

# Sistema de Laboratorios Remotos basado en una plataforma Raspberry/Arduino

---

**ALBERTO VILLAFANE**

Laboratorio de Entornos Virtuales de Aprendizaje | Facultad de Ingeniería | Universidad de Buenos Aires (UBA)

**ANDRÉS BRUMOVSKY**

Laboratorio de Entornos Virtuales de Aprendizaje | Facultad de Ingeniería | Universidad de Buenos Aires (UBA)

**EMA AVELEYRA**

Laboratorio de Entornos Virtuales de Aprendizaje | Facultad de Ingeniería | Universidad de Buenos Aires (UBA)

## RESUMEN

*Se presenta en este trabajo la descripción de un conjunto de laboratorios remotos compacto basado en un sistema conformado por una placa Raspberry Pi 3b donde corre un servidor web para la conexión remota y diversas placas Arduino Mega 2560 que ofician de hardware de control. Se comenta la evolución del sistema desde un servidor web montado en una simple placa Arduino Leonardo hasta la versión actual. Ésta tuvo el objetivo de lograr una mayor portabilidad del sistema a la vez de contar con hardware que sea fácilmente obtenible en el mercado local a bajo costo, fácilmente reemplazable y escalable. Finalmente se presenta la interfaz de usuario desarrollada para la utilización del laboratorio remoto, así como el sistema para la solicitud de turnos. Este trabajo se realiza en el contexto del problema de optimización para la realización de laboratorios de Física con cursos masivos y limitados recursos de infraestructura.*

## PALABRAS CLAVE

*I+D; laboratorios remotos; Raspberry; Arduino.*

## Introducción

En el año 2008, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires adopta un campus virtual buscando flexibilizar las modalidades de enseñanza en las carreras de Ingeniería para el grado y posgrado. Sin embargo, esta flexibilización no proveía una solución para las materias experimentales que sólo podían realizarse en forma presencial. La incorporación de innovaciones tecnológicas en los

---

<sup>1</sup> Trabajo realizado en el marco del Proyecto UBACyT 2016-2019, código: 20020150100134BA.

ambientes de educación universitaria no es un proceso fácil. Existen, como en todo cambio que implique una evolución tecnológica, limitaciones respecto a la capacidad económica. Dichas limitaciones, circunscritas a la compra de equipo y a la formación de los recursos humanos necesarios para el nuevo desarrollo, son inherentes a toda institución educativa. Si bien plantear nuevas formas de realizar las actividades de laboratorio requiere de mucho esfuerzo y de un cambio paradigmático en el enfoque didáctico de la materia, representa también un nuevo reto para la educación universitaria que está logrando cada vez más adeptos.

Atentos a estas necesidades es que se inicia en el 2013, desde el Laboratorio de Entornos Virtuales de Aprendizaje, un trabajo de investigación interdisciplinaria en el marco de un proyecto UBACyT para dotar a la facultad de un laboratorio remoto (LR). El objetivo perseguido desde un comienzo fue, mediante el uso del software y el hardware adecuado, interactuar con los recursos propios de determinadas experiencias físicas y llevar adelante prácticas para los estudiantes enfocándose en el estudio de los fenómenos. La problemática involucra también encontrar una respuesta a cómo optimizar la realización de prácticas de laboratorio de Física con cursos masivos y limitados recursos de infraestructura.

A través de un proceso de investigación y desarrollo, los LR posibilitan la realización de experiencias a distancia con toma de datos reales. El uso de recursos disponibles a través de la intranet permite el análisis de los datos a través de diversas herramientas como sensores, gráficos, almacenamiento de los datos en formato XML, etc. (Aveleyra, Racero & Villafañe, 2015).

Es necesario destacar la potencialidad de la función social de la remotización permitiendo que, diversas instituciones en el país o fuera de él, compartan material de laboratorio, el cual es difícil de conseguir y de costo muy elevado.

