

Experimentos remotos de circuitos eléctricos con fenómenos transitorios

Rubén Monje, Hugo Kofman, Pablo Lucero, Cecilia Culzoni

Facultad de Ing. Química – Universidad Nacional del Litoral
Santiago del Estero 2829 – Santa Fe – Rca. Argentina
rmonje@fiq.unl.edu.ar

Resumen: Internet es la red más utilizada para intercambio de información, lo cual permite que sea usada con el propósito de promover el aprendizaje mediante la implementación de laboratorios de acceso remoto. Estos “laboratorios remotos” brindan al usuario la posibilidad de utilizar dispositivos de experimentación y medición que no se hallan normalmente disponibles.

En este trabajo se informa sobre nuestros avances en la instalación y optimización de un laboratorio remoto con experimentos para estudiar circuitos eléctricos en estado transitorio. Además, se describen las primeras experiencias didácticas realizadas con usuarios remotos.

El desarrollo del servidor web y la aplicación cliente se basaron en lenguaje Java. El sistema de adquisición de datos fue desarrollado en Delphi.

Palabras clave: laboratorio remoto, circuitos, fenómenos transitorios, Física.

Abstract: Internet is the most popular network for exchanging information. This feature can be used with the purpose of improving the learning of sciences by implementation of a Remote Access Laboratory. These “remote laboratories” give users the opportunity of using measurement and experimentation devices that, normally, are not available.

In this work we report our achievements in the installation and optimization of a Remote Access Laboratory. We also describe the firsts didactical experiences performed with remote users.

The development of the web server and the client application were based on Java programming language, and the data acquisition system that performs the real remote experiment was developed in Delphi.

Key words: remote laboratory, circuits, transient phenomena, Physics.

1. Introducción

Hace ya varios años nuestro grupo docente utiliza herramientas informáticas en la enseñanza de la Física Universitaria. Se comenzó con simulaciones y luego se continuó con experimentos informatizados. Uno de los sistemas implementados permite el estudio de fenómenos transitorios en circuitos eléctricos con fuentes de tensión continua, los cuales pueden estar constituidos por resistencias y capacitores (RC), resistencias e inductores (RL), y circuitos formados por los tres elementos mencionados (RLC). Al respecto, se han

desarrollado trabajos prácticos experimentales, utilizando interfaces Analógico-Digitales conectadas a computadoras, las cuales están provistas de un software específico.

En los trabajos prácticos mencionados, los alumnos construyen los circuitos en base a los esquemas proporcionados por el docente, los vinculan a la interfaz de adquisición de datos, realizan los experimentos, visualizan las gráficas y exportan los datos para calcular los parámetros característicos de los circuitos: constante de tiempo, factor de amortiguamiento, frecuencia, etc. De esta manera, los estudiantes pueden

realizar un estudio experimental de los fenómenos, los que no se podrían implementar sin los instrumentos apropiados [Kofman et al, 00]. En tiempos relativamente reducidos, los estudiantes realizan una gran variedad de experimentos, modifican valores de los elementos, tales como R, C o L, observan los efectos que se producen, realizan las interpretaciones teóricas correspondientes y calculan los parámetros del circuito.

Tanto el software como el hardware del sistema fueron completamente desarrollados en nuestro laboratorio de electrónica e informática. Esto nos ha permitido a posteriori abordar el desarrollo un sistema que permita realizar estos mismos experimentos en forma remota a través de Internet. Actualmente se cuenta con un servidor que permite realizar estos experimentos en muy buenas condiciones, aunque el mismo se considera aun en fase de desarrollo.

Este dispositivo es uno de los que se vienen desarrollando para la instalación de un laboratorio remoto, el que además incluye experimentos de mecánica, óptica y electromagnetismo. Esas otras funciones se encuentran en un grado importante de avance, y se espera que algunos de estos puedan ponerse en funcionamiento en el corriente año, en la medida que se puedan disponer de ciertos recursos. El laboratorio remoto podría ser integrado luego en una red con otros similares, para que puedan ser compartidos por distintas universidades y colegios.

