

# Laboratorio remoto con placa didáctica para desarrollo de prácticas con circuitos digitales

Héctor Hugo Mazzeo [hhmgvm@yahoo.com](mailto:hhmgvm@yahoo.com), José A. Rapallini [josrap@gmail.com](mailto:josrap@gmail.com),  
Marcelo Zabaljauregui [mzabaljauregui@gmail.com](mailto:mzabaljauregui@gmail.com), Omar E. Rodríguez [rodriguezomarlp@gmail.com](mailto:rodriguezomarlp@gmail.com)  
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Plata  
La Plata (1900), Argentina

**Abstract**—En este artículo se presenta el caso de la adaptación de una práctica de laboratorio a la que se agregó la posibilidad de acceso a través de Internet, convirtiéndola así en una práctica de laboratorio remoto. En primera instancia se describe el entorno de la aplicación, un sistema de acceso al laboratorio desarrollado para poder realizar prácticas virtuales (simuladas en un ordenador) o remotas (desde cualquier lugar que disponga de un acceso a Internet). Luego se presenta el caso práctico de un laboratorio específico, en este caso la utilización de una placa didáctica para la enseñanza y demostración del funcionamiento de dispositivos digitales básicos utilizando circuitos integrados comerciales. Se mencionan también las posibilidades presentes y futuras de utilización del sistema para la realización de prácticas de laboratorio de distinto tipo y su aprovechamiento no sólo en ámbitos universitarios sino también en la industria para la capacitación de personal.

**Keywords**— *Laboratorios remotos; placa didáctica; circuitos digitales; sistemas embebidos.*

## I. INTRODUCCIÓN

En muchas ocasiones, el contenido de las clases prácticas en asignaturas de carreras como Ingeniería se ve limitado por los recursos disponibles en los laboratorios. Estas limitaciones, que habitualmente tienen que ver con las capacidades de los recursos experimentales, generalmente escasos, pueden ser remediadas en gran medida mediante la utilización de Internet y realidad virtual aplicadas al desarrollo de prácticas de laboratorio.

Las aplicaciones existentes en el mercado para realizar estas actividades suelen ser costosas o difíciles de utilizar y en la mayoría de los casos no se adaptan a todas las necesidades requeridas en la enseñanza universitaria.

Teniendo en cuenta estas cuestiones y con el propósito de disponer de un sistema propio y más flexible, se formuló un proyecto de investigación con el objetivo primigenio de disponer de un laboratorio de ensayo de aplicaciones de codiseño hardware-software sobre el cual experimentar con sistemas reales a distancia, sin necesidad de concurrir físicamente al mismo. Esta iniciativa surgió del grupo de Codiseño hardware/software Aplicado (CODAPLI), dependiente del grupo GID@S del Departamento de Ingeniería en Sistemas de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata, quien se abocó a la tarea de desarrollar un sistema integral para complementar las actividades didácticas

presenciales, facilitando el acceso de los estudiantes a las labores relacionadas con la formación práctica con libertad de horarios y tiempos. El objetivo fue brindar a los usuarios la posibilidad de realizar prácticas en entornos controlados, simulando ambientes de trabajo en donde se pueda interactuar en forma remota con los dispositivos o sistemas físicos, químicos, electrónicos, etc.

Como resultado de este proyecto se logró implementar un sistema de desarrollo de laboratorios virtuales y remotos adaptable a la realización de prácticas de distinta índole. Para cada caso particular, sólo es necesario modificar el software y hardware propio de la aplicación a automatizar, adaptar sus entradas y salidas y reconfigurar algunos parámetros del sistema para acondicionarlo y vincularlo apropiadamente con el sistema principal.

## II. ESTADO DEL ARTE

En disciplinas técnicas y científicas la realización de experimentos con plantas reales es fundamental para consolidar los conceptos adquiridos en las clases teóricas. Sin embargo, debido a diferentes razones, los laboratorios reales no siempre están disponibles, lo cual impone restricciones en el aprendizaje. Afortunadamente, las nuevas tecnologías basadas en Internet pueden ser utilizadas para mejorar la accesibilidad a los experimentos.

