: Modelling, Alternating current, Context, Circuits, Reactors

I. ESTRATEGIA DIDÁCTICA Y FUNDAMENTOS FÍSICOS

Es reconocida la experimentación como una parte fundamental de la enseñanza de la física articulada con la teoría y la resolución de problemas. Varios autores destacan la importancia de acercar a los estudiantes a la ciencia mediante la experimentación con materiales de bajo costo y fáciles de conseguir. García, (2011) considera que la ciencia recreativa utilizada como recurso didáctico no garantiza el aprendizaje de conceptos, pero, logra en los alumnos un cambio en su disposición y motivación hacia la temática planteada.

Guisasola, Zubimendi, Almudi y Ceberio (2008) consideran que la electricidad es vista por los estudiantes como un tema de física que presenta una serie de dificultades para su aprendizaje considerándolo un tema complejo.

Por otra parte, para nosotros, el hecho de poder utilizar un dispositivo de uso en la vida cotidiana, como lo son los artefactos eléctricos que funcionan bajo corriente alterna, lo consideramos una experiencia motivadora, de bajo costo y conocida por todo el alumnado. Es tarea del docente hacer que los alumnos se involucren e intenten formas de pensar y aprender al modo semejante a las formas científicas de investigar y pensar. En ese sentido, se intenta llevar a cabo una experiencia que muestre los matices que de por sí albergan las investigaciones llevadas a cabo a la luz de los desarrollos epistemológicos actuales. La propuesta implementada intenta lograr un aprendizaje significativo, para lo cual se requiere construir conocimiento sobre los conceptos básicos, y establecer relaciones entre ellos (Ausubel, 1976). Los modelos causales y los modelos secuenciales forman parte de la enseñanza de la electricidad para desarrollar un pensamiento sistémico.

(Psillos, 1998), destaca dos aspectos a tener en cuenta para tener buenos resultados en la enseñanza de la electricidad por parte de los alumnos. Uno de ellos, la necesidad de aplicar los conceptos a situaciones reales y cercanas a los estudiantes como el concerniente a la instalación eléctrica de una casa. El segundo aspecto es el uso de ejemplos y analogías como herramienta facilitadora para la comprensión de los conceptos. Destaca que en las clases es fundamental la experimentación y el trabajo colaborativo.

Una de las ventajas de las nuevas tecnologías es el acceso a la información a través de las páginas web. En ellas muchas empresas fabricantes de diferentes productos ofrecen explicaciones sobre el funcionamiento de los mismos. Esta nueva situación nos provee de elementos importantes y necesarios que complementan el desarrollo del tema y ofrecen los productos de los que se nutre el mercado. Es usual que hoy en día los estudiantes y los docentes recurran a visitar las diferentes páginas web y recabar información sobre el tema en particular.

Nos parece importante enlazar el desarrollo hecho en clase sobre el tema con la propuesta de los diseños tecnológicos disponibles para todo el público, lo que ayuda a comprender el funcionamiento del tubo en particular. En primer lugar y basándonos en los temas desarrollados anteriormente sugerimos a los alumnos una lectura del funcionamiento de un tubo fluorescente. Partimos de una modelización del circuito correspondiente:

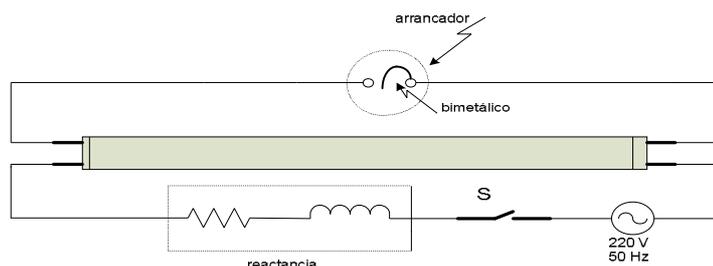


FIGURA 1. Modelo circuital adoptado

El equipo (Figura 1) se encuentra conectado a una red senoidal de corriente alterna de 220V eficaces, 50Hz. Cuando cerramos el interruptor S, el arrancador se encuentra abierto, por lo tanto se establece la tensión de línea en bornes del mismo. Esto provoca que el gas neón (Ne) contenido dentro de la ampolla se ionice y el calor producido por el gas neón, curva una tira bimetálica que cierra el circuito eléctrico entre los electrodos.

