

# Propuesta de laboratorios remotos para la interacción con prácticas de física orientada a la formación de ingenieros

Carlos Felipe Ordoñez Urbano, Jorge Adrián Muñoz, Leonairo Pencue Fierro, Juan Fernando Flórez Marulanda, Rubiel Vargas-Cañas

**Resumen-** La formación académica de profesionales, especialmente en ingenierías, debe permitir leer el entorno de manera confiable para la adecuada toma de decisiones. Esto es importante para ingenieros en formación, que continuamente cuantifican y analizan el funcionamiento de los sistemas. En la coyuntura actual, donde se mezcla el trabajo presencial y virtual gracias a los avances en tecnología, la formación profesional, debe establecer alternativas flexibles para asimilar el conocimiento fenomenológico, sin sacrificar los aspectos esenciales de la experimentación real, que muestran a los laboratorios remotos como alternativa para fortalecer estos aspectos a partir de la práctica a distancia. La presente investigación planteó y desarrolló un esquema de arquitectura funcional para los laboratorios de física mecánica basada en la interacción remota, que permiten configurar las condiciones iniciales de funcionamiento, ejecutar los experimentos y recolectar los datos en tres prácticas básicas de física como caída libre, ley de Hooke y movimiento parabólico. La arquitectura propuesta es escalable bajo el enfoque del Internet de las Cosas, con los elementos hardware y software necesarios empleando interfaces de interacción amigables, permitiendo que los laboratorios remotos desarrollados sean una alternativa para la formación de estudiantes de ingeniería, sin requerir la presencialidad para su ejecución.

**Palabras clave –** Aprendizaje basado en experimentación, Internet de las cosas, Instrumentación didáctica, Laboratorios remotos.

**Abstract—** The academic training of professionals, especially in engineering, should allow them to read the environment in a reliable manner in order to make appropriate decisions. This is important for engineers-in-training, who continually quantify and analyze the performance of the systems. In the current juncture, where in-person and virtual work blend thanks to technological advancements, professional training must establish flexible alternatives to assimilate phenomenological knowledge without sacrificing the essential aspects of real experimentation. Remote laboratories are presented as an alternative to strengthen these aspects through distance practice. The present research proposed and developed a functional architecture scheme for mechanical physics laboratories based on remote interaction, which allows

configuring the initial operating conditions, running the experiments and collecting data in three basic physics practices such as free fall, Hooke's law and parabolic motion. These three practices, even in laboratory conditions, present noise and uncertainty typical of real systems given the different measurement processes. The proposed architecture is scalable under the Internet of Things approach with the necessary hardware and software elements using friendly interaction interfaces, allowing the developed remote laboratories to be an alternative for the training of engineering students, without requiring presence for its execution.

**Keywords –** Didactic instrumentation, Experiential learning, Internet of things, Remote laboratories.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la gran cantidad de avances tecnológicos que se presentan para hacer mejores desarrollos en ingeniería y en educación, cuentan con dispositivos de medición robustos, altas velocidades de comunicación, plataformas de desarrollo y almacenamiento en la nube, recursos audiovisuales, entre otros, permiten fortalecer las herramientas que se emplean en la academia, para brindar mejores espacios de interacción y fomentar la experimentación en los estudiantes, así como, implementar sistemas que les ayudan a flexibilizar su aprendizaje [1]-[3].

En los programas de formación en ingeniería, el desarrollo de laboratorios o prácticas experimentales es fundamental para que los estudiantes, apliquen sus conceptos teóricos o verifiquen leyes que gobiernan la naturaleza, mediante diferentes procesos de medición [4]-[5]. Dentro de estas modalidades, se han generado laboratorios virtuales (LV) que se fundamentan en simulaciones construidas con software, para emular comportamientos físicos reales [6]-[8], así como, laboratorios remotos (LR) que permiten la experimentación real a distancia a través de interfaces computacionales. En los dos casos se puede acceder cuando el estudiante lo requiera sin límite en horario [9]-[11].

Juan Fernando Flórez Marulanda, Departamento de Automática, Universidad del Cauca, Colombia, Calle 5 # 4-70, Campus Tulcán (e-mail: jflorez@unicauca.edu.co).

Rubiel Vargas-Cañas, Departamento de Física, Universidad del Cauca, Colombia, Calle 5 # 4-70, Campus Tulcán (e-mail: rubiel@unicauca.edu.co).

Carlos Felipe Ordoñez Urbano, Departamento de Física, Universidad del Cauca, Colombia, Calle 5 # 4-70, Campus Tulcán (Teléfono: +57 3152106681; e-mail: cfordonez@unicauca.edu.co).

Jorge Adrián Muñoz, director División de las TICS, Universidad del Cauca, Colombia (e-mail: jorgevelasco@unicauca.edu.co).

Leonairo Pencue Fierro, Departamento de Física, Universidad del Cauca, Colombia, Calle 5 # 4-70, Campus Tulcán (e-mail: leonairo@unicauca.edu.co).

Los laboratorios en modalidad remota tienen equipamiento físico, y dispositivos para acceso y manipulación vía internet en cualquier momento para la actividad experimental, de tal forma que permiten realizar experiencias en tiempo real como si se experimentará en un laboratorio tradicional [12]-[13]. Estos aprovechan las tecnologías de la información, computación en la nube e internet de las cosas [14], que han mejorado la infraestructura para los trabajos remotos, procesos de automatización y experiencias ingenieriles a distancia. Algunas universidades a nivel mundial han incorporado estas tecnologías enfocadas a laboratorios remotos en temáticas de ciencias e ingeniería como Stanford, Universidad de Australia del Sur, Deusto, La Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC) con su laboratorio de experimentación remota RExLab, la Universidad Nacional del Litoral y la Universidad Nacional de Rosario en Argentina [12]-[13],[15]-[17].

Para el aprendizaje sincrónico a distancia con plataformas telemáticas, la convergencia tecnológica ha estimulado nuevas aplicaciones y la capacidad de integrar servicios. En el pasado los tiempos de respuesta tardíos no eran viables para un buen flujo en la interacción con el experimento, sin embargo, en la actualidad los tiempos de respuesta por conectividad se ha optimizado lo cual permite, por ejemplo, el intercambio de información a miles de *gamers* desde diferentes lugares del planeta y donde tienen sesiones completamente fluidas en la medida que avanza el juego [18].