## Evolución del LR

Este proyecto fue creciendo y mejorándose a lo largo del tiempo (Aveleyra, & Martino, 2016; Aveleyra, Racero & Villafañe, 2015; Aveleyra, Racero, Villafañe & Valladares, 2013). Partiendo inicialmente con una placa Arduino<sup>2</sup> Leonardo donde se le había montado un servidor web básico (Aveleyra, & Martino, 2016 y Aveleyra, Racero & Villafañe, 2015), esta plataforma si bien lograba un sistema compacto y transportable sobre la misma mesa de experiencias del LR presentaba capacidades muy reducidas de procesamiento colapsando al recibir más de dos o tres peticiones

---

<sup>2</sup> Arduino es una marca registrada del Arduino Team.

de conexión simultáneas. Si bien se implementó posteriormente un sistema de turnos para el acceso al LR, que impedía estas conexiones simultáneas, la capacidad de cálculo seguía siendo limitada. Por esta razón es que se tomó la decisión de migrar el servidor web a una máquina de escritorio con sistema operativo Windows. Esta PC de escritorio se conectaba a través del puerto serie USB con una placa Arduino central que se comunicaba a su vez con las placas Arduino para la adquisición de datos y para el envío de comandos de control. A su vez, este sistema inicialmente se pensó con el software EJS (Easy Java Simulation) basado en JAVA, pero debido al coste de la firma digital necesario para incorporar software programado en JAVA en un entorno web, resultó prohibitivo dados los recursos disponibles. Por lo tanto, se desarrolló una interface completamente nueva y desde cero usando los lenguajes: HTML, JavaScript y Librería JQuery, Flot; en el *backend* PHP, C++, C y recientemente Python.

Con el objetivo original de desarrollar un sistema compacto que permita poder contar con toda la lógica y el procesamiento sobre la misma mesa del LR (Figura 1) es que se opta por migrar el servidor web a una placa Raspberry<sup>3</sup> Pi 3b. Es esta la que posee la conexión a internet y en la que se aloca la interfaz de usuario programada en HTML/PHP/JavaScript. Dada la naturaleza de utilización del laboratorio remoto de a un usuario a la vez, gestionado por un sistema de turnos, la potencia de procesamiento de la Raspberry resulta más que adecuada para actuar tanto como servidor como para procesar los datos adquiridos resultando a su vez en un hardware económico, transportable y fácilmente conseguible y reemplazable. La utilización de sistemas para experiencias remotas basados en una placa Raspberry y Arduino ya ha sido propuesta con anterioridad (Racero, Villafañe, Aveleyra, Moldaver, & Araya, 2014 y Lustig, Brom, Kuriscak, & Dvorak, 2019) y existen varios proyectos que hacen uso de este tipo de hardware haciendo uso de su alta versatilidad, potencia de cálculo y escalabilidad.

---

<sup>3</sup> Raspberry Pi es una marca registrada de la Raspberry Pi Foundation.

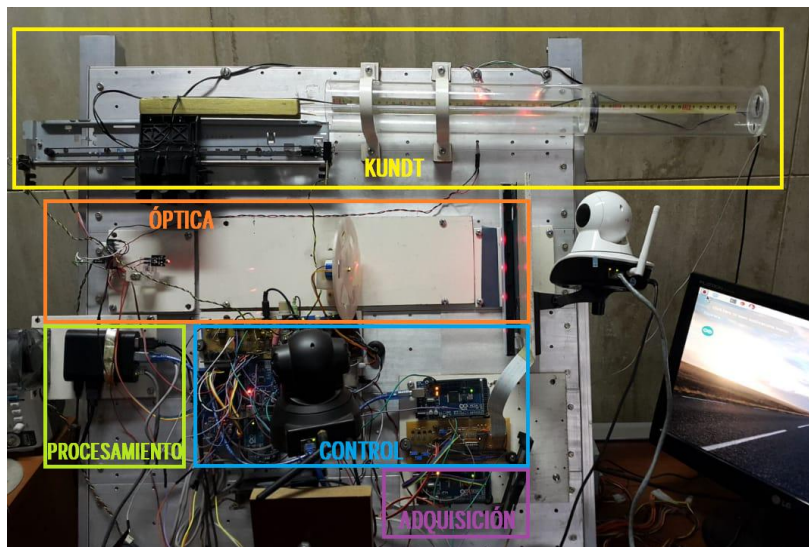


Figura 1: Mesa del laboratorio remoto indicando experiencias, procesamiento y control