Actualmente la educación a distancia se presenta como la solución ideal para un conjunto de trabajos prácticos que exigen el disponer de sistemas de enseñanza mucho más flexibles, accesibles y adaptativos (sin limitaciones espaciales ni temporales) que los tradicionales.

Por consiguiente, trasladando este entorno práctico a la enseñanza a distancia, el elemento necesario para abordar la realización de prácticas sobre diversas materias de Ingeniería en Sistemas es la existencia de un sistema de apoyo a la enseñanza consistente en un laboratorio virtual y de telepresencia accesible a través de una red interna o Internet que permita al alumno practicar de una forma lo más similar posible a como si estuviese en las dependencias del laboratorio, dándole la posibilidad de manejar las simulaciones o interactuar con los sistemas reales [1], [2].

Es precisamente de la mano de las TICs desde donde se pueden aportar algunas soluciones para ampliar el acceso a la experimentación en forma de laboratorios remotos y virtuales.

Así se conseguirán simultáneamente dos objetivos didácticos: (a) realizar prácticas relacionadas con la asignatura ampliando la disponibilidad de los laboratorios y (b) formar a los alumnos en el uso de las TICs [3].

### III. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Uno de los objetivos que se planteó en el proyecto fue que el usuario del laboratorio disponga de una plataforma remota con la cual poner en práctica los conocimientos adquiridos en las materias que cursa, sin la necesidad de recurrir a la adquisición de material extra curricular.

Para ello se implementó una red de computadoras con conexión a Internet, cada una de las cuales dispone de los siguientes elementos:

- Una cámara web y una placa microcontrolada con entradas y salidas analógicas y digitales conectada a la computadora local mediante un puerto USB. Esta placa permite implementar un sistema embebido con escaso o nulo hardware adicional.
- Hardware y software específico para el desarrollo de la práctica de laboratorio. Aquí es donde se debe analizar cada práctica en particular y definir cuáles son las necesidades en cada caso: sensores y/o actuadores, interfaces o drivers de potencia para comandar los dispositivos electromecánicos, etc. En ciertos casos puede ser necesario cambiar directamente la placa microcontrolada por otra de mayores capacidades en cuanto a número de entradas-salidas, capacidad de memoria, potencia del microcontrolador, etc.
- La aplicación de software principal desarrollada por el grupo de investigación y encargada de automatizar las tareas

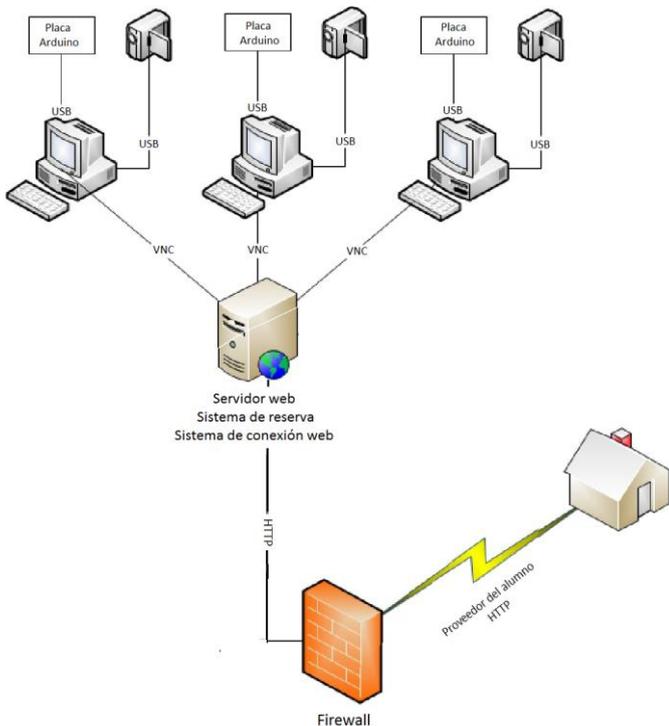


Fig. 1. Esquema del laboratorio remoto

de la práctica, gestionar las conexiones de datos, turnos y horarios de utilización, etc. [4], [5].

Todas las máquinas se conectan a un servidor que se encarga de gestionar las reservas de los laboratorios y permite a los usuarios acceder al mismo por medio de un navegador web con soporte Java instalado (fig. 1).

