

La unidad experimento – simulación en la enseñanza informatizada de la física.

Hugo A. Kofman, Emilio J. Tozzi, Pablo A. Lucero
Universidad Nacional del Litoral – Santa Fe, Rca. Argentina
e-mail: hkofman@fiquis.unl.edu.ar

Resumen

Se analiza la relación entre experimento y simulación en la enseñanza de la física, proponiéndose criterios pedagógicos para aunar estas actividades mediante la computadora. Se describe un sistema que permite experimentar con circuitos RC, RL y RLC armados por los alumnos, en los cuales las mediciones de las tensiones que varían en el tiempo se digitalizan con una frecuencia suficientemente elevada de muestreo. La comparación de los datos experimentales con simulaciones realizadas con los correspondientes modelos matemáticos, permite que los alumnos adquieran una noción clara de la relación entre sistema físico real y modelo matemático y pueden discutir las discrepancias en base a los comportamientos de los materiales ante el campo electromagnético.

1. Introducción

Si se realiza un estudio de la temática de los trabajos presentados en estos últimos años a congresos o publicados por revistas especializadas, referidos a la aplicación de métodos computacionales a la enseñanza de las ciencias en el nivel superior, se concluye que las simulaciones dominan ampliamente el panorama. Las mismas pueden presentarse con modalidades variadas, desde aquellos sistemas de edición, relativamente generales, en los que el alumno debe introducir o modificar el modelo matemático, hasta los programas específicos con modelos matemáticos subyacentes. Dentro de esta modalidad prevalecen los applets, desarrollados en lenguaje Java para ser ejecutados vía Internet, que facilitan notablemente su acceso a usuarios ubicados en lugares geográficos distantes.

Enfocando el problema desde una perspectiva pedagógica quizás resulta hoy conveniente mirar hacia atrás, para considerar la posibilidad de integrar con las herramientas actuales, algunas modalidades que con el tiempo han pasado a un relativo segundo plano. Tal es el caso de los sistemas de adquisición de datos experimentales.

Mientras que las simulaciones son generalmente desarrolladas en ámbitos académicos, con mayores o menores aciertos didácticos, son relativamente fáciles de aplicar y muchas veces se consiguen en forma gratuita; los sistemas de adquisición de datos son generados por empresas, no cuentan prácticamente con herramientas didácticas, requieren a menudo de cursos especiales por parte de los docentes que aspiren a manejarlos, e insumen inversiones considerables.

Conscientes de esta problemática y convencidos de la importancia de los trabajos de laboratorio en el aprendizaje de la física, y de la posibilidad de potenciarlos mediante la utilización de la computadora, se ha abordado la tarea de desarrollar sistemas de adquisición y procesamiento de datos, que resulten sencillos y económicos y que permitan

combinar la experimentación con la simulación. Además, se ha puesto atención en el desarrollo de criterios para su aplicación en el aula. Se cuenta para eso con la insustituible posibilidad de contrastar la propuesta desarrollada con su aplicación en el aula. Esa experiencia, en la cual muchas veces son los propios alumnos quienes realizan las sugerencias más interesantes, han permitido alcanzar metas importantes, entre las cuales se encuentra la de haber incorporado estas herramientas a trabajos prácticos regulares de dos asignaturas de física universitaria.

Un indicador que ha permitido evaluar estos desarrollos es su notable aceptación por parte de los docentes que los aplican, ya que los alumnos tienden a incorporar las nuevas tecnologías con mayor naturalidad.

El primer trabajo consistió en la construcción de un equipo para el estudio del movimiento de roto traslación de volantes de distintos momentos de inercia sobre rieles inclinados, en los que se insertaron una serie de sensores opto-electrónicos conectados al puerto paralelo de una computadora. El software elaborado para el mismo, permite la toma de datos (tiempos), y el procesamiento de los mismos, de modo que el alumno pueda contrastar el movimiento real con distintos modelos matemáticos. Así, puede hallar el grado de correlación con cada uno de los modelos, discutir la validez del modelo físico idealizado, las causas de las desviaciones, y de paso obtener los parámetros cinemáticos.