Una vez que el arrancador se encuentra cerrado se establece el flujo de corriente eléctrica necesaria para que los filamentos de tungsteno (que no están dibujados), en los extremos del tubo se enciendan. Los filamentos de tungsteno encendidos provocan la emisión de electrones por calentamiento y la ionización del gas argón (Ar) contenido dentro del tubo. Esto crea las condiciones previas para que, posteriormente, se establezca un puente de gas conductor de la corriente eléctrica por el interior del tubo, entre un filamento y otro. Esto hace que ya no esté aplicada la diferencia de potencial de 220V en bornes del arrancador. El bimetálico, al dejar de recibir el calor que le proporcionaba el gas neón encendido, se enfría y abre el contacto dispuesto entre los dos electrodos. El flujo de corriente a través del circuito en derivación se interrumpe, provocando dos acciones simultáneas:

- 1) Los filamentos del tubo se apagan cuando deja de pasar la corriente eléctrica por el circuito en derivación.
- 2) La corriente eléctrica que circula por el circuito crea un campo magnético en el arrollamiento de la reactancia. Al interrumpirse bruscamente, provoca que en el propio arrollamiento se genere una fuerza contra-electromotriz, cuya energía se descarga dentro de la lámpara, en forma de arco eléctrico. Este arco salta desde un extremo a otro del tubo valiéndose de los filamentos, que una vez apagados se convierten en electrodos de la lámpara.

Bajo estas nuevas condiciones, la corriente de electrones, que en un inicio fluía a través del circuito en derivación de la lámpara donde se encuentra conectado el arrancador, comienza a hacerlo ahora atravesando interiormente el tubo de un extremo a otro, valiéndose de los dos electrodos. La corriente que fluye por dentro del tubo provoca que los electrones comiencen a chocar con los átomos del gas argón, aumentando la cantidad de iones y de electrones libres. Como resultado se crea un gas compuesto por una gran cantidad de iones y de electrones libres, que permite que estos se muevan de un extremo a otro del tubo.

Esos electrones libres comienzan a chocar con una parte de los átomos de mercurio (Hg) contenidos también dentro del tubo, que han pasado del estado líquido al gaseoso debido a la energía que liberan dichos electrones dentro del tubo. Los choques de los electrones libres contra los átomos de mercurio excitan a sus electrones haciendo que liberen fotones de luz ultravioleta (Figura 2).

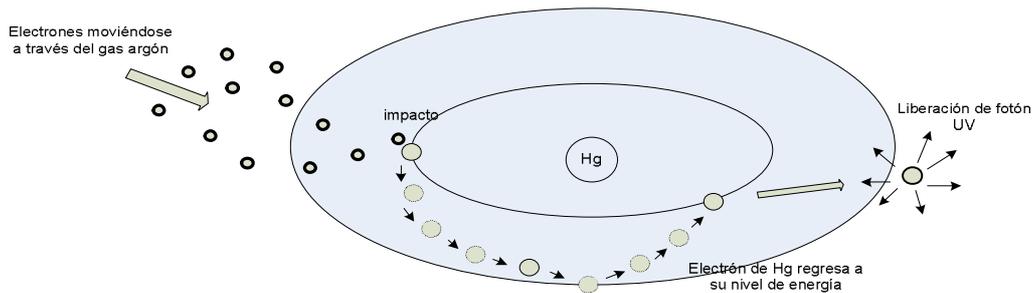


FIGURA 2. Choques de los electrones libres contra los átomos de mercurio

Los fotones de luz ultravioleta, invisible para el ojo humano, impactan a continuación contra la capa de fósforo (P) que recubre la pared interior del tubo fluorescente. El impacto excita los electrones de los átomos fósforo (P), los que emiten, a su vez, fotones de luz visible, que hacen que el tubo se ilumine con una luz fluorescente blanca (Figura 3).

