

LABORATORIO VIRTUAL DE ELECTRICIDAD VÍA WEB

J.A. GÓMEZ TEJEDOR¹, C. BARROS VIDAURRE¹, G. MOLTÓ MARTÍNEZ²

¹*Departamento de Física Aplicada. Facultad de Informática. Universidad Politécnica de Valencia. España.*

²*Departamento de Sistemas Informáticos y Computación. Universidad Politécnica de Valencia. España.*

En esta comunicación presentamos un programa accesible vía web que simula un laboratorio de electricidad bastante completo. El programa permite realizar el montaje de circuitos tanto en corriente continua como en corriente alterna, con resistencias, condensadores y autoinducciones, así como medidas con un voltímetro analógico, multímetros digitales y osciloscopio. El programa está orientado a la docencia de prácticas, y se encuentra disponible en la Web de la Universidad, de modo que cualquier estudiante puede acceder al mismo a través de Internet para realizar las prácticas. El programa permite realizar el montaje experimental conectando los aparatos y componentes tal y como se haría en el laboratorio, mostrando una imagen parecida al aparato real. Una característica del programa es que el profesor puede configurarlo mediante la edición de un fichero de texto, eligiendo los componentes y aparatos adecuados a la práctica que se desea realizar.

1. Introducción

Los estudiantes que cursan el laboratorio de la asignatura Fundamentos Físicos de la Informática o similares, deben familiarizarse con una serie de aparatos, equipamiento y técnicas de trabajo totalmente nuevas para la mayoría de ellos. Este es básicamente un aprendizaje de “destrezas”. En este aprendizaje, el alumno se encuentra con la falta de herramientas para su trabajo individual, puesto que no tiene la posibilidad de realizar las prácticas fuera del laboratorio. También existe el problema de que algunos alumnos no tienen fácil acceso al horario asignado al laboratorio.

Con el programa que se presenta en este trabajo, que llevamos desarrollando durante los últimos años [1-4], se pretende dotar al alumno de una herramienta útil y versátil para facilitar su estudio individual, y solventar los problemas comentados. Dicho programa, accesible a través de Internet, está permitiendo a los alumnos la realización remota de algunas prácticas de laboratorio. Estas prácticas basadas en Internet pueden ser, tanto complementarias a la realización presencial, de forma que los estudiantes puedan utilizar dicho programa para trabajar las prácticas de laboratorio antes o después de su realización, como alternativa a la realización presencial, o de forma mixta, admitiendo la posibilidad de que los alumnos realicen determinadas prácticas de forma presencial, y otras de forma no presencial.

Este trabajo se enmarca dentro de una experiencia de docencia de la asignatura de Fundamentos Físicos de la Informática a través de Internet [5], que incluye la docencia desde el curso 2000-01 de un grupo No Presencial de la asignatura en la Facultad de Informática, y otro en la ETS de Informática Aplicada de la UPV.

Esta comunicación se engloba en la tendencia actual de la aplicación de las nuevas tecnologías a metodologías activas de aprendizaje, para potenciar así el autoaprendizaje y el aprendizaje integral de los estudiantes. En esta línea, este trabajo es pionero en su campo, puesto que existen muy pocos centros que dispongan de una herramienta como la que se está desarrollando.

2. Innovaciones metodológicas

Este trabajo supone una importante innovación en la metodología de enseñanza de prácticas de laboratorio, puesto que brinda la posibilidad al estudiante de realizar prácticas de laboratorio desde cualquier ordenador conectado a Internet.

El laboratorio virtual permite que el alumno aprenda mediante los tutoriales del programa el uso de los aparatos del laboratorio, y posteriormente pueda practicar su manejo de forma virtual hasta comprender adecuadamente todas y cada una de sus funciones.

El programa permite que el alumno haga las prácticas de laboratorio de forma no presencial, individualmente o en equipos, y sin un horario prefijado. De este modo, los alumnos pueden adecuar la realización de las prácticas a su propio ritmo de trabajo.

