

Remote Laboratory for Signal and System Analysis with Live Experimental Data

Antonio Sebastián Dromundo Escobedo*
Rafael Iriarte Vivar-Balderrama**
Juan G. Rueda-Escobedo**

* Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México,
04510 Ciudad de México, México, asdromundo@ciencias.unam.mx

** Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México,
04510 Ciudad de México, México, juan.rueda@fi.unam.edu,
ririarte@unam.mx

Abstract: Remote laboratories enable real-time scientific and technical experiments via the internet, providing access to physical instruments without on-site presence. By integrating specialized hardware, control software, and live communication tools, they replicate traditional laboratory experiences while improving flexibility and accessibility. They have proven especially valuable in maintaining academic continuity during emergencies such as the COVID-19 pandemic.

This paper presents a remote laboratory developed at the Faculty of Engineering, National Autonomous University of Mexico (UNAM), to support the Systems and Signals Analysis course in the Electrical and Electronics Engineering program. The platform allows students to interact with real-world dynamical system data and signals. Currently in its experimental phase, it will soon be available to the faculty community. We outline the project's motivation, system architecture, and current capabilities.

Keyword List: Education in Control; Systems and Signals; Remote Laboratory

1. INTRODUCCIÓN

Un laboratorio remoto es una plataforma tecnológica que permite a los usuarios acceder, controlar y realizar experimentos científicos o técnicos a través de internet, sin necesidad de estar físicamente presentes en el espacio donde se encuentran los equipos (Solis-Lastra and Albertini, 2021; Poo et al., 2023). Estos laboratorios utilizan hardware especializado, software de control y herramientas de comunicación en tiempo real para replicar las condiciones de un laboratorio tradicional, pero con la ventaja de ser accesibles desde cualquier lugar del mundo. Los laboratorios remotos son especialmente útiles en campos como la ingeniería, donde los estudiantes, investigadores o profesionales pueden interactuar con instrumentos reales mediante una interfaz en línea. Esto facilita el acceso al equipo y lo flexibiliza y, en algunos casos, permite que más usuarios tengan acceso a los equipos.

A diferencia de un laboratorio virtual, donde todo el proceso es realizado en una simulación por computadora (Rassudov and Korunets, 2022; Poo et al., 2023), un laboratorio remoto permite interactuar con el fenómeno

físico real. En educación en ingeniería, un laboratorio remoto ofrece una ventaja clave: los estudiantes manipulan instrumentos auténticos, permitiéndoles desarrollar habilidades prácticas sin limitaciones de ubicación. Además, los laboratorios remotos facilitan el acceso a equipos costosos y fomenta la experimentación segura en entornos controlados. Estas características son ventajosas no sólo para flexibilizar la educación, sino también en un contexto de emergencia como el vivido durante la pandemia de COVID-19 sucedida de 2020 a 2022 (Solis-Lastra and Albertini, 2021; Poo et al., 2023). En una situación análoga, un laboratorio remoto permitiría continuar las actividades educativas, evitando la interrupción de la formación de profesionistas.

Los laboratorios remotos no son nuevos en la educación en ingeniería. Existen ejemplos en la literatura que datan desde la primera década de este siglo (Balamuralithara and Woods, 2009) y que se extienden hasta el día de hoy (Solis-Lastra and Albertini, 2021; Poo et al., 2023). Entre los ejemplos podemos encontrar: una mezcla entre laboratorio virtual y remoto para la enseñanza del control donde la planta es un sistema mecánico (Sáenz et al., 2015); un laboratorio donde se tienen tres prototipos: levitación neumática, robot 2D, y corte al vuelo (Aristizábal and Gutiérrez, 2022); un modelo de planta industrial operada

* Los autores agradecen el financiamiento otorgado por DGAPA-UNAM para realizar este trabajo bajo los proyectos número PA-PIME PE115224 y PAPIIT IT100625.

por PLC (Domínguez et al., 2020); un laboratorio de control de iluminación (Polat and Ekren, 2023); control de llenado de tanques implementado por medio de un Raspberry Pi (Álvarez Ariza and Nomesqui Galvis, 2023); entre muchos otros.