2. El uso de herramientas informáticas en educación

Se considera que el uso de herramientas informáticas en general, representa un gran avance en cuanto a posibilidades de acceso a cálculos, gráficos y experimentos físicos, los que antes resultaban imposibles de abordar. Esto implica una enorme potencialidad para la educación, aunque hay que tener en cuenta que su aprovechamiento no es sólo un problema tecnológico, sino que hay que prestar especial atención a los aspectos pedagógicos.

De hecho, las tecnologías de acceso remoto al experimento, determinan un mayor alejamiento del estudiante respecto al sistema físico. En un trabajo práctico “clásico”, el alumno manipula componentes, cables e instrumentos para

construir un circuito. Además visualiza en forma directa las indicaciones de los instrumentos. En cambio, en el experimento remoto, el circuito es construido en forma automática, los componentes se seleccionan de una lista, y los valores son observados en una tabla o directamente en un gráfico. Todo esto aparentemente “transcurre” en la pantalla de una computadora, lo cual podría determinar una mayor dificultad para comprender qué está realmente sucediendo, ya que el sistema experimental queda oculto, y hasta se lo podría confundir con una simulación. Además el rol del alumno puede resultar menos activo en la clase.

Sin embargo, el experimento remoto puede representar ciertas ventajas, en tanto se lo conciba como un complemento de la actividad experimental directa. Generalmente en nuestros laboratorios de enseñanza de Física, no hay suficiente cantidad de equipos, ni se cuenta con el tiempo suficiente como para que los alumnos realicen todas las experiencias necesarias. Nuestra propuesta para estos casos, consiste en que los alumnos realicen el armado y experimentación directa sólo con unos pocos ejemplos de circuitos, y que luego completen la actividad desde una computadora personal ubicada en su propio hogar o en cualquier otro lugar.

Otra ventaja evidente de los experimentos remotos se presenta en los casos en que el docente no cuenta con los correspondientes dispositivos experimentales, lo cual ocurre frente a equipos costosos. El acceso remoto en esta situación representa la única posibilidad de realizar el experimento.

3. Marco teórico y limitaciones existentes

La Física es esencialmente una ciencia experimental, en la cual la matemática se utiliza para expresar sus leyes y formular modelos explicativos y predictivos. De ahí la importancia de que la enseñanza se apoye fuertemente en la experimentación, obteniendo con la misma datos numéricos y gráficos para su análisis e interpretación. Esta modalidad consiste en observar, medir, interpretar, y responder a interrogantes e hipótesis. Metodología que además de ser científicamente consistente, genera motivación en los alumnos, y resulta de gran significación para el aprendizaje genuino.

De esta forma se despiertan inquietudes y vocaciones en el aprendizaje de la ciencia y la tecnología, a lo cual tanto para nuestro país como toda América Latina representa un factor fundamental para su desarrollo.

Un laboratorio remoto consiste en un conjunto de experimentos reales implementados a través de algún sistema de comunicación, de modo que el operador está ubicado en un lugar distante de los sistemas físicos. Hay que diferenciar el concepto “laboratorio remoto” del término “laboratorio virtual”, ambos incluidos en el concepto de “laboratorio a distancia” [Jiménez et al, 05]. El primero se refiere generalmente a ensayos reales implementadas a distancia, mientras que el segundo suele consistir en una colección de simulaciones computacionales (applets), accesibles a través de Internet. Sin embargo, otros autores consideran como sinónimos a estas dos expresiones [Ríos et al, 04].

Desde un punto de vista técnico, el experimento remoto está vinculado al control automático y a la robótica. Sus primeras aplicaciones estuvieron orientadas a resolver problemas de seguridad del experimentador, o de insalubridad de algunos ambientes en los que debían realizarse ciertas operaciones o ensayos. Por ejemplo la manipulación de sustancias radiactivas o tóxicas a través de brazos robotizados, con visualización a través de cámaras de televisión, desde decenas o centenares de metros de distancia. Actualmente se realizan ensayos físico-químicos del suelo marciano desde distancias astronómicas.