Estas capacidades, permiten la interacción remota con el instrumental dentro del laboratorio para realizar experimentos con diferentes parámetros, seguimiento visual por transmisión o *streaming* de video [19]-[21], y obtención de datos para los análisis respectivos, sin perder el objetivo de la práctica, sólo que los usuarios no están de cuerpo presente en el laboratorio, pero con la posibilidad de manipular los equipos y obtener los datos a través de las ventajas de la Internet actual [18],[22]. El esquema permite la flexibilidad en la toma de turnos para el uso de los experimentos, con un horario más amplio que el horario de uso presencial [23].

La presente investigación busca implementar un conjunto de componentes hardware, software, de comunicación y de almacenamiento, para realizar experimentos de física básica en mecánica de forma remota, empleando tecnologías actuales, como bases de datos en tiempo real, módulos de conectividad inalámbricos, entre otros, para estructurar de forma modular una arquitectura, que permita la manipulación de dispositivos físicos de medición a través de una plataforma web cliente-servidor que sea adaptable a los experimentos, brinde escalabilidad, y contribuya al acceso e interacción remota por parte de los estudiantes de ingeniería para que realicen las prácticas de física en horarios no habituales. Con lo anterior, se logró el ensamble de tres prácticas en física de mecánica, que son manipuladas de forma inalámbrica a través de la plataforma web, la cual presenta módulos de acceso estudiantil, profesoral y agendamiento para realizar las practicas. Los dos principales objetivos son brindar acceso a las comunidades aisladas con dificultades de desplazamiento hasta las instalaciones de la

universidad y permitir una formación académica a distancia con un alto grado de experimentación.

## II. METODOLOGÍA

Un laboratorio remoto, debe permitir el acceso desde cualquier lugar haciendo uso de internet. La accesibilidad a los experimentos requiere de ciertos elementos fundamentales para una óptima operación, que se divide en tres bloques dentro de una arquitectura básica que son: una parte hardware, una parte software y una etapa de comunicación en dos vías [16],[24].

En este sentido, el desarrollo de estos tres bloques requirió la implementación de nuevas tecnologías de la información para cada uno de los laboratorios seleccionados; todo en una arquitectura de tipo IoT (internet de las cosas) con cuatro fases: sensores y actuadores, recolección de datos y acceso a internet mediante la conexión LAN/WAN, preprocesamiento de datos en el lugar de las plantas, y centro de datos o nube para gestionar, visualizar y almacenar los datos de forma segura. El proceso tiene dos capas que se han denominado como: capa física, que incluye las tres primeras fases de la arquitectura IoT, y otra capa, digital o módulo general de monitoreo y control de las prácticas experimentales, con una plataforma de interactividad que está inmersa en la fase cuatro de la arquitectura, la cual, se desarrolló en una arquitectura tradicional de software cliente-servidor.

### A. Capa Física

La capa física en cada experiencia tiene dos componentes hardware y software como se esquematiza en la Fig. 1. El componente hardware, son los elementos físicos necesarios para la operación de una práctica o planta (P) en el área de mecánica: engranajes, piñones, servomotores, estructuras, lanzadores, electroimanes, finales de carrera y pulsadores (A), que involucran lo necesario para el movimiento de cuerpos y generación de experiencias repetitivas. Se incluyen variados sensores (S), para medición de tiempo, distancia, elongaciones y fuerza, así como, dispositivos de video para presenciar y vivir la experiencia, que, a su vez, brindan la opción de aplicar procesamiento de video para extraer mayor información de tiempo y distancia que refuerzan el proceso de medición. El componente software está embebido en los dispositivos ESP32, los cuales realizan los algoritmos de escaneo, detección, medición, ejecución y comunicación con la capa digital. Este módulo recibe los parámetros de operación (ángulo, elongación, altura, comandos de inicio) para que funcionen las plantas, y envía los datos medidos por los sensores hacia internet donde está la capa de interacción digital.

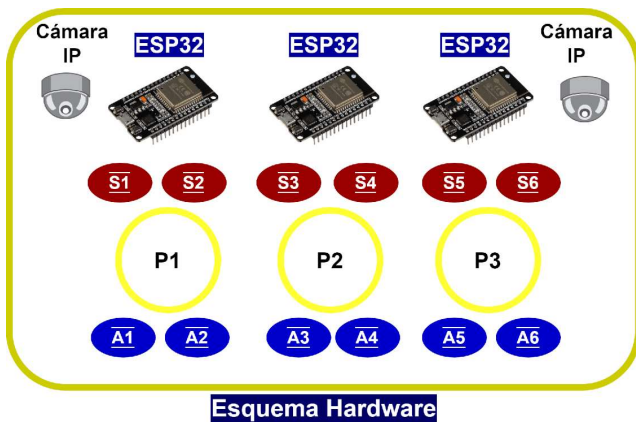


Fig. 1. Esquema de capa física para cada planta (P: planta, S: sensor, A: actuador), ESP32- hardware para gestión de software que opera las plantas.

### B. Capa digital

La capa implementada involucra aspectos necesarios de la fase cuatro de una arquitectura de IoT, que consta del centro de datos en la nube, un sistema de gestión de la información, y la plataforma de monitoreo y visualización de datos.

Se estructuró y desarrolló la interfaz de monitoreo o *frontend* como en la Fig. 2a, con el framework de AngularJS, que emplea una arquitectura de desarrollo software web llamada Modelo Vista Control (MVC), facilitando la organización para cada sección que se presenta en pantalla. Lo anterior, permite el trabajo modular en caso de agregar más vistas para otras experiencias. Así mismo, el *backend* para almacenar, consumir y modificar los datos de comunicación con las plantas como se ejemplifica en la Fig. 2b, a través de herramientas de google firebase para optimizar la comunicación y el despliegue en tiempo real de la información, empleando modelos de base de datos no relacionales (NoSQL) que agilizan la escritura y lectura de datos.