Podría plantearse la duda de si, al trabajar en el laboratorio virtual, los alumnos serían luego capaces de manejar los aparatos disponibles en el Laboratorio real, es decir, si tendrían dificultades en trasladar lo virtual a lo real. Si así fuere, podría establecerse la realización de algunas prácticas de forma virtual, y complementarlas con la realización de otras de forma real, con el fin de no perder el contacto con los propios aparatos del Laboratorio.

Además, el laboratorio virtual permite la posibilidad de que los objetivos de algunas prácticas sean más ambiciosos. Se podría exigir al alumno que previamente a la realización de una práctica, en el laboratorio virtual ejercitara alguna de las destrezas que va a necesitar para su realización, de modo que pudiera realizar más tareas y cumplir así unos objetivos más amplios.

El estudiante, con posterioridad a su paso por el laboratorio podría repasar conceptos y destrezas ya adquiridas de cara a preparar un examen, o de cara a preparar prácticas que requieran conocimientos estudiados con anterioridad.

Finalmente, el empleo de una herramienta de estas características, permite la posibilidad de realizar las prácticas a alumnos que por cualquier motivo tengan dificultades en acudir al laboratorio.

3. Características de la aplicación Laboratorio virtual

3.1 El lenguaje de programación Java

Para este proyecto se ha elegido el lenguaje de programación Java por varias razones. En primer lugar, al desarrollar el programa en este lenguaje, conseguimos que se pueda ejecutar en cualquier plataforma para la que exista una implementación de la máquina virtual Java [6]. En la actualidad, existen multitud de implementaciones de dicha máquina virtual, lo que nos permite que la aplicación del Laboratorio Virtual pueda ser considerada como multiplataforma, permitiéndose la ejecución, por ejemplo, tanto en plataformas Windows como en entornos Linux.

Además, otra de las ventajas que nos ofrece este lenguaje de programación, es que permite que la aplicación diseñada pueda ser ejecutada desde un navegador Web equipado con una implementación de la máquina virtual [6].

Por último, hay que destacar que al ser Java un lenguaje orientado a objetos, la aplicación se ha desarrollado aprovechando todas las ventajas que ofrece este lenguaje. De hecho, cada uno de los componentes se puede modelar como una clase Java diferente, permitiendo una separación de

funcionalidad entre componentes y, de esta manera, conseguir un código legible y fácil de mantener.

3.2 Funcionalidad

El programa laboratorio virtual permite, actualmente, el montaje de circuitos de corriente continua y corriente alterna sobre la placa de conexiones con cables, resistencias, condensadores y autoinducciones, la medida de tensiones en corriente continua con el voltímetro analógico. Con los multímetros digitales se puede medir voltajes e intensidades tanto en corriente continua como alterna, así como resistencias. Los elementos que se ha simulado, son:

Tableta de conexiones que dispone de 6 nudos eléctricos, cada uno de los cuales tiene cuatro clavijas, permitiendo el montaje de gran variedad de circuitos. Se pueden utilizar dos modelos diferentes de tableta de conexiones.

Resistencias, condensadores y autoinducciones, de valor nominal conocido, y valor real desconocido: el programa asigna a cada impedancia un valor real aleatorio alrededor del valor nominal, y comprendido entre los márgenes de tolerancia de la misma (normalmente 5%). Este valor real es desconocido para el usuario, conociéndose únicamente el valor nominal. Además, se pueden utilizar también resistencias incógnitas, cuyo valor nominal es desconocido para el usuario.

Cables, para la realización de montajes.

Fuente de alimentación en corriente continua: constituida por tres fuentes de alimentación independientes, dos de ellas suministran una diferencia de potencial variable entre 0 y 30 V, y la tercera suministra un voltaje constante de aproximadamente 5 V. En el programa, la fuente de alimentación de 5 V se modela como un generador de intensidad: dicho generador de intensidad posee una intensidad en cortocircuito de 0,4618 A y resistencia interna de 10,9 Ω .