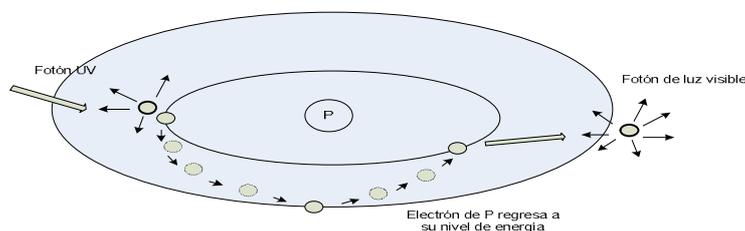


FIGURA 3. Fotones en acción

El impacto de los electrones que se mueven a través del tubo contra los dos electrodos situados en los extremos, hace que estos se mantengan calientes (a pesar de que los filamentos se encuentran ya apagados). Mantener caliente esos dos electrodos se hace necesario para que la emisión de electrones continúe. De esa forma, tanto el ciclo de excitación de los átomos de vapor de mercurio como el de los átomos de fósforo dentro del tubo continúa, hasta tanto activemos de nuevo el interruptor que apaga el equipo y deje de circular corriente eléctrica por el circuito.

II. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la actividad se diseñan tres espacios o momentos: se presenta el dispositivo donde el docente expone ideas sobre los cuales se construirán los conceptos y se comunica a los estudiantes cuáles serán las actividades a llevar a cabo; el segundo momento es aquél en el cuál se realizará la experiencia, donde el docente orientará sobre cómo medir, cuales son los instrumentos que utilizará, que es lo que se va a medir y como orientar el desarrollo de la experiencia con las adecuadas medidas de seguridad. En el tercero de los espacios el docente indicará los errores conceptuales y procedimentales que se generan durante el desarrollo de la experiencia y aclara otras cuestiones que surgen de la misma, de modo de socializar los contenidos puestos en juego

III. DISEÑO DEL DISPOSITIVO – PLANTEO DEL PROBLEMA

- Determinar las constantes R, L y C de un equipo fluorescente de 36 W de los que se encuentran en el aula.
- Modelizar el problema a través de un circuito específico.
- Realizar las mediciones con los instrumentos apropiados.
- Analizar la situación en régimen permanente.
- Verificar el ángulo de desfase entre corriente y tensión especificado por el fabricante.
- Discutir ventajas de la utilidad del diagrama fasorial.
- Análisis del campo eléctrico necesario para vaporizar el mercurio y análisis del porqué de la iluminación del tubo.
- Analizar brevemente si este tipo de iluminación genera polución electromagnética.

Objetivo: Determinar las constantes R, L y C de un equipo fluorescente de iluminación de 36 watt mediante la medición de las variables relevantes del circuito. A partir de la presentación del dispositivo real a ensayar, se esquematiza un modelo circuital que responde a los que utilizamos frecuentemente en el aula. En la figura 4 se presenta el dispositivo y en la figura 5 el modelo asociado a la misma.

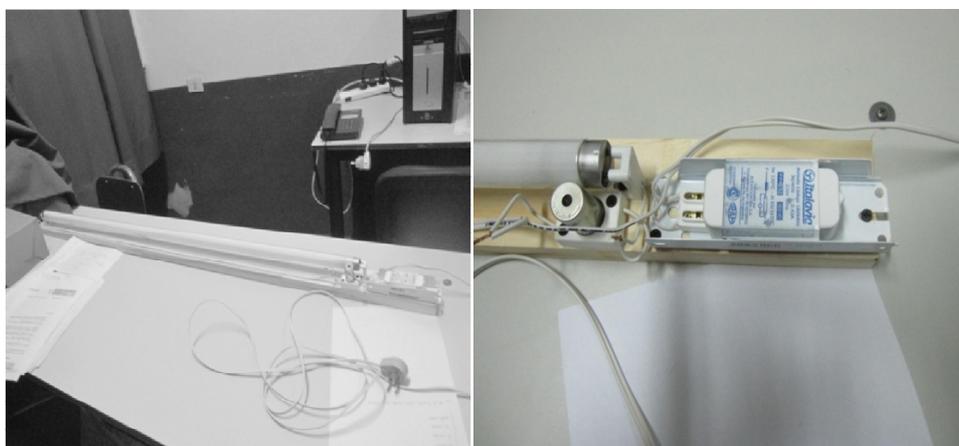


FIGURA 4. Dispositivo Experimental

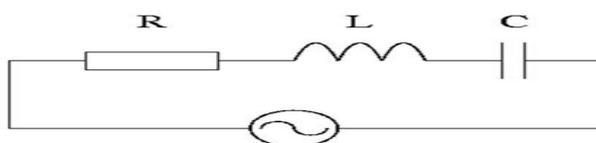


FIGURA 5. Modelo del circuito adoptado

Características eléctricas de un tubo fluorescente de 36 W dadas por el fabricante:

$$V_{\text{alimentación}} = 220 \text{ V} \quad f = 50 \text{ Hz} \quad I_{\text{nominal}} = 0,43 \text{ A} \quad P_{\text{tubo}} = 36 \text{ W} \quad P_{\text{balasto}} = 12 \text{ W} \quad P_{\text{total}} = 48 \text{ W}$$

$$\text{Potencia total aparente consumida} = 220 \text{ V} \cdot 0,43 \text{ A} = 94,6 \text{ VA}$$

$$\text{Factor de potencia} = \cos\phi = P_{\text{total}}/P_{\text{ap}} = 48 \text{ W} / 94,6 \text{ VA} = 0,507$$

IV. RÉGIMEN PERMANENTE:

Para la medición de tensiones y corrientes se utilizó un voltímetro marca FLUKE 89, de verdadero valor eficaz. La tensión de alimentación: 220 V y $f = 50 \text{ Hz}$

El Circuito utilizado y las conexiones del voltímetro se muestran en el modelo representado en la Figura 6:

- Determinar las constantes R, L y C de un tubo fluorescente de iluminación de 36 W a través de los valores medidos.

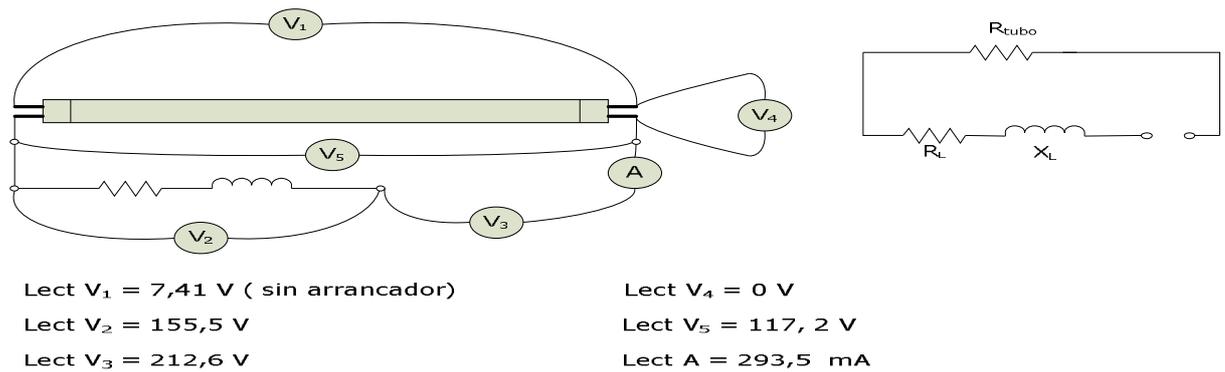


FIGURA 6. Modelo y conexiones

$$Z_T = \frac{V_3}{I_T} = \frac{212,6 \text{ V}}{0,293 \text{ A}} = 724,4 \Omega \quad (1)$$

$$Z_L = \frac{V_2}{I_T} = \frac{155,5 \text{ V}}{0,293 \text{ A}} = 529,8 \Omega \quad (2)$$

$$R_{tubo} = \frac{V_5}{I_T} = \frac{117,2 \text{ V}}{0,293 \text{ A}} = 399,3 \Omega \quad (3)$$

$$Z_T^2 = R_T^2 + X_L^2 \quad (4)$$

$$Z_L^2 = R_L^2 + X_L^2 \quad (5)$$

$$\text{Resistencia Total: } R_T = R_L + R_{tubo} \quad (6)$$

$$R_T^2 = (R_L + R_{tubo})^2 \quad (7)$$

$$R_T^2 = R_L^2 + 2R_L R_{tubo} + R_{tubo}^2 \quad (8)$$

Igualando (4) y (5) y reemplazando R_T

$$Z_T^2 - R_L^2 - 2R_L R_{tubo} - R_{tubo}^2 = Z_L^2 - R_L^2 \quad (9)$$

$$2R_L R_{tubo} = Z_T^2 - R_{tubo}^2 - Z_L^2 \quad (10)$$

$$R_L = \frac{Z_T^2 - R_{tubo}^2 - Z_L^2}{2R_{tubo}} = \frac{(724,4 \Omega)^2 - (399,3 \Omega)^2 - (529,8 \Omega)^2}{2 \cdot 399,3 \Omega} = 106 \Omega \quad (11)$$