## I. RESULTADOS

La experimentación remota desarrollada, ha implementado montajes experimentales para los fenómenos físicos de caída libre, movimiento parabólico y ley de Hooke. El montaje de cada planta, implica una serie de elementos mecánicos y electrónicos para manipular variables físicas de entrada, medir variables de salida y exportar los datos experimentales. En caso de un error físico o de comunicación, el sistema notifica al usuario remoto y al laboratorista encargado de la planta para tomar acciones correctivas.

Esta forma de trabajo, permite escalar a otras áreas o experiencias en forma modular cada etapa, donde solo se harían cambios en la estructura física propia de cada experimento y en los sensores que están en función de la variable física a medir.

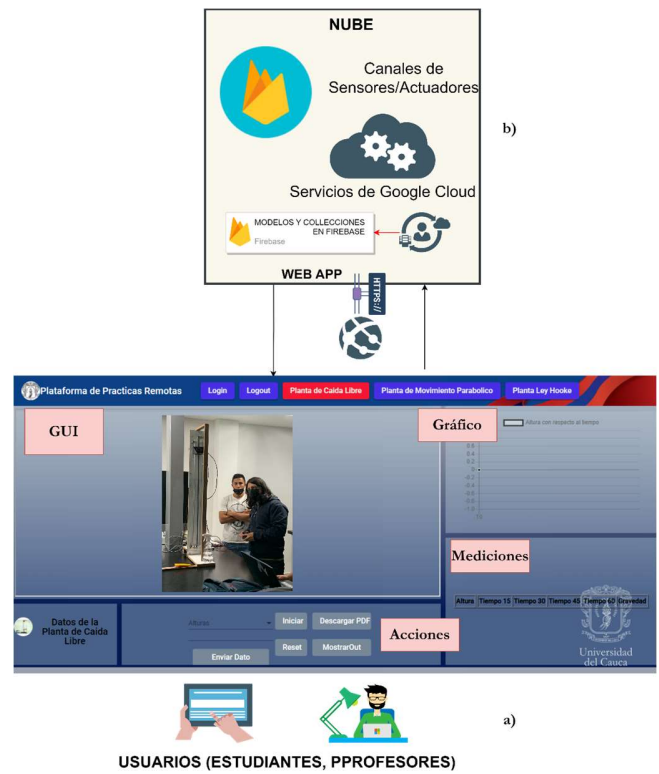


Fig. 2. Esquema de capa digital general (a) interfaz de interacción humana, (b) sistema de almacenamiento de datos BD.

### A. Planta de Caída Libre

La caída libre es un experimento, que describe el movimiento uniformemente acelerado vertical de un cuerpo por efectos de la gravedad. La planta de caída libre consta de: una barra metálica fija sobre la cual se instaló un electroimán con base móvil, que se mueve en vertical desde el extremo superior para sujetar un balín metálico, hasta la parte inferior donde recoge el balín. Adicionalmente, un sensor óptico que detecta cuando el balín ha caído a la posición más baja, y un motor paso a paso para fijar la posición del sensor como se observa en la Fig. 3.

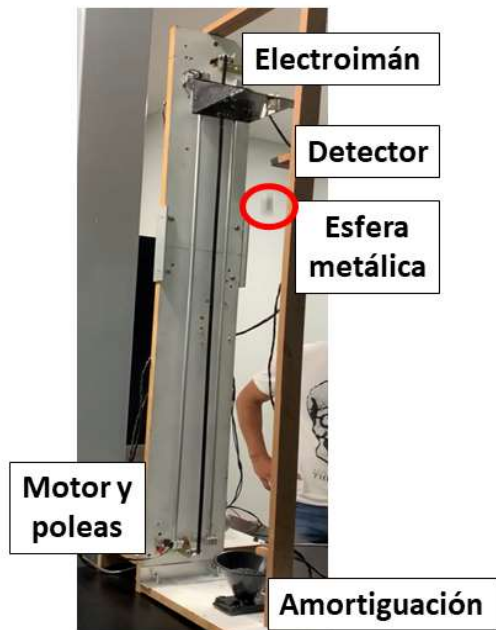


Fig. 3. Planta de caída libre

El usuario selecciona la posición del sistema donde se inicia la liberación del objeto, en un rango de 0 a 90 cm, que se posiciona a través del movimiento de un motor paso a paso y una correa metálica, y posteriormente, se estima el tiempo de caída en sincronía, entre la activación del electroimán y el sensor de caída. Una cámara IP transmite para generar realimentación visual, así como de la posición, para tomar esa información hacia la interfaz web. El usuario determina entre 5, 10 y 15 repeticiones del experimento, para lo cual tiene asignada una hora de trabajo que es monitoreada desde el agendamiento, y estas mediciones de posición y tiempo del proyectil se exportan hacia la parte visual en la web.

### B. Planta de Movimiento Parabólico

El movimiento parabólico relaciona un movimiento uniformemente acelerado en el eje vertical  $Y$  con un movimiento rectilíneo uniforme en el eje horizontal  $X$ . El movimiento parabólico inicia por el lanzamiento de un proyectil a una determinada velocidad y un ángulo de inclinación horizontal. En la Fig. 4, se ilustra la planta de movimiento parabólico, conformada por un brazo robótico que permite variar el ángulo de inclinación horizontal y como terminal tiene un sistema de elongación del resorte sujeto al proyectil.