El proyecto se dividió en tres etapas:

1) Puesta en funcionamiento de las PC locales con las cámaras IP y las placas conectadas y configuradas adecuadamente como también del servidor que permite conectarse a las mismas desde la web.

Para tal fin se instalaron y configuraron las siguientes aplicaciones:

a) Para las máquinas locales:

- *Sistema Operativo*: Debian Wheezy<sup>1</sup>, optimizado para que funcione con la menor cantidad de memoria RAM posible.

- *Aplicación propia para el desarrollo de la práctica de laboratorio*: en cada caso habrá que definirla dependiendo del tipo de práctica a realizar, el hardware y software de control, cantidad de sensores y actuadores necesarios, etc.

- *Servidor VNC*: necesario para la visualización de la experimentación remota.

b) Para el servidor de acceso:

- *Sistema Operativo*: Debian Wheezy

- *HTML*: se instaló un servidor Apache.

- *Bootstrap*: se usa para darle un aspecto más moderno a los portales de acceso.

- *JQuery*: sirve de apoyo al Bootstrap.

- *LDAP*: se utiliza como base de usuarios y laboratorios.

- *PHP*: para poder interactuar con el LDAP.

- *Tomcat*: requerimiento para poder instalar Guacamole.

- *Guacamole*: servicio de conexión remota por html5.

2) Diseño de un sistema de reservas para gestionar los laboratorios y adecuación del sistema de acceso web para que pueda convivir con el sistema de reservas.

Ya que el sistema permite seleccionar distintos laboratorios para realizar, el usuario deberá ingresar primero en el laboratorio correspondiente y luego ir a la opción de reserva. Una vez allí podrá seleccionar el día y horario de realización de la práctica, siempre y cuando estén disponibles. Luego de verificar los datos que aparecen en la pantalla e ingresar la dirección de email del usuario (a la cual se le enviará un

<sup>1</sup> Cabe aclarar que a la fecha existe una distribución Debian Linux más reciente que Wheezy llamada Jessie. El motivo de haber usado Wheezy es que al momento de iniciar el proyecto (mediados de 2014) Jessie (con fecha de release 25/04/2015) no se encontraba homologada como estable. Además Wheezy cuenta con dos modalidades para su "fin de vida": 26/4/2016 (full) y mayo de 2018 (LTS), donde LTS corresponde al grupo Debian Long Team Support, encargado de mantener el soporte de paquetes de seguridad por 5 años más.

mensaje con los datos necesarios para ingresar al sistema) y la contraseña, aparecerá la confirmación validando la operación (Fig. 2).



Fig. 2. Pantalla de selección y reserva de laboratorio

Se utilizaron distintas tecnologías: HTML, PHP, JQuery y LDAP. La conjunción de las mismas permitió diseñar un portal ágil para la gestión de los laboratorios, tanto para los usuarios como para los administradores de la plataforma. Además el uso combinado de Tomcat y Guacamole provee el acceso remoto a través de HTML 5.<sup>2</sup>

3) Apertura de los protocolos necesarios a Internet para que el laboratorio pueda ser accedido desde cualquier lugar por el usuario remoto (Fig. 3).

El sistema cuenta con dos tipos de accesos: uno de ellos dedicado a la reserva y activación del laboratorio y otro para el acceso de los administradores a fin de visualizar las reservas hechas y realizar estadísticas del uso del laboratorio o algún deslogueo forzado en el caso de que surja algún problema o situación imprevista. [6] a [9].