Generador de funciones para la realización de circuitos en corriente alterna. Permite generar una señal sinusoidal o una onda cuadrada, de amplitud y frecuencia deseada.

Multímetro digital para la medida de diferencia de potencial e intensidades en corriente continua y corriente alterna, así como resistencias en la función de óhmetro. En los cálculos se tiene en cuenta su resistencia interna (10 M Ω en modo voltímetro, y 0,003 Ω en modo amperímetro).

Voltímetro analógico: simula un voltímetro analógico de resistencia interna pequeña (15 k Ω), muy apropiado para observar los errores sistemáticos.

Osciloscopio: el programa utiliza el osciloscopio virtual desarrollado por J.V. Benlloch Dualde [7], para la medida de diferencias de potencial en función del tiempo.

El programa realiza todos los cálculos de tensiones e intensidades en el circuito mediante el método matricial de las tensiones de nudo, tanto en corriente continua como en corriente alterna sinusoidal [8].

La resolución de circuitos con el generador suministrando una onda cuadrada merece especial atención. En este caso, el programa realiza un desarrollo de Fourier de dicha onda cuadrada, el cual viene dado por la expresión [9]:

$$u(t) = \frac{4U_m}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\cos[(2n+1)\omega_0 t - 90^\circ]}{2n+1} \quad (1)$$

Siendo U_m la amplitud y ω_0 la pulsación de la señal. Por ejemplo, tomando los 100 primeros términos de la serie, se obtiene el resultado que aparece en la figura 1.

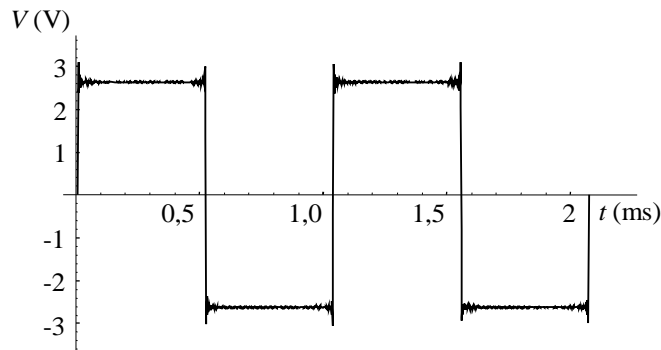


Figura 1. Señal de entrada rectangular, calculada con los primeros 100 términos de la serie.

Con esta tensión de entrada, el programa resuelve el circuito para cada uno de los armónicos del desarrollo, y finalmente suma el resultado obtenido para determinar la tensión en cada uno de los nudos del circuito. Cabe decir, que con los 50 primeros términos de la serie se obtiene una representación adecuada de la diferencia de potencial en bornes del generador, y con solo 10 términos de la serie, aunque la representación de la diferencia de potencial en bornes del generador no es muy buena, el resultado de la diferencia de potencial en bornes del condensador en un circuito RC se corresponde muy bien con el resultado real obtenido en el laboratorio. La elección del número de términos que se utilizan en este desarrollo de Fourier depende de la velocidad del ordenador donde se vaya a ejecutar el programa, siendo 50 un valor adecuado en la mayoría de las ocasiones, puesto que combina un tiempo de ejecución adecuado, junto a una buena representación de la tensión.

De esta forma, en este momento, gracias al laboratorio virtual, se puede realizar ya la mayoría de las prácticas de la asignatura Fundamentos Físicos de la Informática [10], y es fácilmente configurable para realizar otras prácticas de características análogas:

- Equipos y aparatos de medida. Montaje de circuitos en corriente continua. Medida de diferencia de potencial, intensidad y resistencias.
- Evaluación de sistemas de medida de resistencias: montaje largo y montaje corto. Errores accidentales y errores sistemáticos.
- Osciloscopio. Medida de amplitud, periodo y diferencia de fase.
- Fenómenos transitorios. La carga y descarga de condensadores. Medida de la constante de tiempo. Determinación de la capacidad de un condensador mediante la medida de la constante de tiempo.
- Resonancia en corriente alterna. Medida de la impedancia en un circuito RLC serie como función de la frecuencia. Filtros: filtro pasa baja, pasa alta y pasa banda.