El experimento remoto está también relacionado a la técnica de sensoramiento remoto, que consiste en la medición de ciertas variables físicas o químicas, tales como las hídricas o meteorológicas, mediante los correspondientes sensores, y la transmisión de los datos digitalizados a través de algún tipo de enlace. Para eso normalmente se utilizan microondas que vinculan el emisor y el receptor a través de satélites, o también señales luminosas que se conducen a través de fibras ópticas. Hoy es cada vez más común la utilización de enlaces de Internet. En todos los casos, las señales se reciben en centros donde se decodifican y procesan los datos.

En el caso que nos ocupa, o sea, la utilización del experimento remoto como herramienta en la enseñanza de la Física, resulta muy importante

una fuerte interactividad entre el usuario y el sistema físico, de modo que se debe asegurar una ágil transmisión de datos en forma bidireccional. Por ejemplo, un alumno puede estar sentado frente a la pantalla de su computadora, comandando a distancia un ensayo de laboratorio con un riel de aire. Podría fijar la velocidad de uno de los dos móviles que luego realizarán una colisión, y recibir los resultados de las velocidades de los cuerpos luego de dicho evento. Pero es necesario que esto se pueda lograr prácticamente en tiempo real.

Es evidente la ventaja económica y de facilidad de acceso que representan los laboratorios remotos. Con ayuda de los mismos, un alumno o un grupo de ellos podrían realizar toda una serie de experimentos reales, utilizando el equipamiento de un cierto centro, el cual brindaría esa posibilidad a muchos alumnos, incluso de diversos países. Así se podrían construir redes de experimentos compartidos, lo cual facilitaría notablemente la ampliación de las posibilidades de acceso a estos recursos.

En América Latina, la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, es de algún modo precursora en el tema. Han implementado la experimentación remota con equipos costosos y de tecnología avanzadas: Un Sistema de Producción de Recubrimientos Asistido por Plasma, un Difractómetro de Rayos X, un Espectrómetro Infrarrojo por transformada de Fourier y un Osciloscopio Infinium. También han conectado a la web algunos experimentos de Física básica, que según su opinión, “permiten la realización de los laboratorios por parte de los estudiantes de las diferentes carreras, en cuyo currículo se involucran materias de Física Básica, desde su casa sin la necesidad de desplazarse hasta el laboratorio. Las ventajas de esta nueva etapa en el aprendizaje son entre muchas otras el ahorro de tiempo y el volumen de estudiantes que se puede manejar, además de permitir acuerdos interinstitucionales ya que el sistema no solo es útil para las Universidades sino que aplica también para estudiantes de educación secundaria que cursan los grados superiores” [Ríos et al, 04].

Sin embargo, hay que señalar algunas características de estos sistemas que representan limitaciones importantes para su aplicación:

1- Dado que se trata de experimentos con sistemas físicos reales, el desarrollo de la más

simple operación insume muchas veces un tiempo considerable. Esto impone a los administradores la necesidad de limitar el número de usuarios, y en algunos casos organizar su acceso mediante turnos. Por tal razón, los laboratorios remotos de la Universidad Nacional de Colombia sólo fueron habilitados para usuarios de ese país.

2 – La lentitud de respuesta de los equipos remotos se suele originar también en limitaciones del equipamiento informático y fundamentalmente en la reducida velocidad en la transmisión de datos.

3 – Muchos diseños actuales resultan precarios en cuanto a su interfaz de operación, de modo que los usuarios no siempre perciben con claridad si los datos recibidos son productos de un experimento real, o sólo valores o gráficos provenientes de un modelo matemático.

El primero de los problemas mencionados no admite una solución drástica, dado que se trata de una característica intrínseca de estos sistemas. Pero, una forma de minimizarlos consiste en instalar una mayor cantidad de laboratorios, con una gran variedad de opciones de experimentos, de modo que el aumento de la oferta se traduzca en una mayor posibilidad de acceso.