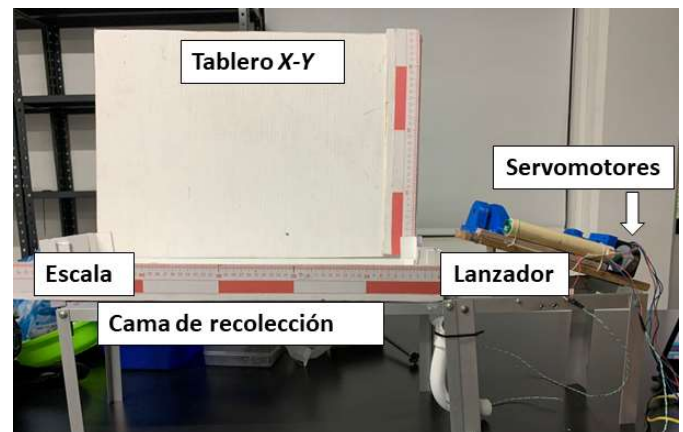


Fig. 4. Planta de movimiento parabólico

Al inicio de la operación de la planta, el usuario selecciona el ángulo de inclinación entre un rango de  $15^\circ$  a  $75^\circ$  con pasos de  $15^\circ$ . Un motor incorporado con un tornillo sin fin con un engranaje ajusta el ángulo de inclinación y una cámara mide el ángulo. De acuerdo al ángulo seleccionado el usuario puede elegir la velocidad de lanzamiento del proyectil entre 1, 2 o 3 cm/s. Un resorte en contacto con el proyectil realiza el disparo. Un motor alarga o comprime el resorte a la posición de disparo para ajustar la velocidad, hay realimentación visual por cámara de la posición del resorte. Por último, el usuario determina entre 5, 10 y 15 repeticiones del experimento.

Una cámara graba el movimiento del proyectil desde el inicio del lanzamiento hasta el aterrizaje para las mediciones experimentales, tantas veces como el usuario haya seleccionado. El procesamiento extrae de los videos distintos tiempos parciales con la respectiva posición del proyectil en el eje  $X$  y en el eje  $Y$ .

### C. Planta de Sistema Masa-Resorte

La ley de Hooke determina la magnitud de elongación o compresión de un resorte dependiendo de la fuerza traslacional sobre sus extremos. Con la elongación y fuerza aplicada, se determinan la constante de elasticidad del resorte. La planta masa resorte que se muestra en la Fig. 5, está conformada por un juego de pesas de laboratorio y un resorte en posición vertical, sujeto en su extremo superior, en el extremo inferior tiene un contenedor de peso, un brazo robot coloca pesas en el contenedor.

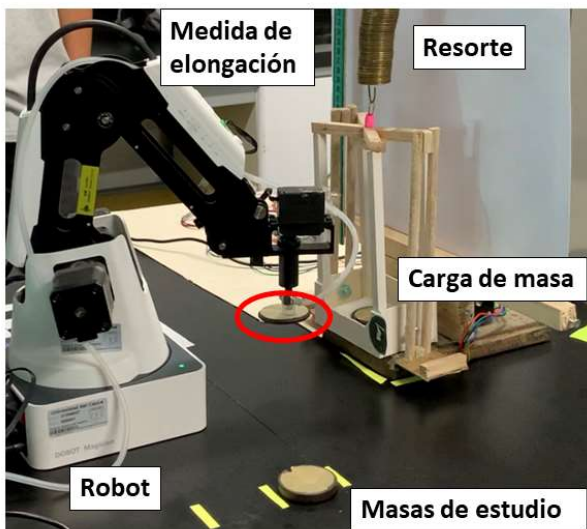


Fig. 5. Planta de sistema masa resorte

El valor del resorte varía de acuerdo con la disponibilidad en el laboratorio. El usuario de forma remota selecciona el peso entre 0 a 250 g-F. El brazo robot selecciona la pesa correspondiente por medio de un código de colores verificado por una cámara.

Al colocar el peso, una cámara mide la elongación del resorte en centímetros, cuyo proceso termina al alcanzar una elongación máxima del resorte de 15 cm, que dependerá de la rigidez del mismo, posteriormente, se exportan los datos de los pesos utilizados y la deformación generada en el resorte.

#### D. Arquitectura para comunicación Cliente-Servidor

La plataforma brinda una interfaz dependiendo del rol del usuario. En el caso de los estudiantes, permite acceder a las diferentes prácticas habilitadas para su caso, como se observa en la Fig. 6, sus respectivas credenciales, la plataforma permite interactuar con las interfaces, ejecutar los experimentos y recoger los datos como se observan en la Fig. 7. Las interfaces de usuario presentan únicamente las opciones necesarias para cada experimento, reduciendo la dificultad de ejecutar cada planta. Una vez asignada una práctica a un grupo de estudiantes, hay un tiempo limitado de uso para optimizar el acceso y habilitar a otros grupos en un plazo adecuado. En el caso de los docentes, están en capacidad de agregar asignatura, laboratorios, estudiantes de cada curso, agendar una práctica, los cuales se muestran en la Fig. 8.



Fig. 6. Interfaz de las prácticas a experimentar en vista-estudiante

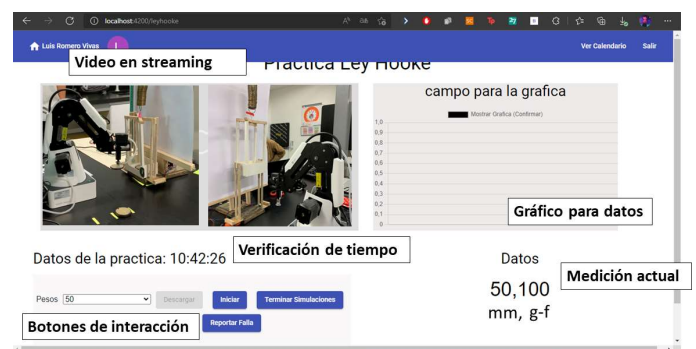


Fig. 7. Ejemplo de Interfaz para planta de Sistema masa Resorte



Fig. 8. Ejemplo de Interfaz de vista-docente

El framework AngularJS facilita el uso de los recursos asociados a los diferentes datos que provienen de los sistemas físicos. La arquitectura MVC (modelo-vista-control) de AngularJS permite el enlace de datos en doble vía (double binding) para hacer que el despliegue, y cambio en la información mostrada sea imperceptible para el usuario. Adicionalmente hay interacción al realizar mediciones reales. El uso de recursos de almacenamiento con bases de datos en tiempo real (como en *google Firebase* haciendo uso de *real time database* y *firestore database*) y optimiza la presentación de los datos en las interfaces web.

Por otro lado, para mejorar la operación sobre la arquitectura de laboratorios remotos en el servicio web, los autores desarrollaron un módulo de agendamiento de prácticas, que desde los roles de docente o estudiante permite separar día y hora de trabajo, evitando solapamiento de trabajos grupales, como se muestra en la Fig. 9. Este módulo presenta los horarios disponibles para desarrollar algún experimento, y quienes ocupan la planta física, brindando mayor flexibilidad de trabajo y sobre todo permitir la opción de escalabilidad para otros montajes remotos.