De (2)

$$X_L = \sqrt{Z_L^2 - R_L^2} = \sqrt{(529,8 \Omega)^2 - (106 \Omega)^2} = 519 \Omega \quad (12)$$

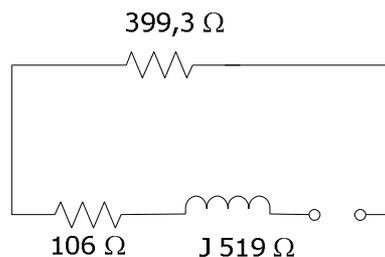


FIGURA 7. Modelo circuital de impedancias

$$\Phi = \arctg \arctg \frac{X_L}{R_T} = \arctg \frac{519\Omega}{505,3\Omega} = 47,8^\circ$$

$$\cos\phi = 0,67 \text{ (fabricante dice que es } 0,59)$$

$$P_{\text{tubo}} = V_{\text{tubo}} \cdot I_T \cdot 1 = 117,2 \cdot 0,2935 \text{ A} = 34,4 \text{ W} \quad (\text{el fabricante dice } 36 \text{ W})$$

A. Construcción Diagrama Vectorial

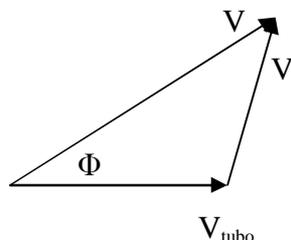


FIGURA 8. Diagrama vectorial

Campo Eléctrico dentro del tubo fluorescente:

$$E = \frac{V_{\text{tubo}}}{d} = \frac{117,2V}{1,2m} = 97,67 \frac{V}{m}$$

B. Cálculo Energía fotón

$$\text{Energía del fotón ultravioleta } E = h \cdot f = \frac{hc}{\lambda}$$

$$h = \text{constante de Planck} = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

Suponemos luz ultravioleta, corresponde longitud de onda $\lambda = 250\text{nm}$

$$E = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}) \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{250 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 7,95 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4,97 \text{ eV}$$

Este fotón se emite durante una transición entre dos niveles del átomo, cuyas energías difieren en 4,97 eV. En la figura 9 se presenta los niveles de energía

La longitud de onda emitida es: $\lambda = h \cdot c / E_0 = 2536 \text{ nm}$ (Ésta longitud de onda no está dentro del rango del espectro visible). Suponiendo que el tubo fluorescente transforma toda su potencia (34,4W) en luz UV (despreciamos el calentamiento), los fotones UV que entrega por segundo son:

$$\text{Energía total: } E_T = N \cdot E \tag{16}$$

E: energía de un fotón

$$\frac{E_T}{\Delta t} = \frac{N \cdot E}{\Delta t} \tag{17}$$

Donde $\frac{E_T}{\Delta t} = P$ y $\frac{N}{\Delta t}$: número de fotones por unidad de segundo

Re

$$\frac{N}{\Delta t} = \frac{P}{E} = \frac{p \cdot \lambda}{h \cdot c} = \frac{34,4 \text{ W}}{7,95 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 4,33 \cdot 10^{19} \frac{\text{fotones}}{\text{s}}$$

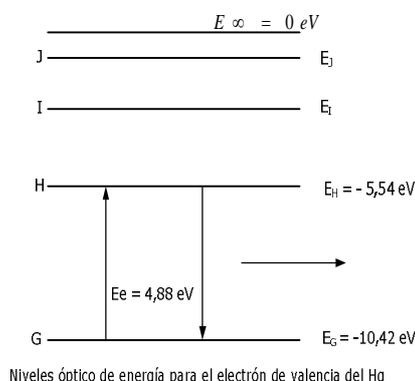


FIGURA 9. Niveles de energía para el electrón de valencia del mercurio

V. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Familiarizar a los estudiantes con el funcionamiento del tubo fluorescente a partir de un análisis riguroso y científico pero aplicado a un problema cotidiano. De este modo se pudo explicar en qué zona del espectro electromagnético trabajan los tubos; la detección del campo eléctrico necesario para excitar los electrones; la conversión de radiación ultravioleta en radiación visible; la utilidad de la reactancia, la modelización del problema, la disipación de potencia, etc.