El segundo desarrollo, que luego se describe con mayor amplitud, consiste básicamente en un dispositivo de conversión de datos Analógico Digital de bajo costo, para el estudio experimental de fenómenos eléctricos con tensiones variables, que transcurren en tiempos muy breves, tales como los de los circuitos RC, RL y RLC.

Los trabajos realizados, así como los estudios del marco teórico-pedagógico llevó al grupo de investigación a una serie de conclusiones sobre los criterios a tener en cuenta, tanto en el desarrollo de estos sistemas como en su aplicación en el aula. Uno de las cuales consiste precisamente en que la experimentación y la simulación no constituyen métodos contrapuestos, sino complementarios e integrables a través de los sistemas de adquisición y procesamiento de datos experimentales.

2. El valor del experimento físico

Sin considerar ahora la importancia del experimento físico en lo que hace al desarrollo del conocimiento y de las teorías científicas, se realizará una ligera referencia a su dimensión didáctica. Está consensuado en el ámbito académico y forma parte de la experiencia cotidiana de los docentes, la enorme importancia que tiene para el aprendizaje, la experimentación directa del alumno con el sistema en estudio. Esa actividad, en la medida que sea abordada con una metodología adecuada, resulta insuperable en cuanto a la motivación y a la internalización de los fenómenos, elementos indispensables para la conceptualización de las distintas leyes y la generación de los modelos mentales correspondientes.

Por ejemplo, no hay simulación que pueda superar el valor didáctico de la manipulación de un banco óptico para formar imágenes con lentes o espejos.

3. La Simulación

Esta actividad, que se realiza generalmente en computadoras, consiste en experimentar con un modelo matemático, el cual a su vez deriva de un modelo físico idealizado. La simulación se puede realizar de diversas maneras: en forma independiente de la experiencia, antes o después del experimento, o en íntima relación con el mismo.

Luego del experimento físico tradicional, se pueden realizar simulaciones que permitan extender el estudio de los fenómenos a ámbitos donde no pueden llegar los equipos experimentales. Por ejemplo, después de hacer un experimento de difracción con ranuras y redes de difracción, se trabajó con una simulación, lo cual permitió a los alumnos alcanzar una visión mas amplia de estos fenómenos, al poder variar a voluntad parámetros que no se podían modificar en la experimentación.

Otra manera de plantear la relación Experimento-Simulación es a través de la misma computadora, es decir, realizar las experiencias con sistemas de adquisición de datos y hacer las simulaciones en forma casi simultánea. Tal es la propuesta didáctica que se desarrolla en este trabajo.

4. Experimentos computarizados. Conceptos pedagógicos.

Los experimentos controlados por computadora responden a una tecnología hoy ampliamente disponible, cuyo aprovechamiento para la enseñanza es conveniente desde muchos puntos de vista. Sin embargo, no se trata sólo de una cuestión tecnológica, sino que supone un definido enfoque pedagógico, en la medida que esta forma de llevar a cabo los experimentos, podría llegar a reemplazar los métodos tradicionales de laboratorio.

Para analizar las implicancias de esta nueva modalidad para la enseñanza, es necesario considerar previamente las características fundamentales de los métodos computacionales frente a las técnicas tradicionales de experimentación y medición. Estas se pueden sintetizar en:

1. Mayor exactitud en general.
2. Mayor velocidad y/o frecuencia de adquisición.
3. Posibilidad de procesamiento de datos en línea o en forma inmediata.
4. Obtención casi automática de gráficas y resultados numéricos.
5. Menor manipulación directa de los sistemas físicos.
6. Posibilidad de alcanzar una mayor motivación de los alumnos.

La mayor parte de estos aspectos pueden representar ventajas desde el punto de vista didáctico, según la forma de abordar las aplicaciones. La mayor exactitud puede mejorar los resultados, pero también puede hacer ociosa la repetición de experiencias y el análisis estadístico de los errores. La mayor velocidad puede hacer menos tedioso el trabajo pero también puede enmascarar las operaciones realizadas. La obtención automática de gráficas y resultados puede ahorrar mucho trabajo repetitivo, permitiendo que el alumno centre su atención en los aspectos conceptuales, pero también puede automatizar de tal manera la experiencia que el alumno no sepa como definir una escala, construir una gráfica

o realizar un cálculo de errores. La menor manipulación directa de los sistemas físicos puede hacer que el alumno pierda noción de las magnitudes que se miden.