Así mismo, se ha elaborado documentación para aprender el funcionamiento del programa, y guiar

al alumno en la realización de las prácticas, así como un manual del profesor que explica como configurar el programa para la implementación de nuevas prácticas de manera sencilla.

Se puede acceder al programa y a la documentación correspondiente a través de la página web: <http://personales.upv.es/jogomez/Labvir/>. A continuación se muestran algunos ejemplos de su funcionamiento.

En primer lugar mostramos el montaje corto (figura 2) para la medida de resistencias mediante la medida de la diferencia de potencial en bornes de la resistencia, y la intensidad que circula por el circuito.

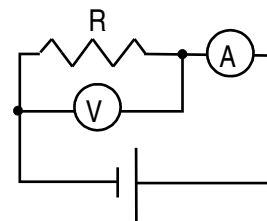
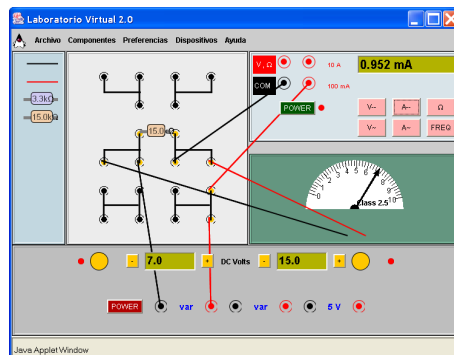


Figura 2. Laboratorio virtual: montaje corto para la medida de resistencias.

En este caso se ha situado el generador con una tensión de salida de 7,0 V, y se obtiene una medida de 7 V en el voltímetro analógico, y 0,952 mA en el amperímetro digital. Cabe destacar el error sistemático que aparece debido a que se ha utilizado una resistencia de 15 kΩ, del mismo orden que la resistencia interna del voltímetro analógico, obteniendo entonces una resistencia medida de:

$$R = \frac{V}{I} = 7,4 \text{ k}\Omega \quad (2)$$

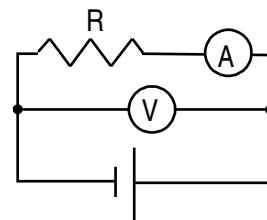
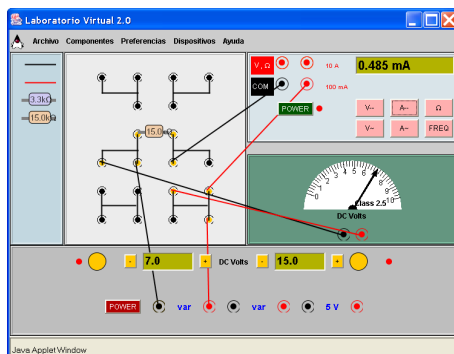


Figura 3. Laboratorio virtual: montaje largo para la medida de resistencias.

Si repetimos el experimento, pero situando ahora el voltímetro tal y como aparece en la figura 3 (montaje largo), la medida se aproxima al resultado esperado, teniendo en cuenta que se ha utilizado una resistencia de valor nominal 15 kΩ con un 5% de tolerancia.