El segundo aspecto se resuelve a través de diseños con muy buenos componentes gráficos y modos de interacción, de manera tal que el acceso sea lo más intuitivo posible.

El tercer problema tiene solución a través de equipos informáticos de última generación, utilizando cámaras IP de buena calidad cuando sea necesario, y eventualmente conexión a través de Internet II. Por ejemplo, en la figura 1 puede apreciarse la imagen de una cámara web en un laboratorio remoto, en este caso de un péndulo físico, de la Universidad de Valladolid, España.



Figura 1: Imagen de un experimento remoto

4. Configuración del dispositivo desarrollado

Se trata básicamente de un circuito formado por un conjunto de conmutadores electromagnéticos (relés) comandados por un microcontrolador, que de acuerdo a distintas combinaciones, permite configurar circuitos diversos. En todos los casos se utiliza una batería como fuente de alimentación.

Los circuitos que se pueden montar con el dispositivo son:

- RC en Carga (conexión de una batería con una resistencia y un condensador en serie)
- RC en Descarga
- RL en Carga (conexión de una batería, una resistencia y un inductor en serie)
- RLC en Descarga
- RLC en Carga (conexión de una batería, una resistencia, un inductor y un capacitor en serie)

A su vez, para cada una de las configuraciones mencionadas, resulta posible seleccionar distintos valores de resistencias y condensadores.

En la figura 2 se puede apreciar un esquema de la arquitectura básica del dispositivo electrónico.

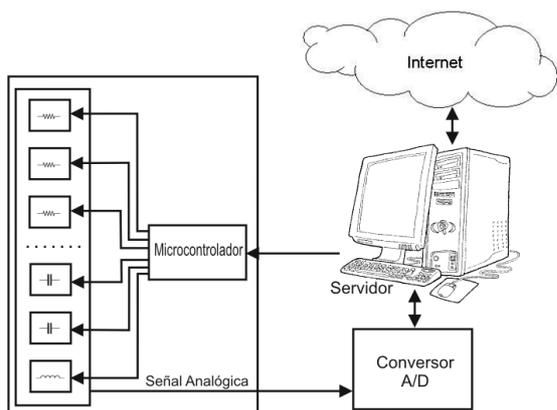


Figura 2: Esquema del dispositivo de experimentación remota

En las figuras 3 y 4, se pueden apreciar dos esquemas de circuitos, en los cuales se utiliza un relé para conectar y desconectar el circuito durante el tiempo que dura la experiencia. El relé está en cada caso en su posición normal, sin corriente en la bobina. Cuando llega la orden de iniciar el experimento el mismo se conmuta a la otra posición, y retorna a la primera cuando éste finaliza.