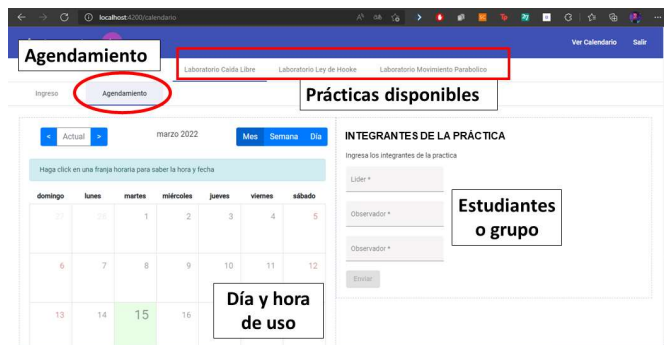


Fig. 9. Módulo de agendamiento para sesión de trabajo

La transición entre vistas es eficiente, cargando los datos respectivos en modo docente, estudiante, información referente a los bloques de tiempo reservados, y la información de las variables físicas medidas. Al corroborar lo enviado por los equipos físicos, y lo almacenado en las colecciones de datos (BD) hay una visualización satisfactoria de los datos experimentales, es decir, no se presenta pérdida o lectura errónea entre lo enviado y lo leído.

## II. DISCUSIÓN

La evaluación de desempeño de la arquitectura usó tres tipos de métricas: la efectividad en la comunicación cliente – servidor con base en la solicitud, respuesta al cliente y disponibilidad, la efectividad en el funcionamiento de las plantas desarrolladas y el grado de satisfacción de los usuarios.

### A. Funcionamiento de las plantas hardware desarrolladas

Alcanzando la integración de los sistemas descritos y la interoperabilidad, el siguiente paso de la plataforma fue el acceso al control de los actuadores y lectura de los datos al ejecutar el experimento específico. Una de las tareas iniciales es la configuración correcta de los puertos que controlan los actuadores y realizan la lectura de los datos, de manera que correspondan a los controles asignados en la interfaz de usuario brindada en la plataforma, aspecto que se implementa una única vez como parte de la comunicación.

Entre los elementos esenciales para el funcionamiento correcto de la plataforma, está la sincronización de los

elementos físicos interoperantes. Particularmente, la configuración de las condiciones iniciales, ajustes a cero, el disparo de los mecanismos para observar el fenómeno, la recolección de datos y el regreso a las posiciones iniciales, ya sea para repetir el proceso o finalizar la medición de la experiencia, en donde, la plataforma apaga o bloquea los dispositivos.

En la Fig. 10, se ilustra un diagrama general del funcionamiento con base en el hardware empleado en la planta de caída libre, resaltando los actuadores (motor, poleas y electroimán), sensores (fotodetectores, cronómetro), los datos de salida y el sistema de alimentación. El motor paso a paso, permitió un movimiento sin falla o bloqueo para que el electroimán tuviese el movimiento vertical, y el sistema que recibe el balón, un óptimo acolchado para evitar que saliera del sistema, reduciendo la intervención humana para su funcionamiento. Adicionalmente, se muestra el diagrama de flujo de operación para las plantas en Física implementadas en la Fig. 11, que indica la lógica y los ciclos de control para determinar la disponibilidad del sistema de medición, el número de ciclos para la toma de medidas y el número de medidas exitosas. De igual manera, este sistema en lazo cerrado, emplea la bandera de uso y banderas sobre los dispositivos de detección, primero, para evitar que otro sujeto pueda darle órdenes a un hardware en operación, y segundo, para garantizar que una vez ha realizado la medida correspondiente, el dispositivo queda libre, y que los resultados de las mediciones se envíen hacia la BD.

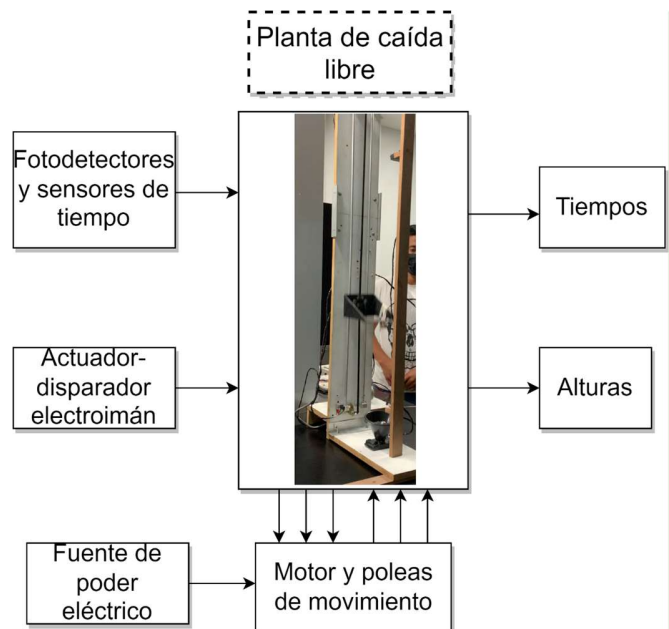


Fig. 10. Arquitectura Hardware ejemplo para montaje de caída libre

Las pruebas con cada una de las plantas lograron exitosamente ejecutar la práctica, configurar los diferentes parámetros y recolectar los datos en cada caso.

dificultades que se sortean en el camino, asociadas a coordinación de trabajo, empalme de las fases del diseño, durante la etapa de pruebas, el proceso de medición para tener a punto los ajustes a cero y el garantizar la medida adecuada.