Por el contrario, medir un intervalo de tiempo con cronómetro de mano puede resultar poco preciso, pero facilita la familiarización del alumno con esa magnitud. Sería como un “anclaje” en la realidad. Lo contrario podría ocurrir a través de la medición computarizada, en la medida que no se comprenda lo que hace. Un ejemplo podría ser el del estudio del movimiento de cuerpos con un sistema que mide distancias a través del rebote de ondas ultrasónicas y tiempos por la misma computadora, experiencia que puede tornarse abstracta para el alumno, si no se le explican los fundamentos del método.

Por otra parte, la llamada Motivación Intrínseca definida por Larkin y Chabay (1996) como “*la voluntad a involucrarse en la actividad por si misma* y no por influencia de factores externos, depende de tres condiciones, que pueden darse conjuntamente o no: “*Desafío, Curiosidad y Control*”. El diseño de los dispositivos experimentales y la modalidad de trabajo con los alumnos, debieran contemplar los aspectos mencionados.

El marco teórico de la teoría constructivista del aprendizaje, aunado a la experiencia realizada con grupos de alumnos en el laboratorio nos permiten sugerir al respecto las siguientes propuestas:

1. Combinar cierta práctica tradicional con la experiencia automatizada, de manera que el alumno adquiera una noción clara de las magnitudes medidas y una capacitación básica de manipulación de instrumentos tradicionales (*anclaje* en conocimientos previos).
2. Instruir al alumno, en forma sintética, sobre los fundamentos de la técnica de adquisición y transferencia de datos entre el sistema y la computadora, de manera que no mire como algo extraño a los elementos electrónicos de conexión, que pueda diferenciar datos analógicos de digitales, y conocer distintos accesos de la computadora para las conexiones exteriores (*Control* del sistema que estudia).
3. Planificar la actividad para que sea el propio alumno quien manipule el sistema de experimentación y la computadora (*Control* del sistema).
4. Aprovechar la velocidad y exactitud de medición de la computadora para realizar una variedad de experiencias que impliquen una mayor complejidad, en la que se modifiquen distintos parámetros y se puedan llegar a conclusiones que serían prácticamente inalcanzables a través de técnicas manuales, tales como el planteo de situaciones límites (*Curiosidad* por conocer aspectos no triviales).
5. Plantear actividades que trasciendan la simple realización de operaciones absolutamente programadas, buscando por el contrario que el alumno pueda tomar decisiones en el desarrollo de la práctica experimental, para lo cual se podrán proponer problemas, preguntas o incógnitas a develar a través de la experimentación (*Desafío* para resolver situaciones problemáticas).
6. Promover el trabajo colaborativo dentro de cada grupo de alumnos, y la comparación de los resultados encontrados entre distintos grupos (*Desafío* a nivel de cierta confrontación)

5. Aplicación a un sistema para experiencias con circuitos RLC

Algunas de las dificultades experimentales que se presentan habitualmente en los trabajos prácticos con circuitos RC, RL, RLC son las siguientes:

- a) Uno de los métodos habituales hace uso de osciloscopio y un equipo generador de onda rectangular. Si el alumno no posee práctica previa en el manejo del instrumento se distrae del problema físico, y además el registro y tratamiento de los datos es laborioso si se quiere llegar a resultados cuantitativos.
- b) Otro método experimental está basado en la utilización de un amperímetro y un cronómetro para experiencias de circuito RC, sin embargo el mismo no resulta aplicable para experiencias RL o RLC, debido a sus pequeñas constantes de tiempo. A pesar de esto, se considera conveniente realizar algunas experiencias de este tipo a fin de que el alumno tome contacto con las magnitudes a medir, aunque este método está limitado a casos de RC con constantes de tiempo elevadas y también a un pequeño número de experiencias por su consumo de tiempo.
- c) En ocasiones los componentes se manipulan sueltos o bien se conectan mediante pequeñas placas experimentales para electrónica o “protoboards”. Ambos enfoques dificultan la visualización de los circuitos que se arman.