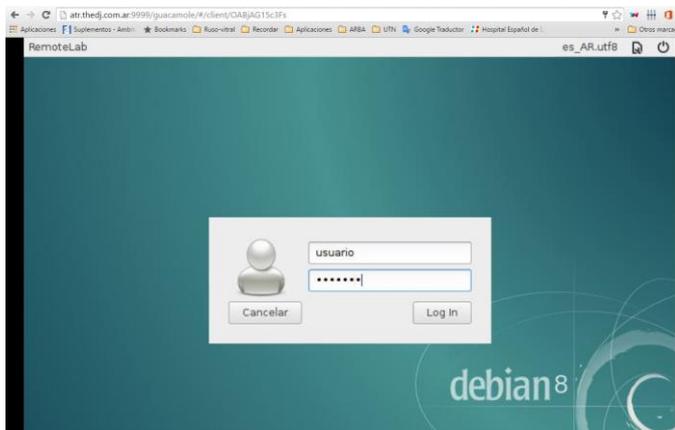


Fig. 3. Pantalla de acceso al laboratorio remoto

<sup>2</sup> Para más información: <http://guac-dev.org/>

Existe además un deslogueo automático en caso que después de una reserva se genere otra. Como una posibilidad adicional, está contemplado el caso en el cual si un usuario está usando el sistema y agota su tiempo, no teniendo una reserva posterior para su uso, se le permita seguir utilizando el sistema.

#### IV. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO REMOTO CON LA PLACA DIDÁCTICA.

Como ejemplo de funcionamiento y actuación en el laboratorio remoto, se describirá la utilización de una placa didáctica de prueba y experimentación de circuitos lógicos y digitales. Esta placa se utiliza para la realización de un laboratorio presencial mediante la conexión por puerto paralelo a una PC y una aplicación desarrollada en lenguaje C que permite cargar datos en las entradas de los dispositivos, efectuar las operaciones y visualizar los resultados tanto en el monitor como en un display y/o leds luminosos dispuestos en la placa.

Su diseño y construcción se fundamentó en la necesidad de contar con material para realizar una o más prácticas de laboratorio en la materia Arquitectura de Computadoras del primer año de la carrera de Ingeniería en Sistemas. Dado que allí se analizan los fundamentos de los circuitos lógicos y digitales, así como los métodos de resolución y simplificación de funciones lógicas, se hacía necesario contar con algún hardware simple que permitiera a los estudiantes tener un contacto directo con los dispositivos estudiados. Por ello la tarjeta cuenta con varios chips comerciales con circuitos del tipo de los utilizados en la resolución de los trabajos prácticos desarrollados durante el primer cuatrimestre de la materia.

Así, mediante esta placa didáctica es posible hacer pruebas cargando datos binarios y operando sobre un multiplexor, un contador progresivo/regresivo, un registro de desplazamiento, un decodificador, un sumador aritmético y un contador Johnson.

Para su uso sólo se necesita una fuente de alimentación y conexión a una PC y si bien fue desarrollada para el puerto paralelo (actualmente obsoleto), la motivación fue la reutilización de computadoras en perfecto estado de funcionamiento en la facultad y que para estas aplicaciones (arquitectura e iniciación de lenguajes como Assembler de máquina e idioma 'C') no requieren gran potencia de cálculo. De todas formas la placa podría ser utilizable con interfaces puerto paralelo-USB, con el agregado de módulos de comunicación (hardware y software).

Para la práctica de laboratorio se plantearon dos objetivos básicos:

- Permitir a los alumnos visualizar, analizar y comprender el funcionamiento de los principales circuitos digitales estudiados, aplicando los métodos y técnicas aprendidas.
- Resolver, interactuando con la placa, ejercicios de aplicación similares a los desarrollados en las clases prácticas, comparar y verificar los resultados obtenidos en ambos casos.

Para cumplir estos objetivos, un programa escrito en C permite cargar datos en las entradas de los dispositivos,

efectuar las operaciones y visualizar los resultados tanto en el monitor como en un display y/o leds luminosos dispuestos en la placa.

Se utilizan las líneas de datos y de control del puerto paralelo para enviar los datos binarios [10] a [15].

La alimentación es a través de una fuente externa ya que cuenta con un regulador interno de 5 V que energiza a todos los componentes del hardware.

En la figura 4 puede observarse la pantalla de ingreso a la aplicación remota en la máquina cliente con la placa didáctica conectada por el puerto paralelo y un menú de seis opciones para realizar los ensayos.

Los detalles constructivos y su utilización pueden consultarse en la referencia [16].

La práctica de laboratorio desarrollada en forma presencial presentaba una limitación importante: disponer sólo de dos dispositivos construidos impedía que todos los alumnos pudiesen interactuar con la placa el tiempo necesario como para lograr aprovechar adecuadamente los contenidos de la actividad.