### B. Percepción de los laboratorios y arquitectura

La arquitectura planteada, fue desarrollada durante el primer y segundo semestre de 2021 por estudiantes de tres programas académicos: ingeniería Física, ingeniería en Automática, e ingeniería de Sistemas. Estudiantes de ingeniería física y automática industrial desarrollaron las plantas en el primer semestre. Estudiantes de ingeniería de sistemas desarrollaron la plataforma, con el apoyo en la integración de las plantas por estudiantes de ingeniería física durante el segundo semestre. La organización de equipos de estudiantes atendió cinco frentes:

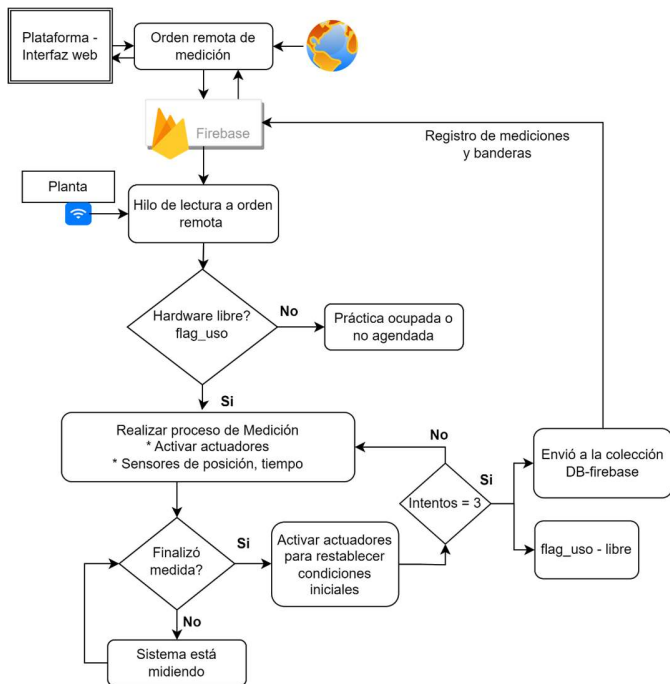


Fig. 11. Ejemplo de diagrama de flujo de operación para las plantas de Física en la arquitectura planteada

- Módulos de estudiantes
- Módulo de docentes
- Planta ley de Hooke
- Planta de movimiento parabólico
- Planta de caída libre

Como se muestra en la Fig. 12, los equipos interdisciplinarios socializaron sus experiencias y sus percepciones de interacción en las actividades de integración SW-HW y las diferentes pruebas de los laboratorios, a lo largo del proyecto. Como en todo sistema ingenieril, surgen algunas

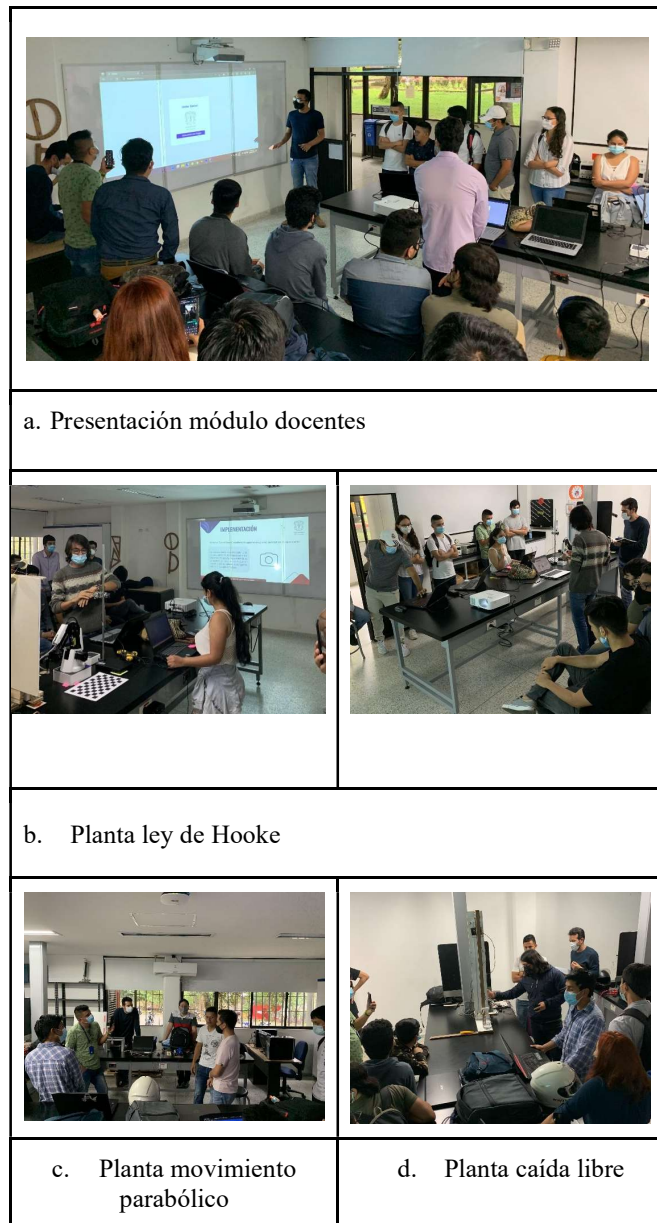


Fig. 12. Socialización de funcionamiento y operación de los equipos y plataforma realizada por los estudiantes.

### C. Análisis

La plataforma brinda versatilidad para vincular más prácticas en física por su estandarización en el diseño *front-end*, en donde la visualización de las experiencias es uniforme y sólo cambian las variables físicas a mostrar en tablas, gráficas y video. Por otro lado, el vínculo de las nuevas experiencias depende del tipo de hardware a emplear, sensores y actuadores, que son adaptables desde la interfaz web. La plataforma desarrollada, brinda flexibilidad para cambiar los parámetros

medibles en cada planta, por su funcionamiento independiente. Cada planta es como un canal de información, y existe la opción de agregar otros canales.

Así mismo, la arquitectura emplea un servicio software en la nube y on-premise con servidor local a través del cual se gestiona el análisis de los videos de las experiencias y a la disponibilidad de la transmisión del video hacia la plataforma. En este sentido, sobre la nube, Google firebase resulto de gran utilidad para el manejo de los datos y la comunicación con la etapa física. Esta característica elimina limitaciones en operación, y permite escalar los servicios en la nube dependiendo de los requerimientos.