Para superar las dificultades antes mencionadas se construyó un sistema con las siguientes características:

- Un tablero con componentes fijos de distintos valores que se dispusieron espaciadamente de manera que el alumno pueda armar y visualizar fácilmente la totalidad del circuito. Se incluye una pequeña batería.
- Un sistema de adquisición y digitalización de datos analógicos por computadora de conexión muy sencilla, que cuenta con un relé de conexión que se controla desde la computadora.
- Un software de manejo sencillo, prácticamente intuitivo, que permite:
 - 1- Visualizar la gráfica de tensión en función del tiempo, medir valores particulares y grabar datos que pueden ser procesados con programas utilitarios corrientes.
 - 2- Realizar simulaciones con parámetros fijados a voluntad (R, L, C, E), de manera que sus gráficas se puedan ver superpuestas con las experimentales y se obtenga el coeficiente de correlación.

6. Aplicación del dispositivo en la clase de trabajos prácticos de circuitos RC.

Se forman grupos pequeños, preferentemente de no más de 4 alumnos por máquina, a fin de permitir la participación de todos los integrantes durante las experiencias. Se suministra a los alumnos una guía que explica sucintamente el funcionamiento del sistema y se propone una serie de actividades que incluyen:

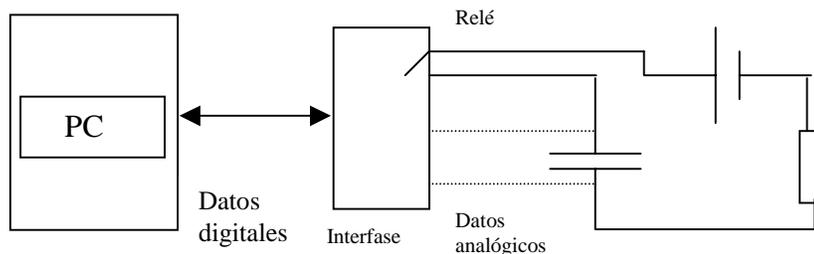
- Realización de una serie de mediciones con diferentes valores de los componentes para cada tipo de circuito, para obtener conclusiones cualitativas.

- Obtención de las constantes de tiempo del circuito a través de distintos métodos:
 - 1- Lectura del tiempo para un valor de tensión equivalente al 63,2 % de su valor final, lo cual se realiza directamente con un cursor que se desplaza sobre el gráfico experimental.
 - 2- Simulación del fenómeno con distintos valores de los parámetros R y C y E, hasta que la curva de simulación se acerque lo máximo posible a la experimental.
 - 3- Exportación de los datos experimentales a una planilla de cálculo, tal como el Origin o Excel y realización de un ajuste (“fiteo”) con una función adecuada.
 - 4- Discusión de las diferencias encontradas entre los distintos métodos y entre la curva experimental y la obtenida por simulación, lo cual involucra el análisis de los modelos físicos ideales que se han considerado y el comportamiento de los sistemas reales.
- Planteo de problemas, por ejemplo: Armar una experiencia que permita ver la carga y posterior descarga de un condensador en una misma experiencia.

El docente presta atención a aquellos grupos de alumnos que no pueden avanzar o presentan dudas, instándolos a formular hipótesis, proponer alternativas de acción y ejercitar sus propios recursos intelectuales. Posteriormente se efectúa una discusión general en la que se hace hincapié en los aspectos conceptuales y procedimentales.

7. Desarrollo de un Trabajo Práctico

Los alumnos construyen el siguiente circuito:



Luego de realizar las experiencias cualitativas que permiten discutir la influencia de los valores de R y C en la constante de tiempo, los alumnos conectan un resistor cuyo valor nominal es de $22\text{ K}\Omega$ y un condensador cuyo rótulo indica $22\text{ }\mu\text{F}$. Realizan la experiencia de carga, con distintos tiempos, hasta que eligen un tiempo total de 3.5 segundos, dado que así pueden ver bien la curva exponencial de carga y llegan al valor máximo. En la Fig 1 se puede observar la curva experimental (exp) y una simulación superpuesta (sim). Esta última fue obtenida con los valores $R = 20\text{ K}\Omega$, $C = 40\text{ }\mu\text{F}$ $E = 5,437\text{ V}$. El software indica un grado de correlación de 0,9595, lo cual representa un relativo alejamiento entre ambas curvas.