En este trabajo presentamos una parte de nuestra experiencia implementando un laboratorio remoto en la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El laboratorio remoto se implementó para complementar la enseñanza de la asignatura Análisis de Sistemas y Señales en la carrera de Ingeniería Eléctrica Electrónica, y así permitir que los estudiantes tengan contacto con señales y datos provenientes de sistemas reales. El laboratorio se encuentra en estado experimental y próximamente será puesto a disposición de la comunidad académica de la FI-UNAM.

En esta nota, en la Sección 2, primero detallamos las motivaciones al interior de la FI-UNAM que nos impulsaron a proponer el laboratorio remoto. Posteriormente, en la Sección 3, se describe las funcionalidades del laboratorio y se explica como las diferentes partes de la plataforma funcionan y están conectadas. En la Sección 4 se detallan las capacidades actuales del laboratorio remoto y la dirección en la que se está trabajando para mejorarlos. Finalmente, en la Sección 5, se da una perspectiva con base en nuestra experiencia sobre la aplicabilidad y el impacto que este tipo de recursos educativos pueden tener al interior de las universidades.

2. MOTIVACIÓN

En la FI-UNAM se imparte la asignatura de *Análisis de Sistemas y Señales* en la carrera de Ingeniería Eléctrica Electrónica. Esta asignatura tiene como finalidad ser un curso introductorio al área de Control Automático y Dinámica de Sistemas. En principio, esta asignatura también debería acercar a los estudiantes a los sistemas físicos reales y a conocer y trabajar con señales provenientes de estos. Sin embargo, la parte “experimental” del curso está planteada a través de prácticas donde se usa un simulador numérico para obtener las señales con las que se trabajan. Idealmente, y para que la asignatura tenga el impacto esperado en los estudiantes, las señales usadas debería provenir de sistemas reales y ser adquiridas de forma experimental. Sin embargo, en la actualidad no se cuenta con la infraestructura necesaria para que cada estudiante tenga acceso al equipo experimental adecuado.

Por otra parte, hay una tendencia a buscar que los planes de estudio se flexibilicen y permitan cursar algunas asignaturas de forma híbrida. Esto se puede ver, por ejemplo, en los planes de desarrollo institucionales de la UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 2023) y de la misma facultad (Facultad de Ingeniería, UNAM, 2023). Sin embargo, para que esto no reduzca la calidad de la educación, en particular en asignaturas con componente experimental, se debe



Fig. 1. Imagen de la página de inicio del sitio del LRASS.

procurar que los alumnos sigan teniendo acceso a los laboratorios.

Para atender estas dos necesidades, y en específico en el contexto de la asignatura de Análisis de Sistemas y Señales, se planteó la implementación de un laboratorio remoto que dé apoyo a la impartición de esta asignatura.

3. IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO REMOTO

3.1 Descripción General

El Laboratorio Remoto de Análisis de Sistemas y Señales (LRASS) permite a los estudiantes realizar prácticas remotas con señales provenientes de sistemas físicos reales, a través de una plataforma web autoalojada. Esta plataforma gestiona el acceso de usuarios, la interacción con el equipo experimental y la visualización en tiempo real.

El sitio web está disponible en: <https://labremotomd.fi-p.unam.mx/>. La Fig. 1 muestra la página de inicio.

3.2 Flujo de usuario

Desde el punto de vista de un usuario estudiante, el flujo de operación es el siguiente:

- (1) Acceso y autenticación mediante credenciales asignadas.
- (2) Reserva de un espacio de 30 minutos para uso exclusivo del laboratorio.
- (3) Selección de una práctica, visualización del manual e ingreso de parámetros experimentales.
- (4) Ejecución remota de la práctica, con monitoreo en tiempo real vía streaming de video.
- (5) Descarga de resultados, en forma de archivo .mat con señales registradas por el equipo físico.

3.3 Roles de Usuario y Ejecución de Prácticas

Existen tres roles principales en la plataforma:

- **Estudiantes:** Reservan espacio, ejecutan prácticas y descargan resultados.

- **Instructores:** Registran estudiantes y obtienen reportes de uso.
- **Administradores:** Gestionan usuarios, reservaciones y reportes globales.

Los estudiantes deben reservar un espacio de 30 minutos mediante un calendario de disponibilidad (Fig.2). Al iniciar la práctica, acceden al manual y configuran parámetros experimentales en una interfaz gráfica (Fig.3). Durante la práctica, el equipo es monitoreado en tiempo real mediante streaming. Al finalizar, se genera un archivo con las señales adquiridas, que puede ser analizado localmente.