$$R = \frac{V}{I} = 14,4 \text{ k}\Omega \quad (3)$$

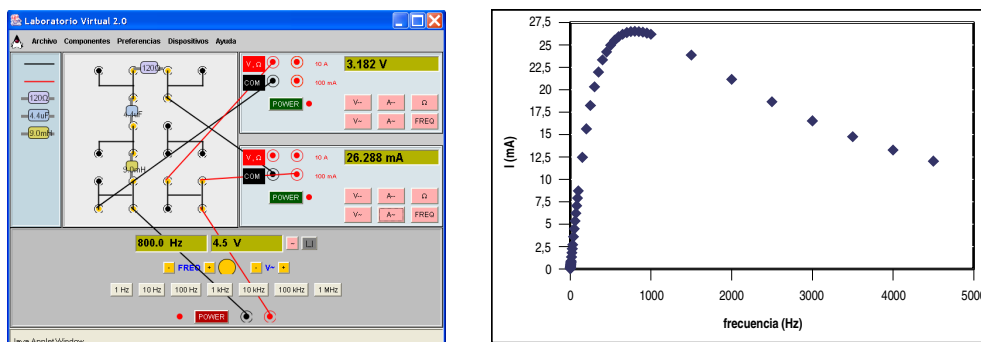


Figura 4. Circuito *RLC* serie en corriente alterna Intensidad medida, como función de la frecuencia. $R = 120 \Omega$, $C = 4,4 \mu\text{F}$ y $L = 9 \text{ mH}$.

En la figura 4 se muestra un ejemplo de funcionamiento del programa en corriente alterna. A la izquierda aparece el circuito *RLC* serie en corriente alterna, y a la derecha la intensidad medida, como función de la frecuencia. $R = 120 \Omega$, $C = 4,4 \mu\text{F}$ y $L = 9 \text{ mH}$, donde se observa claramente la frecuencia de resonancia alrededor de 800 Hz.

3.3. Integración con la web

El programa desarrollado, al haber sido realizado mediante el lenguaje de programación Java, se ha adaptado de manera sencilla a un entorno web. Mediante el empleo de las etiquetas applet que ofrece el lenguaje html, resulta posible invocar la ejecución del programa desde un navegador de Internet.

Hay que destacar que el programa ha sido diseñado de manera que permita modificar su comportamiento básico por parte de usuarios no expertos, es decir, sin necesidad de modificar el código fuente del programa. Esto permite que cualquier persona, pueda crear una página Web en la que se llame al programa, pero modificando los argumentos que recibe el mismo. Este comportamiento es de extrema utilidad y directamente aplicable al caso de las prácticas con alumnos, donde para cada práctica nos puede interesar emplear unos instrumentos electrónicos u otros, utilizar determinadas resistencias, o cualquier otra configuración que se nos ocurra.

Concretamente, el programa permite la modificación de los siguientes parámetros:

- Resistencias, condensadores y autoinducciones: Se puede especificar una lista de estos elementos, indicando su valor nominal, acompañadas de su tolerancia. Si no se especifica la tolerancia, se asume que es un 5%. En el caso de las resistencias, si se introduce una tolerancia mayor de 19%, entonces se considera que es una resistencia incógnita, cuyo valor no es conocido por el alumno. En el momento de la ejecución del programa, a estos componentes se les asigna un valor aleatorio comprendido entre los márgenes de tolerancia.
- Tableta de conexiones: se puede seleccionar entre dos tipos diferentes de tabletas de conexiones. Además se puede decidir si el usuario ve las conexiones eléctricas entre los distintos puntos de la tableta o no.
- Generador: se puede seleccionar entre un generador de corriente continua, y un generador de funciones. El generador de corriente continua posee tres salidas independientes. Concretamente, la salida de 5 V, se modeliza como un generador de intensidad. Se puede definir la intensidad en cortocircuito de dicho generador, y su resistencia interna. En el caso del generador de funciones, como ya se ha comentado anteriormente, la onda cuadrada se simula mediante el desarrollo de Fourier correspondiente. Se puede seleccionar también el número de términos que se utiliza en dicho desarrollo de Fourier.

- Configuración del voltímetro analógico: Se puede especificar el valor máximo que puede alcanzar la escala del voltímetro analógico, su error de clase, las divisiones de la escala y su resistencia interna. El error de clase del voltímetro es visible al alumno para que pueda realizar el cálculo de errores en la medida de la tensión en el voltímetro, pero no afecta en los cálculos.
- Dispositivos: Permite especificar la configuración de dispositivos que queremos que se muestre al comienzo de la aplicación. Se puede elegir entre emplear los dos multímetros digitales, o un multímetro digital junto con el voltímetro analógico o el osciloscopio.
- Configuración del multímetro digital: se puede establecer el valor de la resistencia del multímetro digital cuando funciona en modo voltímetro, y cuando funciona en modo amperímetro.