La variación de parámetros, conjuntamente con la observación de las gráficas y del coeficiente de correlación, permite a los alumnos un importante acercamiento conceptual al sistema.

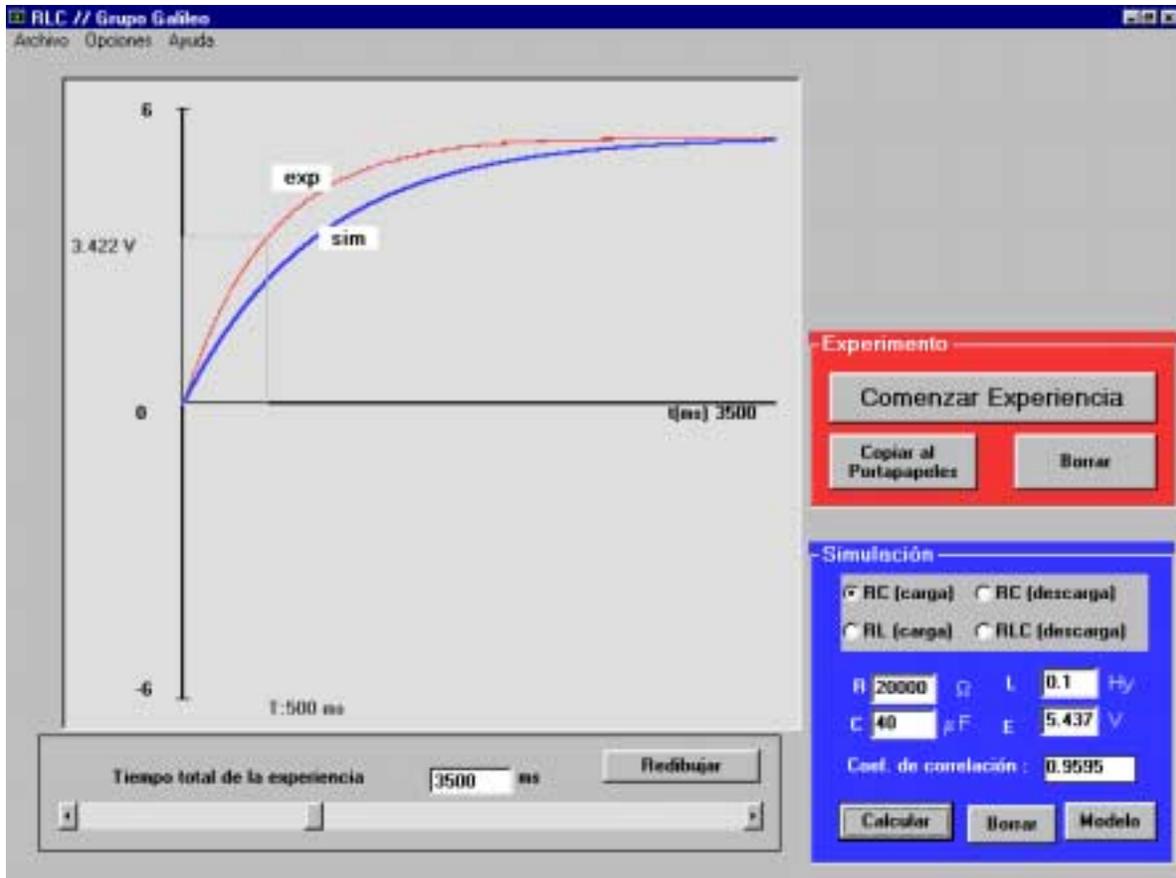


Fig 1.- Visualización de la gráfica experimental y una simulación para un circuito RC en carga

Los alumnos miden (con el cursor) el valor de $E = 5,438$ volt (fuente), luego calculan el 62,3 % de este valor (3,437 volt), colocan el cursor en la posición más cercana a este valor (ver gráfico anterior) y leen en abscisa un tiempo de 500 mS. Este sería el primer valor obtenido de la constante de tiempo del circuito. Comparado con el obtenido multiplicando los valores nominales de los componentes utilizados ($R.C = 484$ mS) se observa una diferencia del 3.2 %.