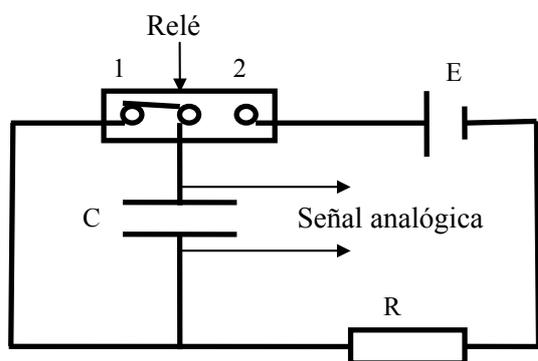


Figura 3: Esquema de conexión del circuito RC en carga

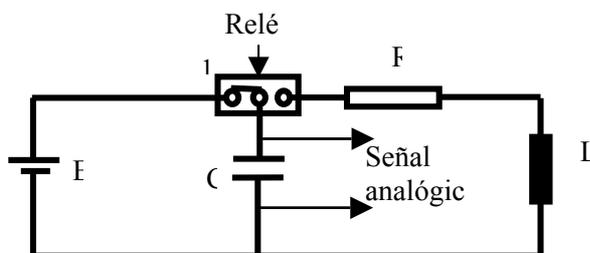


Figura 4: Esquema de conexión del circuito RLC en descarga

En la figura 5 se puede apreciar una foto del

sistema completo. Arriba, a la izquierda se encuentra el dispositivo electrónico, que contiene el microcontrolador, los relés de conmutación, y las resistencias y condensadores. Se puede observar que hay algunos leds encendidos y otros apagados, lo cual corresponde al tipo de circuito y valores de componentes seleccionados en ese momento. A la derecha del dispositivo anterior, se encuentra la interfaz de conversión A/D, en la que se observan la entrada de señal analógica, y las conexiones del relé de inicio y fin del experimento. A la izquierda abajo se aprecia la batería, y a la derecha abajo el inductor. A la derecha se alcanza a observar el borde del monitor del servidor web.



Figura 5: Foto del sistema de experimento remoto

4.1 Arquitectura del servidor

Se ha desarrollado una página Web alojada en un servidor que utiliza Windows Server 2003, la cual permite al usuario elegir la configuración y los valores de los componentes, a través de una aplicación cliente. Esta se ha escrito en lenguaje Java y permite también realizar la administración de uso del sistema por los distintos usuarios, y controlar el flujo de datos. A su vez, esta aplicación se comunica con un programa escrito en lenguaje Delphi, el que maneja el mecanismo de control y la interfaz de adquisición de datos del experimento.

4.2 Interfaz de usuario

En la figura 6 se puede apreciar el aspecto de la aplicación, tal como se encuentra accesible actualmente. La pantalla visible al usuario incluye diagramas eléctricos de cada una de las

configuraciones posibles, lo cual está orientado a facilitar que puedan hacerse una idea del circuito que se está operando en forma remota.

El sistema se encuentra disponible para usuarios autorizados por los autores del sistema¹.

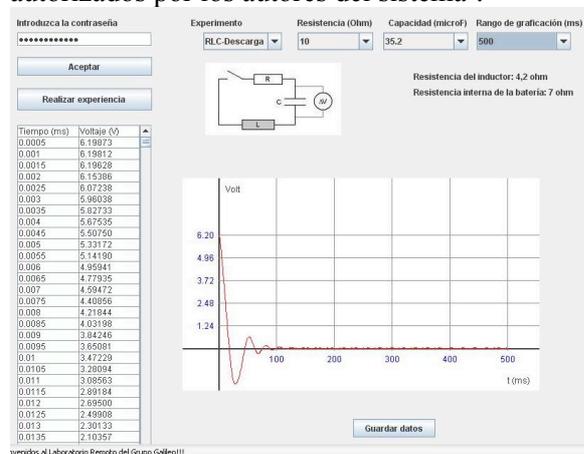


Figura 6: Pantalla de usuario del experimento remoto

En este caso se ha seleccionado el experimento RLC en descarga, con una resistencia de 10 Ω , un capacitor de 35.2 μF y un tiempo de 500 ms. A la izquierda se puede apreciar la tabla de datos experimentales, con una columna de tiempo y otra de voltaje. En la parte superior están los controles para seleccionar el experimento y valores de los parámetros. Se puede observar también el gráfico de la experiencia y un botón que permite abrir una caja de diálogo para salvar los datos como archivo de texto. Los mismos pueden ser luego cargados por cualquier software de procesamiento matemático de datos.

5. Resultados obtenidos hasta el momento

Para estudiar el desempeño de los alumnos con el laboratorio remoto, se diseñó una clase del tema fenómenos transitorios en circuitos eléctricos, la cual fue desarrollada con alumnos de la Asignatura Física II, en la Facultad Regional Rafaela de la Universidad Tecnológica Nacional. Se trata de una ciudad situada a más de 100 km de Santa Fe, que es la donde dicha actividad se basó en tres actividades:

1) Una clase teórica, de carácter expositiva, en la

¹ Para probarlo o utilizarlo se debe enviar un mensaje a Hugo Kofman (hkofman@fiq.unl.edu.ar), indicando el momento y finalidad de uso. Para ello recibirá una contraseña.

cual el profesor explicó los fundamentos teóricos de estos fenómenos y dedujo las expresiones de potencial y corriente en función del tiempo, a partir del planteo de las ecuaciones diferenciales correspondientes.