De esta manera el esquema de la mesa del LR puede dividirse, por fuera del hardware dedicado a las experiencias, principalmente en tres grupos:

- *Interfaz de usuario y procesamiento.* Sistema que corre sobre la Raspberry Pi 3b, donde el usuario a través de una interfaz puede comandar la mesa y visualizar las señales adquiridas. La comunicación de la Raspberry con las placas de control y adquisición es a través de puertos serie USB.
- *Adquisición.* La adquisición de señales mediante conversores A/D se realiza en una placa Arduino Mega 2560 especialmente dedicada a tal fin. Cabe mencionar que algunas de las señales son previamente acondicionadas utilizando hardware específicamente diseñado.
- *Control.* La activación/medición de señales de control para los motores, láser, leds, fuentes, etc. se realiza mediante placas Arduino Mega 2560 apoyándose en algún hardware específico de ser necesario como placas de transistores en configuración Darlington. Un capítulo aparte merece el control del sensor tipo scanner CIS (Contact Image Sensor) que cuenta con una placa Arduino Mega 2560 dedicada dada la complejidad de señales de sincronismo necesarias para su funcionamiento.

Para el manejo de los dispositivos físicos se han incorporado placas Arduino, con relés para operar diversos dispositivos como motores, sensores y fuentes de alimentación externas, además de otras placas que cumplen distintas funciones auxiliares en la operación del laboratorio remoto. También se ha desarrollado software, como el firmware para los microcontroladores; *frontend*, para medición remota y base de datos de las medidas en formato XML, diseñado en HTML5 y

Javascript desde el lado del cliente y codificación del acceso y cifrado realizadas en lenguaje PHP desde el lado servidor. Se utilizaron los plugins para Moodle del sistema de turnos (Booking System), los cuales fueron modificados para generar claves que permitan el acceso al usuario.

En las últimas versiones se utilizaron diferentes módulos escritos en HTML5, Javascript, JQuery, PHP, C++; la necesidad de usar varios lenguajes se origina en el hecho de utilizar e interconectar elementos diferentes entre sí.

Para poder tener una realimentación visual por parte de los usuarios del uso del LR es que se colocaron dos cámaras IP que permiten visualizar qué es lo que está sucediendo en el laboratorio. Para administrar la conexión de las cámaras fue necesario el uso de un router que posibilita direccionar dichas cámaras a través de varios puertos habilitados para su acceso desde el exterior.

A su vez, fue necesaria la implementación de un sistema de reservas de laboratorios que tiene, entre otros propósitos, organizar la realización de experiencias, con la posibilidad de trabajo en horarios más amplios y accesibles. Esto resulta en un factor importante en el aumento de la dedicación del estudiante, junto a una actitud más activa y profesional respecto a las experiencias prácticas con la consiguiente mejora del proceso de aprendizaje (Aveleyra & Martino, 2016). También se elaboraron manuales y guías para el uso y ejercitación destinadas a los usuarios/estudiantes (Racero, Villafañe, Aveleyra, Moldaver, & Araya, 2014).

## Experiencias implementadas

Las experiencias desarrolladas íntegramente en el laboratorio son inéditas y se controlan por el propio operador desde fuera del laboratorio utilizando la red de la facultad e internet como soporte de comunicación. A continuación, se describen someramente las experiencias finalizadas.