Fig. 2. Formulario de reserva del LRASS.

Fig. 3. Interfaz para configurar parámetros y observar el equipo en tiempo real.

3.4 Criterios de Diseño e Implementación

El diseño del LRASS se centró en maximizar la autonomía, reducir la complejidad y garantizar la sostenibilidad a largo plazo. Para ello, se utilizaron tecnologías de

código abierto, servicios autoalojados y una arquitectura modular. Esto permitió:

- Minimizar costos y dependencia de servicios externos.
- Reutilizar herramientas existentes para simplificar el desarrollo.
- Facilitar mantenimiento y futuras mejoras gracias a documentación y comunidades activas.

Cada componente del sistema es fácilmente reemplazable, asegurando portabilidad y escalabilidad.

3.5 Componentes del Sistema

El LRASS consta de tres componentes principales: *frontend*, *backend* y equipo experimental.

Frontend El *frontend* fue desarrollado con Astro (Astro Contributors, 2025), un framework de JavaScript para sitios web estáticos. Este enfoque reduce el uso de recursos del servidor, ya que solo las operaciones críticas (acceso, reservas y envío de datos) son procesadas en el servidor.

Backend El *backend* gestiona las siguientes funciones:

- Servir la plataforma web.
- Autenticación y gestión de usuarios.
- Registro de datos y reservas.
- Comunicación con el equipo físico.
- Transmisión de video en tiempo real.

Para cumplir estas funciones, se emplearon las siguientes herramientas de código abierto:

- **Caddy:** Actúa como *reverse proxy*, redirigiendo solicitudes y gestionando certificados SSL para una conexión segura (https).
- **PocketBase:** Administra la base de datos, autenticación, reservas y estadísticas. Además, ejecuta operaciones del lado del servidor, como la interacción con el equipo experimental mediante scripts en JavaScript.
- **Broadcast Box y OBS Studio:** Implementan el sistema de transmisión de video en tiempo real, utilizando el protocolo WHIP/WHEP.

La Fig. 4 ilustra cómo interactúan los componentes del *frontend* y *backend*.

3.6 Equipo Experimental

Actualmente el laboratorio cuenta con un freno ABS de la marca Inteco (Inteco, 2025), aunque en principio cualquier equipo que pueda ser operado a través Matlab/Simulink puede usarse. Este equipo puede ser operado como un sistema de segundo orden con amortiguamiento variable. Sea $\theta(t)$ el ángulo del disco del freno. Está variable está descrita por la siguiente ecuación diferencial de segundo orden:

$$J\ddot{\theta}(t) = -\beta(t)\dot{\theta}(t) + \tau(t).$$

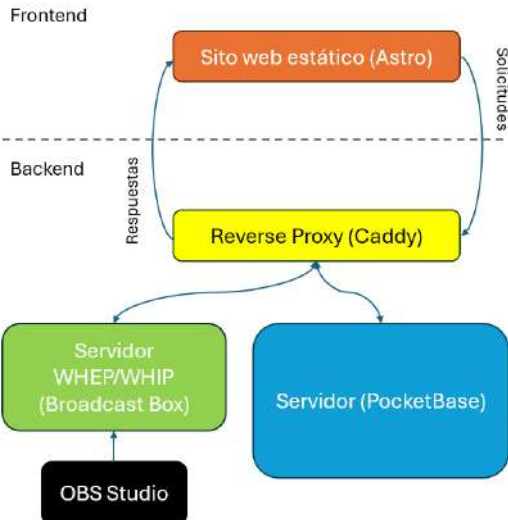


Fig. 4. Diagrama que muestra las diferentes partes que conforman la plataforma del LRASS y como interactúan entre ellas.



Fig. 5. Imagen del equipo experimental instalado en el laboratorio: freno ABS de la marca Inteco.

Aquí, $J > 0$ representa la inercia del disco, $\beta(t) \geq 0$ es un coeficiente de fricción variable y $\tau(t) \geq 0$ es un par mecánico de entrada. Tanto $\beta(t)$ como $\tau(t)$ pueden ser modificados durante la operación del equipo. Ajustando estos factores, en particular $\beta(t)$, se pueden lograr respuestas sobre amortiguadas así como críticamente amortiguadas. Sin embargo, al no tener acción negativa ($\tau(t)$ sólo puede ser no negativo), no se pueden emular respuestas subamortiguadas.