La adecuación de la práctica de laboratorio para su operación en forma remota permite obviar el problema de la adaptación de la interfaz de puerto paralelo, ya que con sólo instalar el software cliente en la misma máquina a la que está conectada la placa y configurando los valores apropiados, el sistema estará listo para funcionar.

En este caso no hay necesidad de utilizar las placas microcontroladas (por ej. las placas Arduino indicadas en el esquema genérico de la fig. 1) ya que la tarjeta didáctica no requiere la conexión de sensores ni actuadores de ningún tipo y es controlada íntegramente por la aplicación de software instalada en la máquina local. El esquema de la figura 1 es general y habrá que adaptarlo a cada laboratorio en particular como se mencionó anteriormente, tanto en hardware como en software.



Fig. 4. Placa didáctica: menú de opciones de la aplicación en ejecución

Una vez ingresado al sistema -como ya se indicó-, y accediendo a un link que le fue enviado al usuario por e-mail, se está en condiciones para operar en el laboratorio remoto. Dentro del menú “Aplicaciones” el usuario encontrará los distintos programas de la cátedra, entre ellos “Cheese” que le permitirá abrir la cámara que apunta al proyecto físico instalado en ese laboratorio (fig. 5). Los detalles de configuración del sistema, características del diseño, seguimiento del proyecto y actualizaciones pueden consultarse en la página web del grupo de investigación CODAPLI: <http://codapli.frlp.utn.edu.ar/sites.google.com/site/codaplipid/laboratorio-1.html>.

## V. CONCLUSIONES

El uso de esta placa didáctica permite a los alumnos de una carrera (que está principalmente orientada al desarrollo de software) tener, en muchos casos, su primer contacto con circuitos integrados reales, hacer pruebas, verificar su comportamiento y comparar resultados a partir de la información contenida en las hojas de datos. Con esto se intenta además incentivarlos para que en materias de años posteriores, puedan desarrollar proyectos integrales, utilizando no sólo las herramientas de software que manejan con facilidad sino también que los conocimientos de hardware básico que incorporaron les permita construir prototipos completos que funcionen.

En la época en que comenzó a utilizarse esta placa didáctica para el desarrollo de prácticas de laboratorio de la materia Arquitectura de Computadoras, el puerto paralelo era todavía un standard, por lo cual fue diseñada con esa interfaz de conexión. También por una razón didáctica: el puerto paralelo permite hacer un manejo simple de la entrada/salida de datos lo cual facilita el entendimiento y la programación de las rutinas de acceso al hardware, sin necesidad de recurrir a la instalación de drivers complejos y de los cuales, en muchos casos, no se encuentra información disponible. El hecho de que en la actualidad el puerto paralelo se haya vuelto obsoleto es una ventaja más en la utilización de los laboratorios remotos, ya que la placa se mantiene conectada vía puerto paralelo con el ordenador local al cual se accede remotamente a través de una conexión a la red de datos. De esta manera no es necesario realizar ninguna actualización ni modificación tanto del hardware como del software utilizado. Sólo es necesario espacio libre en el disco del ordenador local para instalar las aplicaciones clientes requeridas para conectarse con el servidor remoto vía web.

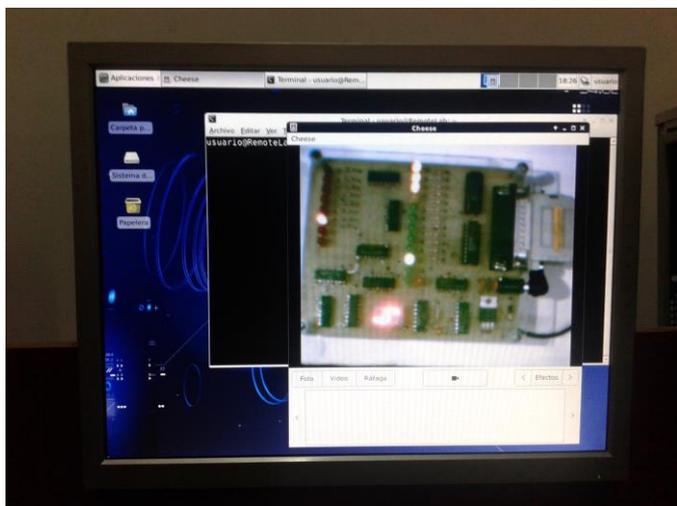


Fig. 5. Visualización de la placa didáctica en forma remota durante la realización de la práctica de laboratorio.