Posteriormente escriben distintos valores en el cuadro de la simulación y obtienen distintas gráficas hasta llegar a la máxima correlación posible (0,9968) con los siguientes valores: $E = 5,438$ V , $R = 22,35$ K Ω , $C = 22.5$ μ F. La constante de tiempo obtenida de esta manera es de: $R.C = 503$ mS

Finalmente se exportan los datos al programa Origin, y se realiza el ajuste de datos, obteniéndose así una constante de tiempo de 506,63 mS.

Este último valor, luego de una discusión basada en la teoría de errores, es tomado como el “verdadero”, ya que es el valor obtenido por el método que brindaría mayor exactitud. Se plantea como propuesta superadora la de realizar una secuencia de experiencias en las mismas condiciones y promediar las constantes de tiempo obtenidas mediante el último método.

A continuación se discuten los errores obtenidos mediante los otros métodos, cayéndose en la cuenta que los valores nominales de los componentes están dados con tolerancias (5% para la resistencia y 10% para el condensador) y que esto explica una de las fuentes de error encontradas. Las otras se discuten en términos de precisión de los métodos de medición utilizados.

8.- Un ejemplo con circuitos RLC

Este es el caso en que aparece con mayor notoriedad las discrepancias entre el modelo físico idealizado y el comportamiento del sistema real. La experiencia que aquí se describe se ha realizado con un condensador de $22 \mu\text{F}$ microfaradios, conectado a un inductor de los utilizados para tubos fluorescentes, con núcleo de hierro laminado. Se ha medido su resistencia ($R = 53,5 \Omega$) y se sabe que el valor de la inductancia supera 1 Hy .

Realizadas las experiencias y algunas simulaciones, se pueden observar las gráficas siguientes:

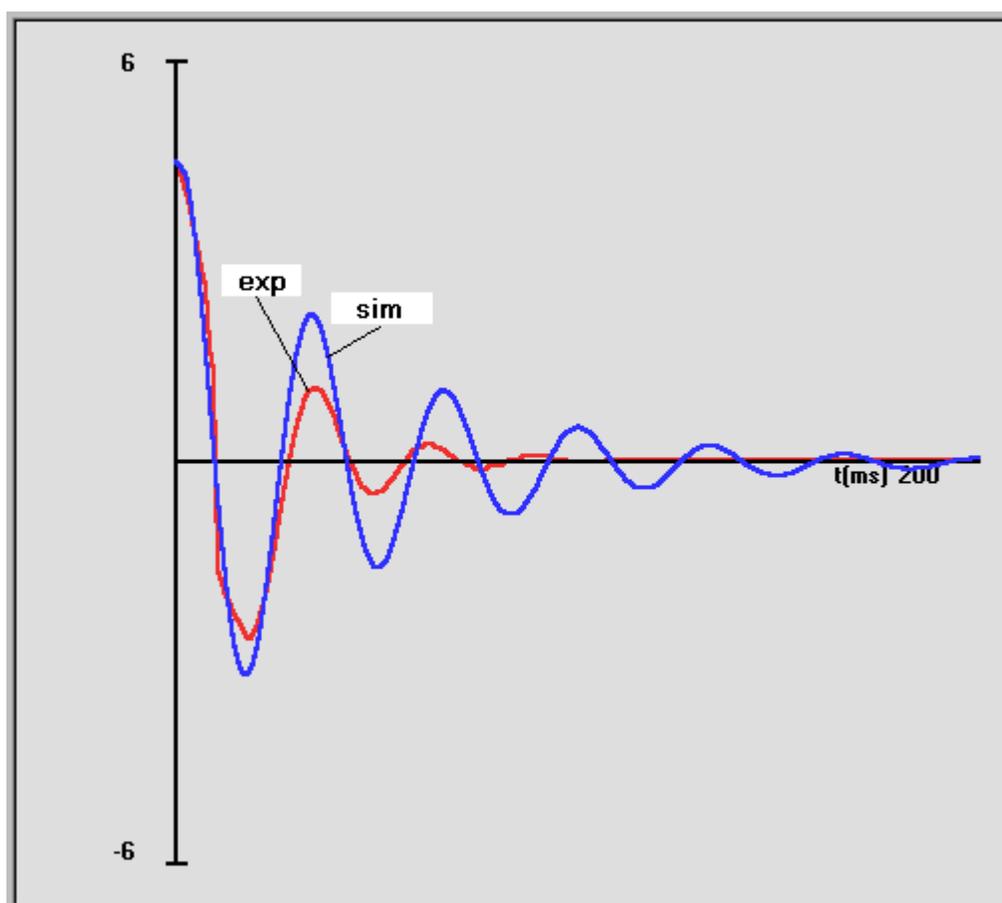


Fig 2.- Experimento y simulación de un circuito RLC

La simulación mostrada se ha obtenido con los siguientes valores: $R = 53,5 \Omega$, $C = 22 \mu\text{F}$, $E = 4,52 \text{ V}$, $L = 1,25 \text{ Hy}$. Este último valor fue el que permitió acercarse más a la

frecuencia de ambas gráficas. Se realizaron, además, otras simulaciones, variando todos los parámetros, pero en ningún caso se pudo obtener un acercamiento de las curvas superior al que se observa. La simulación es realizada con la expresión:

$$v = V_m e^{-\alpha t} \cos \omega t \quad (1) \quad \text{con:} \quad \alpha = \frac{R}{2L} \quad (2) \quad \text{y} \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \quad (3)$$

De la comparación de las gráficas anteriores surgen las siguientes observaciones:

- 1- La frecuencia angular (ω), que de acuerdo a la expresión (3) debería ser constante, muestra una variación a lo largo del tiempo: aumenta a medida que la oscilación eléctrica se va amortiguando.
- 2- La oscilación se amortigua más rápidamente de lo que se podría predecir mediante la simulación.

La discusión sobre las causas del alejamiento del modelo ideal se da en términos del comportamiento del material del núcleo del inductor.

El aumento de la frecuencia angular es consecuencia de la disminución del coeficiente de autoinducción, lo cual se puede explicar por la forma que tiene la curva de magnetización del material ferromagnético. Para muy bajos valores de la excitación magnética, el campo magnético crece muy lentamente (disminución de L para corrientes pequeñas), para valores intermedios de excitación el campo crece más rápidamente y finalmente se llegaría a la zona de saturación, tramo este que no se manifestó en esta experiencia.

Por otra parte, la mayor velocidad de amortiguamiento se explica como una consecuencia de la disipación de energía en el núcleo (por histéresis y por corrientes parásitas) y no sólo por efecto Joule en la resistencia, tal como preveía el modelo ideal.

9.- Conclusiones

La evaluación de las actividades realizadas con varios grupos de alumnos, integrando el experimento con la simulación, nos llevó a la conclusión de que esta modalidad permite una mejor conceptualización de los fenómenos y una mayor comprensión de la función de los modelos físicos y matemáticos utilizados. Por otra parte, la motivación de los alumnos al trabajar con estos sistemas informatizados se constituye en un importante factor que dinamiza la clase y facilita el aprendizaje. Si bien los alumnos no sabían manejar el utilitario para realizar el ajuste de datos, lo aprendieron rápidamente, y no tuvieron ningún inconveniente en el manejo del sistema descrito en el trabajo.

10.- Bibliografía:

-DE CORTE, ERIK. 1996. *Aprendizaje apoyado en el computador: una perspectiva a partir de investigación acerca del aprendizaje y la instrucción*. Congreso RIBIE/96 (Colombia).

- LARKIN, HILL H., CHABAY, RUTH W. (Madrid 1996), *“La Investigación sobre la enseñanza del pensamiento científico: implicaciones para la enseñanza basada en*

computadoras". Recopilación de Resnick, Lauren B. y Klopfer Leopold E, "Curriculum y cognición".Editorial AIQUE.

-WINDSCHITL, M. y ANDRE T. 1996. *Using Computer Simulations to Enhance Conceptual Change: The Roles of Constructivism Instruction and Student Epistemological Beliefs*, Journal of Research in Science Teaching, Vol. 35, Issue 2, pp. 145 – 160.

-LARSON L. E. 1991. *Experimental Physics*. (Denison University)

- STAUDENMAIER. H.M. 1993. *Physics Experiments Using PCs*. (Springer)