El uso regular del equipo es por medio de **Matlab/Simulink**. El fabricante provee un bloque de **Simulink** que permite interactuar con el equipo al enviar la señal

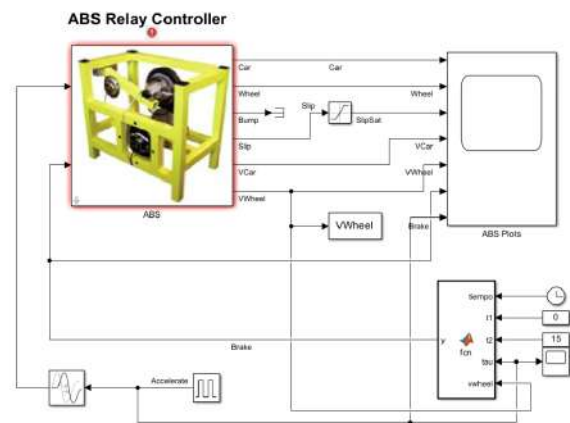


Fig. 6. Ejemplo del diagrama de bloques de Simulink para la implementación de prácticas.

al actuador $\tau(t)$ así como al freno $\beta(t)$. En una práctica ordinaria, se debe preparar un archivo de **Simulink** que incluya este bloque así como el resto de código acorde a la actividad que se va a realizar. Para emular esto de manera remota, se prepararon archivos de **Simulink** correspondientes a las diferentes prácticas. Estos archivos contienen parámetros que son tomados del *workspace* de **Matlab** y deben ser previamente cargados. Para hacer esto, se preparó un archivo **m** de **Matlab** que los contiene y define en el workspace. Este archivo es editado por el servidor (PocketBase) para sobre escribir los parámetros con los seleccionados por el usuario. Una vez editado, el servidor ejecuta un archivo **bat** que llama a **Matlab** sin el entorno gráfico (sólo línea de comandos) y le instruye ejecutar el archivo **m**. Al ejecutar el archivo **m** se cargan los parámetros de configuración de la práctica y se corre el archivo de **Simulink** (también sin entorno gráfico). Ésto ejecuta la práctica. Dentro del archivo de **Simulink** se incluyen bloques que envían las señales provenientes del equipo (posición, velocidad, par de entrada) al workspace de **Matlab**. Dentro del mismo archivo **m** se dan instrucciones de guardar estas variables en un archivo de **Matlab** tipo **mat**. Al finalizar, el servidor envía este archivo al usuario, el cual contiene las señales adquiridas durante el experimento y que serán requeridas para concluir la práctica remota.

A manera de ejemplo, en la Fig. 6 se muestra uno de los diagrama de bloque de Simulink usado en las prácticas.

La ventaja de operar el equipo a través de un archivo `m` de **Matlab** es que es muy fácil cambiar de equipo. Cualquier equipo educativo que pueda ser operador por medio de **Matlab/Simulink** puede ser integrado de esta forma. En el caso de **LRASS**, el equipo de computo que funge como servidor tiene la capacidad de conectarse a un equipo adicional. Esto permitirá tener la opción de operar dos equipos distintos de manera simultanea, aumentando la capacidad de atención a usuarios.

4. CAPACIDADES DEL LABORATORIO

Actualmente, el LRASS permite un sólo usuario simultáneo al cual se le otorgan 30 minutos para interactuar con el equipo. Sin embargo, el LRASS está disponible las 24 horas del día, los siete días de la semana. Esto permite que los usuarios puedan escoger el momento de uso a su conveniencia.

De momento, se tienen implementadas tres prácticas de laboratorio:

- (1) Efectos de la amplitud y frecuencia en la respuesta de un sistema.
- (2) Respuesta a un escalón y a una entrada sinusoidal.
- (3) Obtención experimental del diagrama de Bode de amplitud.

En la primera practica, el estudiante puede modificar tanto la amplitud de la señal de entrada como su frecuencia. Al terminar el experimento, recibe la serie de tiempo de la velocidad angular del disco del freno. Se le pide que determine la amplitud de la velocidad angular como función de la amplitud de entrada y de la frecuencia. Con esto, se busca que el estudiante identifique el efecto de la frecuencia en la amplitud de la respuesta.