4. Conclusiones y trabajo futuro

Durante el curso 2005-06, el programa se ha probado con un grupo numeroso de alumnos. No se ha realizado ningún tipo de encuesta que permita una valoración objetiva de la opinión de estos alumnos. Sin embargo, tras escuchar sus opiniones en clase, sí que podemos decir que los alumnos han acogido el simulador con agrado e interés. En general les ha parecido una herramienta útil, aunque han comentado la necesidad de mejorarlo para solventar algunos problemas de funcionamiento. Después de haber realizado alguna práctica en el laboratorio virtual, esos alumnos han pasado al laboratorio real, y hemos observado como lo aprendido mediante el laboratorio virtual les ha ayudado en el trabajo con los montajes y aparatos reales.

Comentar también, que la web está operativa desde hace menos de dos años, y ha recibido desde entonces más de 5000 visitas.

Como trabajos futuros, se pretende dotar de mayor funcionalidad al simulador, incorporando nuevos componentes y dispositivos, para aumentar el número de prácticas que se pueden realizar con el programa:

- Diodos para obtener su curva característica, y quizá también transistores.
- Cronómetro para realizar la práctica de la carga y descarga del condensador mediante un multímetro y un cronómetro.
- Simular un procedimiento automática de toma de datos (diferencia de potencial en función del tiempo) para realizar la práctica de carga-descarga del condensador mediante un tercer método.
- Incluir resistencias variables, para realizar una práctica del puente de Wheatstone.

Es todavía mucho el camino que queda por recorrer, pero indudablemente los resultados obtenidos hasta ahora, y las grandes posibilidades que ofrece un proyecto como este, invitan a continuar el camino hasta el final.

Referencias

- [1] J.A. Gómez Tejedor y otros. *Laboratorio virtual*. Libro de actas de las “I Jornadas de Innovación Educativa. Metodologías activas y evaluación”. páginas 559-564. Editado por el Instituto de Ciencias de la Educación y el Vicerrectorado de Coordinación Académica y Alumnado de la Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 84-9705-187-4
- [2] J.A. Gómez Tejedor y G. Moltó Martínez. *Laboratorio virtual*. Libro de actas de las “III Jornadas de didáctica de la física, II encuentro de investigación”. páginas 189-192. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. ISBN: 84-9705-192-0
- [3] G. Moltó Martínez y J.A. Gómez Tejedor. *Laboratorio virtual*. Libro de actas del “VI Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica”. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 84-688-7339-X
- [4] J.A. Gómez Tejedor, C. Barros Vidaurre y G. Moltó Martínez. *Laboratorio virtual*. Libro de actas de “IV Jornadas de Didáctica de la Física, III Encuentros de Investigación”, páginas 197-202. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 84-9705-833-X
- [5] J. Mas y otros. *Una experiencia sobre enseñanza distancia de asignaturas básicas de primer curso*. Libro de actas de las I jornadas de innovación educativa en la UPV, páginas 705-711, ISBN 84-9705-187-4.
- [6] Java Plugin. <http://java.sun.com/products/plugin/>.
- [7] J.V. Benlloch Dualde y otros, *Osciloscopio Virtual*, www.eui.upv.es/ineit-mucon/Applets/Scope/Osciloscopio.html
- [8] J. Llinares y A. Page. *Curso de Física Aplicada. Electromagnetismo y Semiconductores*. Servicio de Publicaciones Universidad Politécnica de Valencia. Ref SPUPV87331. ISBN 8477210268
- [9] D. Zwillinger, *CRC Standard Mathematical Tables and Formulae, 31st Edition*. CRC Press. ISBN: 0-8493-2479-3
- [10] J.A. Gómez Tejedor y otros, *prácticas de fundamentos físicos de la informática: Facultad de Informática*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia, 2003. ISBN 8497053109.