La utilización de la placa didáctica en forma remota por parte de otras materias de la carrera permitiría también trabajar en la integración de conocimientos (especificada como integración horizontal y vertical en la currícula) donde el alumno, contando con este dispositivo externo a modo de periférico, pueda generar otras aplicaciones o estudios en materias de programación, matemáticas y física de los primeros años. A modo de ejemplo, una posibilidad sería la realización de sumas y restas en binario o en BCD, adaptando la programación de la aplicación. Pero también podrían idearse prácticas utilizando otros lenguajes de programación como Pascal, realizando programas que accedan al puerto paralelo, de modo de interactuar con la placa en forma remota a través de una aplicación web.

Cabe también aclarar que el sistema de laboratorio remoto sigue aún en desarrollo y como ha sido puesto en funcionamiento a principios de este año, se encuentra aún en etapa de "testeo", por lo cual no se cuenta con estadísticas ni encuestas de opiniones sobre su funcionamiento. Un problema que ha retrasado la utilización extendida del sistema es la obsolescencia del hardware disponible y los problemas de conectividad y disponibilidad de una conexión de Internet con suficiente ancho de banda como para poder realizar las prácticas con un bajo "delay". Actualmente se están haciendo gestiones para mejorar ambas cuestiones, por lo que en la próxima etapa del proyecto -cuya conclusión será a fines del año próximo- se prevé realizar estas tareas como así también el desarrollo de nuevos laboratorios.

## VI. REFERENCIAS

- [1] S. Dormido, J. Sánchez, F. Morilla. "Laboratorios virtuales y remotos para la práctica a distancia de la automática", Dpto. de Informática y Automática, UNED, Avda. Senda del Rey s/n, 28040 Madrid.
- [2] Dormido, S. (2004), "Control learning: Present and future", Annual Reviews in Control, vol. 28, pp. 115-136
- [3] Isidro Calvo1, Ekaitz Zulueta, Unai Gangoiti, José Manuel López, "Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas", Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz UPV/EHU.
- [4] F. Torres, F. Candelas, S. Puente, F. Ortiz, J. Pomares, P. Gil, M. Baquero, A. Belmonte, "Laboratorios virtuales remotos para el aprendizaje práctico de asignaturas de ingeniería". Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal. Universidad de Alicante.
- [5] Domínguez, M., Fuertes, J.J., Reguera P. (2009), "Desarrollo de un laboratorio remoto para la formación vía Internet en Automática".
- [6] IEEE Transactions on Education. Métodos y tecnologías de educación, materiales para la enseñanza, y programas de desarrollo educacionales y profesionales sobre disciplinas de ingeniería eléctrica.
- [7] Computers & Education. Revista de Elsevier dedicada principalmente a aspectos pedagógicos del uso del computador y las comunicaciones en la enseñanza, incluyendo la enseñanza a distancia.
- [8] <http://emersion.epfl.ch>. Laboratorio de Control Automático de la Escuela de Politécnica Federal de Lausana.
- [9] <http://ira.unileon.es> (Laboratorio Remoto de Automática de la Universidad de León)
- [10] Hojas de datos de circuitos integrados de Texas Instruments y Motorola.
- [11] Jan Axelson, 2000, "Parallel Port Complete".
- [12] "Interfacing the IBM PC Parallel Printer Port", Rev. 0.96, 1994.
- [13] "Interfacing the Standard Parallel Port", Beyond Logic.
- [14] "IEEE 1284: Parallel Ports", Lava Computer MFG Inc., 2002.
- [15] "Sistemas digitales", Tocci 6ª ed.
- [16] Hugo Mazzeo, José A. Rapallini, "Placa didáctica para el desarrollo de trabajos prácticos de laboratorio con circuitos digitales", III Congreso de Microelectrónica Aplicada, año 2012.