Finalmente, al medir el grado de satisfacción por parte de los usuarios que estuvieron a disposición durante el desarrollo de las etapas hardware, software y de pruebas, que correspondieron a doce (12) estudiantes del programa de Ingeniería Física y veinte (20) estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas, para un conjunto de 32 estudiantes, se logró establecer que el 60 % de ellos calificó con cuatro puntos de cinco, la primera impresión con la plataforma, el 40 % restante otorgó calificaciones superiores a tres. La percepción de uso rondo el 60 % indicando que fue buena, y un 40 % muy buena. Referente a la velocidad de respuesta y confiabilidad de los datos, el 60 % dijeron que es muy buena y 40 % buena. Por otro lado, en la utilidad para el aprendizaje, el 80 % de los participantes califican a la plataforma como una excelente opción y el 20 % restante como una muy buena opción que brinda opciones diferentes al trabajo presencial.

Al indagar sobre la interfaz de la plataforma, destacaron la claridad en las tareas a desarrollar, la facilidad de uso y la presentación de la información. Como puntos a mejorar señalaron, mayor claridad en la secuencia de comandos y la carencia de ayudas en caso de ser necesario. Finalmente, uno de los aspectos importantes es el *lag* temporal, entre la activación de los botones de configuración y la correspondiente acción en el actuador, que afecta la toma de datos, e implica una dependencia de las velocidades de subida y bajada de la conectividad, entre otros. Por lo tanto, los usuarios deben tener presente este aspecto, para evitar el accionamiento redundante de botones hasta obtener la respuesta final del sistema.

### III. CONCLUSIONES

La presente investigación desarrolló una arquitectura de una plataforma escalable, que vinculó un conjunto de componentes hardware como sensores, actuadores y servomecanismos que se manipularon a través de software en local, comunicándose a una plataforma tipo cliente-servidor, que permitió el acceso e interacción remota de estudiantes de ingeniería para prácticas de física básica, donde el diseño de la plataforma permite configurar el tipo de laboratorios y el público objetivo.

El vínculo sincrónico entre una arquitectura software y una implementación hardware, enfocada en prácticas remotas,

exige múltiples características para lograr una experiencia de usuario lo más real posible, donde la tasa de tiempo de respuesta de bajada y subida de información está influenciada por la velocidad del internet, los mecanismos de lectura, escritura y medición en el laboratorio, sin dejar de lado los sistemas de almacenamiento.

La arquitectura de laboratorios desarrollada para experimentación remota, contribuye al fortalecimiento de procesos de enseñanza, que permiten a los estudiantes asociar fenómenos reales y la teoría de los modelos físicos, así como interactuar con la infraestructura física similar a una práctica presencial. De esta manera, hay contextualización experimental real, sin sacrificar la incertidumbre de las medidas presentes en cualquier sistema real. Este aspecto es el principal inconveniente en el caso de las simulaciones o en el caso de prácticas pre grabadas, donde los datos son invariables de grupo a grupo.

Este tipo de iniciativas enfocadas hacia los laboratorios remotos, que combinan tecnologías como el internet de las cosas, sistemas de comunicación casi en tiempo real e infraestructuras robustas en la nube, presentan ventajas, como el aumento de tiempo en la disponibilidad de equipos y dispositivos de experimentación, que mejora la frecuencia en el acceso por parte de los estudiantes en ingeniería, sin ir en detrimento del trabajo en equipo, y propone una herramienta adicional para reforzar conceptos teóricos empleando la experimentación.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad del Cauca por el apoyo en el desarrollo de este proyecto, y al Centro de Gestión de la Calidad y la Acreditación Institucional. Igualmente es necesario reconocer el trabajo de los estudiantes de los cursos de Instrumentación Virtual y Proyecto I, de Ingeniería Física e Ingeniería de Sistemas, respectivamente, quienes desarrollaron los prototipos aquí presentados, por medio de un trabajo interdisciplinario durante el segundo semestre del año 2021.

### REFERENCIAS

- [1] M. G. Lorenzo, "Revisando los trabajos prácticos experimentales en la enseñanza universitaria," *Aula Universitaria*, n° 21, p. e0004, 2020.
- [2] A. A. Abuarqoub, H. Abusaimh, M. Hammoudeh, D. Uliyan, M. A. Abu-Hashem, S. Murad, M. Al-Jarrah y F. Al-Fayez, "A Survey on Internet of Things Enabled Smart Campus Applications," *ICFNDS '17: Proceedings of the International Conference on Future Networks and Distributed Systems*, n° 50, pp. 1-7, 2017.
- [3] A. Wahab, "Online and Remote Learning in Higher Education Institutes: A Necessity in Light of COVID-19 Pandemic," *Higher education studies*, vol. 10, n° 3, pp. 16-25, 2020.
- [4] D. E. Santiago y E. Pulido-Melián, "Prácticas de laboratorio en la formación a distancia: un caso práctico," de *VII Jornadas Iberoamericanas de Innovación Educativa en el Ámbito de las TIC y las TAC (InnoEducaTIC 2020)*, Las Palmas de Gran Canaria, 2020.
- [5] R. E. Romero, A. Fuhr Stoessel y A. Rocha, "Un estudio de diseño sobre la implementación de laboratorios remotos en la enseñanza de la