*Difracción de la luz.* El objetivo es obtener una imagen del patrón de difracción y caracterizar la red, conociendo la longitud de onda del láser y la distancia de la red a la pantalla. El sistema permite desplazar un sensor lumínico y tomar registros para el cálculo de las posiciones de los máximos y de su intensidad (Sobota, Pišl, Balda, & Schlegel, 2013).

*Resonancia mecánica.* Permite analizar el fenómeno de resonancia y la determinación de la velocidad del sonido en el aire utilizando un tubo de Kundt. Al inyectar una señal sonora generada por una fuente de señales analógica controlada digitalmente, se censan los valores de señal dentro del tubo con un

micrófono, cuya salida es amplificada y enviada de vuelta al microcontrolador en uno de sus puertos analógicos para su proceso.

## Interfaz de usuario

El acceso a la página principal del LR se realiza a través del enlace <http://cead-labremotos.fi.uba.ar/>. Al ingresar se puede ver un menú con accesos al sistema de turnos, acceso a la interfaz de usuario para el uso del LR y los manuales de utilización junto con las guías prácticas.

### A. Sistema de turnos

Para poder acceder al laboratorio de manera coordinada entre todos los alumnos se diseñó un sistema de turnos. El sistema de turnos garantiza una utilización ordenada del laboratorio, asignando turnos de una hora a cada alumno que deberá solicitarlo con antelación.

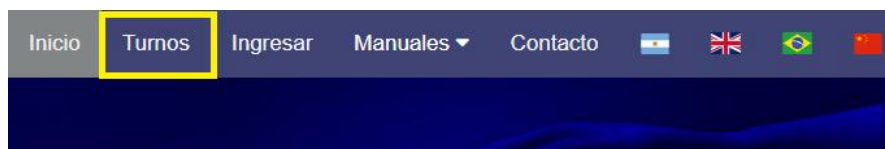


Figura 2: Acceso al sistema de turnos

Los turnos pueden solicitarse generando un nuevo usuario y completando algunos campos de identificación obligatorios y luego seleccionando del mapa entre los turnos disponibles (verde). A su vez se pueden ver los turnos que ya fueron solicitados (rojo).

### B. Ingreso a las experiencias del LR

Desde el enlace presente en el menú superior Ingresar o bien clickeando sobre la imagen de bienvenida se accede a la pantalla de autenticación (Figura 4).



Figura 4: Pantalla de autenticación

Aquí se deberá ingresar el usuario y contraseña previamente definidos al registrar el turno. Si el período de tiempo coincide con el estipulado, por el turno previamente solicitado, entonces se accede al laboratorio remoto.

Una vez validado el usuario se encontrará con la interfaz principal que admite dos modos seleccionables según la experiencia a realizar: Óptica o Kundt (Figura 5).



Figura 5: Perilla de selección entre experiencias

Ambas experiencias cuentan con una visualización de datos gráfica 2D (Figura 6 y Figura 7) que en el caso de Óptica se relaciona con la salida del sensor CIS (Figura 8a) y en la experiencia de Kundt se relaciona con la señal relevada por un micrófono adosado a la pared fija del tubo (Figura 8b).

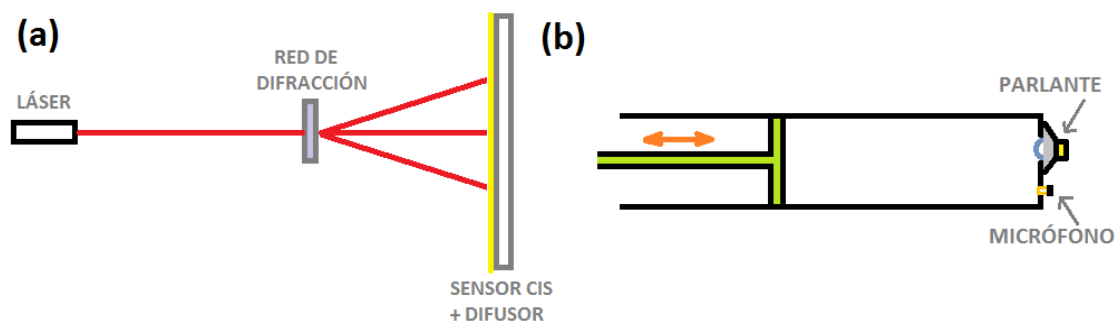


Figura 8: Experiencias: (a) difracción (Óptica); (b) Kundt (Ondas mecánicas)