2) Una actividad experimental en la cual los alumnos armaron alguno de los circuitos RC, RL o RLC, los conectaron a la interfaz de adquisición de datos, y obtuvieron las curvas y datos correspondientes. De esta manera se familiarizaron, tanto con los circuitos, como con las interfaces y la manera que éstas obtienen los datos experimentales. Se usó el limitado tiempo con que se contaba para realizar estos aprendizajes, sin detenerse en cálculos y consideraciones teóricas.

3) Un trabajo práctico con el experimento remoto, que realizaron en sus casas, trabajando en grupos y en forma individual. Contaron en este caso con todo el tiempo necesario para acceder al sistema experimental, realizar todos los experimentos necesarios, calcular los valores correspondientes y obtener las conclusiones que se pedía en la guía de trabajos prácticos.

Culminada esta tarea, los alumnos debían presentar un informe, en el cual dieran cuenta de los experimentos realizados, así como de los valores y conclusiones obtenidas. En el mismo debían estar las capturas de pantalla obtenidas, lo cual serviría al docente como uno de los elementos útiles para evaluar la actividad realizada por los alumnos

Los resultados alcanzados resultan sumamente favorables, habiéndose observado que los alumnos se adaptaron rápidamente a la idea de que ellos se encontraban frente a una PC conectada a Internet, y que el experimento se realizaba a más 100 Km de distancia, en el Departamento de Física de una Facultad de la Universidad Nacional del Litoral.

6. Conclusiones

Los resultados obtenidos hasta el momento muestran que con la arquitectura de software y hardware desarrollados, es posible hacer funcionar un experimento remoto en óptimas condiciones, lo cual nos permitirá en el futuro extender esta tecnología a otros sistemas físicos. Por otra parte, las primeras pruebas realizadas con grupos de alumnos que trabajaron a

distancia, indican que los jóvenes se adaptan a esta modalidad con más rapidez y flexibilidad de lo que inicialmente suponíamos. La información gráfica y numérica que obtienen les resulta de muy fácil interpretación, y la manipulan con mucha facilidad.

Creemos que el diseño didáctico utilizado, en el cual se ha combinado el experimento presencial con la experimentación remota, resulta sumamente funcional a una enseñanza que rescate lo mejor de las metodologías tradicionales, e incorpore lo más avanzado de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación.

En el futuro, habrá que realizar nuevos ensayos, con la finalidad de perfeccionar la metodología y a su vez realizar una evaluación más precisa de la misma.

7. Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado en el marco del Proyecto “Experimentación y Sensoramiento Remoto en la Enseñanza e Investigación en Ciencias”, correspondiente a la programación CAI+D 232/2006 de la Universidad Nacional del Litoral, de Santa Fe, Rca. Argentina.

Bibliografía

[Kofman et al, 00]. H. Kofman, E. Tozzi, P. Lucero. “La unidad experimento – simulación en la enseñanza informatizada de la física”. Revista Enseñanza y Tecnología (España). ISSN: 1138-7386. Vol. 1 pp. 16 - 24 (2000).

[Jiménez et al, 05] L. M. Jiménez et al. “Ecolab: Laboratorio Remoto de Control utilizando MatLab y Simulink”. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial. ISSN 1697 7912. 2. pp. 64-72. (2005).

[Ríos et al, 04] H.R.G Torres, E. Tovar, C. Bedoya, N. Olaya, A. Devia; “Laboratorios remotos: Una realidad para la educación”. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales; extraído del sitio web: www.eadcna.cuao.edu.co; fecha de consulta: abril 2004