- física universitaria: la observación del trabajo de los estudiantes," *Revista de Enseñanza de la Física*, vol. 32, n° 1, pp. 75-91, Enero-Junio 2020.
- [6] J. Grodotzki, T. A. Ortel y A. E. Tekkaya, "Remote and Virtual Labs for Engineering Education 4.0: Achievements of the ELLI project at the TU Dortmund University," *Procedia Manufacturing*, vol. 26, pp. 1349-1360, 2018.
- [7] A. Krontiris, "Virtual labs – challenges, opportunities and practical lessons learned," de *9th International Conference on Modern Power Systems (MPS)*, Cluj-Napoca, Romania, 2021.
- [8] B. Evstatiev, K. Gabrovska-Evstatieva, V. Voynohovska y I. Beloev, "Web-Based Environment for Virtual Laboratories in the Field of Electrical Engineering," de *Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA)*, Varna, Bulgaria, 2019.
- [9] D. Herrero-Villareal, C. Arguedas-Matarrita y E. Gutiérrez-Soto, "Laboratorios remotos: recursos educativos para la experimentación a distancia en tiempos de pandemia desde la percepción de estudiantes," *Revista De Enseñanza De La Física*, vol. 32, p. 181-189, 2020.
- [10] T. R. Ortel, T. Haertel y S. Frye, "Remote Labs in Germany—An Overview About Similarities and Variations," de *17th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation*, 2020.
- [11] C.-P. Dai y F. Ke, "Educational applications of artificial intelligence in simulation-based learning: A systematic mapping review," *Computers and Education: Artificial Intelligence*, vol. 3, 2022.
- [12] M. Joselevich, R. E. Alonso, P. Gonzales Casco, M. Morales, J. R. Osio y A. Serial, "Proyecto de laboratorios remotos para la enseñanza de la Física," de *XXI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2019)*, San Juan, 2019.
- [13] I. J. Idoyaga, L. Vargas-Badilla, C. N. Moya, E. Montero-Miranda y A. L. Garro-Mora, "El Laboratorio Remoto: una alternativa para extender la actividad experimental," *Campo Universitario, CU-IIES-ADUBA-UBA*, vol. 1, n° 2, pp. 4-26, 2020.
- [14] T. S. El-Hasan, "Internet of Thing (IoT) Based Remote Labs in Engineering," de *6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, Paris, France, 2019.
- [15] A. Van den Beemt, S. Groothuisen, L. Ozkan y W. Hendrix, "Remote labs in higher engineering education: engaging students with active learning pedagogy," *Journal of Computing in Higher Education*, 2022.
- [16] B. L. Vargas Barón, "Laboratorios Remotos: El futuro de la educación a distancia en ingeniería," de *Encuentro Internacional De Educación En Ingeniería, EIEI ACOFI*, Cartagena de Indias, Colombia, 2019.
- [17] C. Arguedas-Matarrita, M. Conejo-Villalobos, F. Ureña Elizondo, O. Barahona-Aguilar, L. Rodríguez-Gil, U. Hernández-Jayo y J. García-Zubia, "Experience with the VISIR Remote Laboratory at the Universidad Estatal a Distancia (UNED)," de *REV 2020: Cross Reality and Data Science in Engineering*, Athens, GA, USA, 2020.
- [18] J. A. Contreras-Mendieta, C. P. Sarango-Lapo, D. I. Jara-Roa y M. Agila-Palacios, "Implementación de un Laboratorio Remoto (LR), como recurso de apoyo en un sistema de Educación a Distancia," *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação, RISTI*, vol. 17, pp. 923-935, 2019.
- [19] D. Singh y A. Nandgaonkar, "IOT-Based Wi-Fi Surveillance Robot with Real-Time Audio and Video Streaming," *Computing, Communication and Signal Processing, Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 810, p. 639-647, 2018.
- [20] N. Ospina García, M. F. Díaz Velásquez, C. A. Tavera Romero y J. H. Ortiz Monedero, "Remote Academic Platforms in Times of a Pandemic," *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, vol. 16, n° 21, pp. 121-131, 2021.
- [21] S. Martín, A. Fernández-Pacheco, J. A. Ruipérez-Valiente y G. Carro Fernández, "Remote Experimentation Through Arduino-Based Remote Laboratories," *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 16, n° 2, pp. 180-186, 2021.
- [22] A. Fernández-Pacheco, S. Martín y M. Castro, "Implementation of an Arduino Remote Laboratory with Raspberry Pi," de *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Dubai, United Arab Emirates, 2019.
- [23] J. Vargas, J. Cuero y C. Torres, "Laboratorios Remotos e IOT una oportunidad para la formación en ciencias e ingeniería en tiempos del COVID19: Caso de Estudio en Ingeniería de Control," *Revista Espacios*, vol. 41, n° 42, pp. 188-198, 2020.
- [24] C. Arguedas-Matarrita y S. B. Concari, "Características deseables en un Laboratorio Remoto para la enseñanza de la física: indagando a los especialistas," *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 35, n° 3, pp. 702-720, 2018.
- Carlos Felipe Ordoñez Urbano** recibió su grado de Ingeniero Físico de la Universidad del Cauca (Colombia) y magíster en Ciencias Físicas del Instituto Balseiro (Argentina). Actualmente, se desempeña como docente del Departamento de Física y miembro del grupo de Óptica y Láser de la Universidad del Cauca. Sus intereses de investigación y desarrollo están enfocados en metrología, diseño y desarrollo full-stack, Internet de las cosas y aprendizaje automático.
- Jorge Adrián Muñoz** recibió su grado de Ingeniería de Sistemas y magister en computación en la Universidad el Cauca. Actualmente, se desempeña como el director de División de las TICS en la Universidad del Cauca y miembro del grupo de investigación en inteligencia Computacional (GICO). Sus intereses de investigación se relacionan con evaluación formativa, sistemas de aprendizaje móvil y contexto sensible.
- Leonairo Pencue Fierro** recibió su grado de Ingeniero Físico y es candidato a Doctor en Ciencias Ambientales en la Universidad del Cauca. Actualmente, es docente titular en el Departamento de Física de la Universidad del Cauca y miembro del grupo de Óptica y Laser (GOL). Sus áreas de interés en investigación son la visión computacional, la analítica de datos, el sensado remoto y procesamiento de imágenes.
- Juan Fernando Flórez Marulanda** recibió su grado en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, especialista en redes y servicios telemáticos y su maestría en electrónica y telecomunicaciones en la Universidad del Cauca. Actualmente, se desempeña como docente titular en el Departamento de Automática en la Universidad del Cauca y forma parte del grupo de Investigación en Automática. Sus intereses en investigación son el control inteligente, robótica móvil y el procesamiento de imágenes.
- Rubiel Vargas-Cañas** recibió su grado de Ingeniero de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander, el título de magister en ingeniería con énfasis en electrónica en la Universidad del Valle (Colombia) y su PhD en ingeniería Biomédica de City University: London (Reino Unido). Actualmente, se desempeña como docente titular en el departamento de Física de la Universidad del Cauca y miembro del grupo Simulación, diseño y control (SIDICO). Sus áreas de interés en investigación son la ingeniería biomédica, procesamiento de señales, inteligencia artificial y la analítica de datos.