En ambos casos es posible modificar parámetros del gráfico a través de una botonera que se encuentra debajo del mismo (Figura 10).



Figura 10: Botonera de configuración del gráfico 2D

ESC X: Ajusta la escala del gráfico en el eje X (abscisas).

ESC Y: Ajusta la escala del gráfico en el eje Y (ordenadas).

INTERVALO: Ajusta el tiempo de adquisición de la señal.

INSTANTÁNEA: Permite copiar los datos que se observan en el gráfico, al momento de pulsar directamente al portapapeles.

TRAZO: Permite cambiar el color del trazo del gráfico para lograr mejor contraste.

FONDO: Permite cambiar el color del fondo del gráfico para lograr mejor contraste.

Para el caso de la experiencia Óptica el comando se logra a través de un menú lateral (Fig. 12.a).

LASER ON/OFF: Enciende/apaga el láser que incide sobre las redes de difracción.

CAMBIAR RED: Permite cambiar la red de difracción utilizada.

AJUSTE FINO: Realiza movimientos finos de alineación de la red en un sentido

AJUSTE GRUESO: Realiza movimientos gruesos de alineación en el sentido contrario.



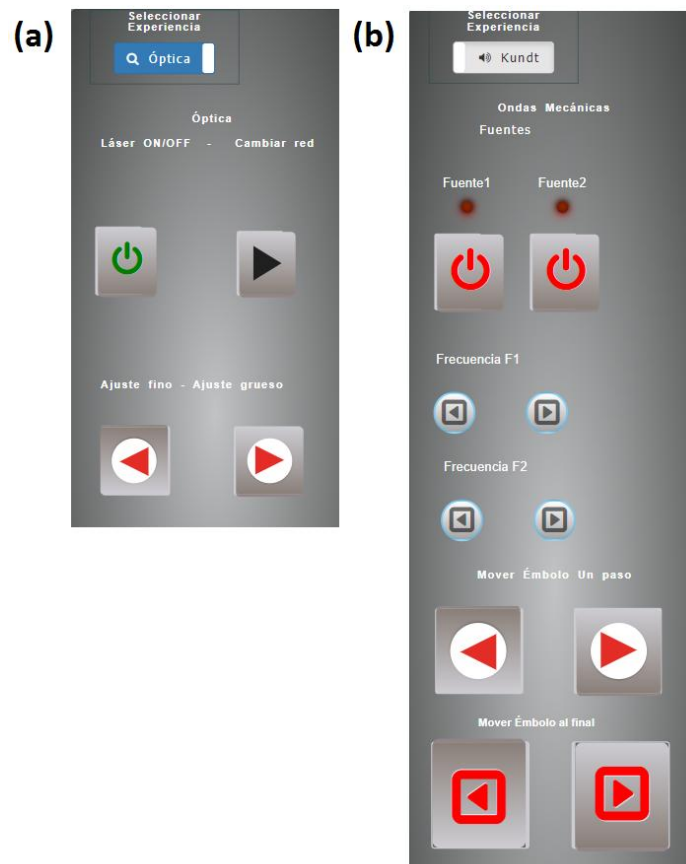


Figura 12: Paneles de control: (a) Óptica; (b) Kundt

En el caso de la experiencia de Kundt el menú lateral de comando es el que aparece en la Figura 12b.

FUENTE 1: Activa/desactiva la fuente fija al tubo (el micrófono se encuentra también fijo, al lado de esta fuente).