En la segunda práctica, se le pide al estudiante que aplique escalones de diferentes amplitudes al equipo, así como señales sinusoidales de diferentes frecuencias. Con la información recabada del experimento, se busca que el estudiante pueda caracterizar los parámetros que definen la dinámica del equipo.

Finalmente, en la tercera práctica, se busca que el estudiante pueda construir una aproximación del diagrama de Bode del equipo al aplicar entradas de diferente frecuencia y medir la respuesta del sistema.

Aunque de momento el repertorio de prácticas es limitado, se busca que este se incremente con el tiempo y, eventualmente, se pueda extender el servicio a otras asignaturas como *Fundamentos de Control* y *Control Automático*.

5. CONCLUSIONES

La implementación del Laboratorio Remoto de Análisis de Sistemas y Señales (LRASS) en la Facultad de Ingeniería (FI), UNAM, representa un avance hacia un modelo educativo flexible y accesible, al tiempo que refuerza y complementa los contenidos ya impartidos en la asignatura. Se prevé que esta herramienta contribuya positivamente tanto a la calidad de la enseñanza como al nivel de aprendizaje alcanzado por los estudiantes, al brindarles la oportunidad de interactuar con sistemas reales desde cualquier lugar.

La arquitectura elegida para desarrollar la plataforma permite una expansión continua y una escalabilidad eficiente. Aunque el laboratorio se encuentra aún en fase experimental y cuenta con un repertorio inicial limitado

de prácticas y equipos, sus capacidades actuales son suficientes para alcanzar los objetivos formativos centrales del curso.

A mediano plazo, se contempla ampliar el número de prácticas disponibles y diversificar los equipos experimentales, lo que aumentará la riqueza del laboratorio. Asimismo, se espera que esta iniciativa pueda ser replicada en otras asignaturas del área de control automático.

REFERENCIAS

- Aristizábal, J.E.C. and Gutiérrez, J.G.H. (2022). A remote laboratory platform for teaching automation and control. In *2022 IEEE 40th Central America and Panama Convention (CONCAPAN)*, 1–6.
- Astro Contributors (2025). The web framework for content-driven websites. <https://astro.build/>. Accessed: 2025-06-27.
- Balamuralithara, B. and Woods, P.C. (2009). Virtual laboratories in engineering education: The simulation lab and remote lab. *Computer Applications in Engineering Education*, 17(1), 108–118.
- Domínguez, M., González-Herbón, R., Rodríguez-Ossorio, J.R., Fuertes, J.J., Prada, M.A., and Morán, A. (2020). Development of a remote industrial laboratory for automatic control based on node-red. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 17210–17215. 21st IFAC World Congress.
- Facultad de Ingeniería, UNAM (2023). Plan de desarrollo 2023-2027. <https://www.ingenieria.unam.mx/planeacion/eg/PDD2023-2027/>. Accessed: 2025-06-27.
- Inteco (2025). Abs antilock braking system. <https://www.inteco.com.pl/products/abs-antilock-braking-system/>. Accessed: 2025-06-27.
- Polat, Z. and Ekren, N. (2023). Remote laboratory trends for distance vocational education and training (d-vet): A real-time lighting application. *International Journal of Electrical Engineering & Education*, 60(2), 188–203.
- Poo, M.C.P., Lau, Y.y., and Chen, Q. (2023). Are virtual laboratories and remote laboratories enhancing the quality of sustainability education? *Education Sciences*, 13(11).
- Rassudov, L. and Korunets, A. (2022). Virtual labs: an effective engineering education tool for remote learning and not only. In *2022 29th International Workshop on Electric Drives: Advances in Power Electronics for Electric Drives (IWED)*, 1–4.
- Solis-Lastra, J. and Albertini, B. (2021). A light systematic literature review on remote laboratories for engineering. In *2021 IEEE Sciences and Humanities International Research Conference (SHIRCON)*, 1–4.
- Sáenz, J., Chacón, J., De La Torre, L., Visioli, A., and Dormido, S. (2015). Open and low-cost virtual and remote labs on control engineering. *IEEE Access*, 3, 805–814.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (2023). Plan de desarrollo institucional. <https://>

www.rector.unam.mx/docs/PDI-2023-2027.pdf. Accessed: 2025-06-27.

Álvarez Ariza, J. and Nomesqui Galvis, C. (2023). Raspy-control lab: A fully open-source and real-time remote laboratory for education in automatic control systems using raspberry pi and python. *HardwareX*, 13, e00396.