Eléctricamente el tubo equivale a una carga puramente óhmica, mientras que el balasto es una carga inductiva. Conjunto lámpara-balasto, equivale a una carga inductiva con un determinado factor de potencia.

Prácticamente los tubos emiten luz sin generar casi calor. Básicamente están compuestos por: tubo de descarga; casquillos con filamento; cebador, encendedor o arrancador (starter) y Balasto

Los tubos se fabrican de vidrio con distintas longitudes y diámetros. La longitud depende de la potencia que desarrolla la lámpara y el diámetro está estandarizado en 2,54 cm (1 pulgada). Los hay de forma recta y de forma circular. El que hemos analizado es de forma recta. La pared interior del tubo se encuentra recubierta con una capa de sustancia fosforescente o fluorescente, cuya misión es convertir los rayos de luz ultravioleta (que se generan dentro y que no son visibles para el ojo humano), en radiaciones de luz visible.

Para que eso ocurra, su interior se encuentra relleno con un gas inerte, generalmente argón (Ar) y una pequeña cantidad de mercurio (Hg) líquido. El gas argón se encarga de facilitar el surgimiento del arco eléctrico que posibilita el encendido de la lámpara, así como de controlar también la intensidad del flujo de electrones que atraviesa el tubo.

El estudiante debe medir las ddp en cada elemento del circuito y se establece la posibilidad de promover en los alumnos una reflexión sobre la propia práctica. Se aprovecha también el hecho de que los alumnos se pongan en contacto con instrumentos reales y aprender a seleccionar las escalas correspondientes.

Particular atención merece el hecho de que hay que tener en cuenta muchos aspectos relacionados con la calidad de la luz frente al hecho de prevenir accidentes. La falta de uniformidad luminosa puede crear problemas de adaptación que afectan la visibilidad. Está comprobado que los deslumbramientos originan problemas serios en la salud. Los efectos estroboscópicos de la iluminación claramente constituyen un riesgo si la tarea a realizar obliga a ver perfectamente las piezas móviles de una maquinaria. En ese sentido, por tratarse de una luz fría, no está permitido su uso en los lugares donde se trabaja con máquinas herramientas por ejemplo tornos mecánicos. Al no poseer inercia térmica (luz fría) su frecuencia de oscilación puede coincidir con la velocidad angular que está girando el plato de esta máquina, por lo tanto a ciertas velocidades se produce un fenómeno estroboscópico confundiendo al personal con una situación aparente donde el personal cree que este dispositivo se encuentra detenido cuando está girando a baja velocidad (50 Hz). Un riesgo, que merece la pena destacar, se elimina por completo con balastos electrónicos de alta frecuencia.

La variación de la intensidad de la luz emitida por el tubo puede ser observada con una cámara que tenga una velocidad superior a los 30 cuadros/s. En nuestro caso utilizamos una cámara de 320 cuadros por segundo y se aprovechó este fenómeno para medir la frecuencia de oscilación de la fem de alimentación.

REFERENCIAS

Ausubel, D.P (1976) *Psicología Educativa. Una perspectiva cognitiva*. México:Ed. Trillas.

García, M.R. (2011). Ciencia recreativa: Un recurso didáctico para enseñar deleitando. España: *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*. 8 (Número extraordinario), pp.370 – 392.

Guisasola, J., Zubimendi, J., Almudi, J. y Ceberio, M. (2008). Dificultades persistentes en el aprendizaje de la electricidad. Estrategias de razonamiento de los estudiantes al explicar fenómenos de carga eléctrica. *Enseñanza de las ciencias* 26(2), pp. 177-192.