FUENTE 2: Activa/desactiva la fuente móvil sobre el émbolo.

FRECUENCIA 1. Dos botones que permiten aumentar/disminuir la frecuencia para la Fuente 1.

FRECUENCIA 2. Dos botones que permiten aumentar/disminuir la frecuencia para la Fuente 2.

MOVER VÁSTAGO UN PASO. Dos botones que permiten mover el vástago de a un paso en ambos sentidos.

MOVER VÁSTAGO A FINAL. Dos botones que permiten mover el vástago de forma continua hasta el final de su carrera en ambos sentidos.

## Conclusiones

A lo largo de la evolución del LR se han ido mejorando tanto el hardware como el software del sistema logrando tener un sistema estable que funciona con confiabilidad y permite a los estudiantes realizar prácticas remotas para la materia Física I. Este avance sienta un antecedente en la búsqueda de la remotización, como herramienta necesaria para la adecuación de recursos digitales en la enseñanza y adaptados al nuevo contexto de aprendizaje.

Sin considerar a éste como un trabajo concluido, se están investigando varias líneas de mejora más allá de la inclusión de las nuevas experiencias previstas para una segunda mesa (péndulo ideal, experiencia sobre la ley de Hooke, cuerpo rígido en rotación para las cuales se utilizará un brazo robot). En particular se prevé continuar en el camino de obtener un sistema de procesamiento/control más compacto basándose en una plataforma de mayor potencia de cálculo y versatilidad como lo es la placa ODROID XU4<sup>4</sup>. También se prevé utilizar la librería Node.js para optimizar código JavaScript. Para dispositivos móviles y teniendo en cuenta futuros trabajos de miniaturización se trabajará con la plataforma Android Studio<sup>5</sup>.

## Bibliografía

- AVELEYRA, E. E., & MARTINO, M. P. (2016). Laboratorios remotos: Experimentación en aulas de física universitaria. Tecnología, innovación e investigación en los procesos de enseñanza-aprendizaje, 2016, ISBN 978-84-9921-848-9, págs. 78-87. <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6015660>>
- AVELEYRA, E., RACERO, D., & VILLAFANE, A. (2015). Physics Remote Labs Integration with Moodle. Memorias IMOOT15, Online Moodle Conference. <<http://2015.imoot.org/> 2015>
- AVELEYRA, E., RACERO, D., VILLAFANE, A., & VALLADARES, F. (2013). Remotización de experiencias de física mediante el uso de hardware y software open source. Memorias del Congreso en Docencia Universitaria. <<http://www.cdu.rec.uba.ar/>>
- LUSTIG, F., BROM, P., KURISCAK, P., & DVORAK, J. (2019). "Hands-on-Remote" Laboratories. En M. E. Auer & R. Langmann (Eds.), Smart Industry & Smart Education (pp. 118-127). Springer International Publishing. DOI: <[https://doi.org/10.1007/978-3-319-95678-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95678-7_13)>
- RACERO, D., VILLAFANE, A., AVELEYRA, E., MOLDAVER, E. & ARAYA, N. (2014). Prototipos de experiencias remotas en laboratorios de ingeniería. Memorias del Congreso en Ingeniería.

---

<sup>4</sup> ODROID es una marca registrada de Hardkernel

<sup>5</sup> <https://developer.android.com/training/basics/firstapp/creating-project?hl=es-419>

- RACERO, D., VILLAFANE, A., AVELEYRA, E., MOLDAVER, E., & ARAYA, N. (2014). Laboratorios remotos para experiencias de Física I. Abstracts de la Jornada Integración de las TICs en la Enseñanza de la Ingeniería.
- SOBOTA, J., PIŠL, R., BALDA, P., & SCHLEGEL, M. (2013). Raspberry Pi and Arduino boards in control education. IFAC Proceedings Volumes, 46(17), 7-12. DOI: <<https://doi.org/10.3182/20130828-3-UK-2039.00003>>