

Enseñanza

TALLER Y LABORATORIO

CUERDA VIBRANTE, UN NUEVO LABORATORIO VIRTUAL Y REMOTO PARA TÉCNICAS EXPERIMENTALES II

La importancia y el uso de laboratorios virtuales y remotos (VRL) ha crecido en los últimos años gracias al sustancial avance de las tecnologías implicadas en su consecución. Desde la aparición de estos novedosos laboratorios, uno de los aspectos más importantes a considerar es si los resultados de aprendizaje de los mismos es comparable a los de los laboratorios tradicionales.

La UNED, con más de 170000 estudiantes matriculados el pasado curso 2016/2017, es el paradigma de la formación a distancia en España. Dispone de una red de más de 60 Centros Asociados donde los estudiantes de Ciencias e Ingeniería pueden recibir apoyo a sus estudios. En estos centros donde cobra relevancia proveer un conjunto de laboratorios homogéneo, con independencia de sus recursos logísticos y financieros. En precisamente en este contexto en el que los VRL han demostrado ser un complemento perfecto a los laboratorios tradicionales.

Nuestra universidad dispone de una red de laboratorios virtuales y remotos, UNILabs (<http://unilabs.dia.uned.es>), que ofrece más de 20 laboratorios de Física y de Ingeniería de Control. Cada uno de estos laboratorios cuenta tanto con una versión virtual del experimento como con una versión remota, de modo que los estu-

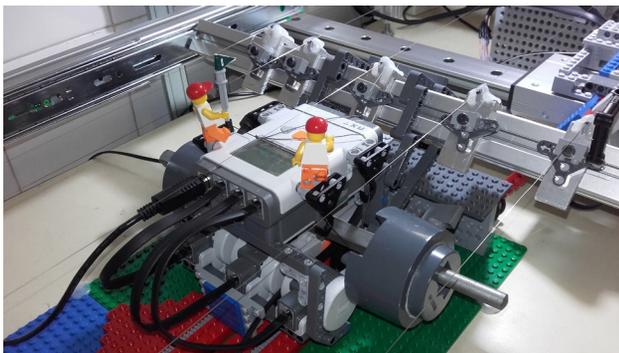


Figura 1. Detalle de un laboratorio remoto controlado por LEGO. Dos servomotores permiten el desplazamiento de una barra modificando la longitud total de un conjunto de cuerdas.

diantes pueden comparar los resultados teóricos a partir de la virtualización con los obtenidos en la práctica remota.

La última incorporación a la red UNILabs es uno de los ejemplos más famosos del movimiento oscilatorio: el estudio de la vibración de una cuerda con ambos extremos fijos. En este experimento disponemos de una cuerda que suponemos inextensible con una densidad constante, ρ , y una longitud dada L . Los dos extremos de la cuerda están fijos, de modo que al perturbar la cuerda el desplazamiento en estos puntos es nulo. No obstante, esta perturbación genera una onda transversal que se propaga en direcciones contrarias respecto del punto de perturbación hacia los extremos fijos. Una vez la perturbación alcanza estos extremos, ambas ondas son reflejadas y viajan en la dirección contraria. En estas condiciones, si suponemos que las ondas viajan en la dirección del eje x , puede probarse que pasado un tiempo suficientemente largo la perturbación en el eje y puede aproximarse por una onda estacionaria que oscila con su frecuencia fundamental f según la ecuación

$$y(x, t) = y_0 \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right) \cos(2\pi f t)$$

que es la ecuación de una onda estacionaria, donde y_0 es la amplitud de la perturbación. Un diagrama de fuerzas nos permite obtener, a partir de las ecuaciones de Newton, la famosa ecuación de ondas

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\mu}{T} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2},$$

donde μ es la densidad lineal de masa y T la tensión a la que está sometida la cuerda. La solución de la ecuación de ondas con extremos fijos nos permite obtener una dependencia entre la frecuencia fundamental y los parámetros físicos del problema: la longitud de la cuerda L , su radio r y su densidad volumétrica ρ , y la tensión T a la que está sometida la cuerda:

$$f = \frac{1}{2Lr} \sqrt{\frac{T}{\pi \rho}}$$

Modificando cualquiera de estos parámetros (o utilizando distintas cuerdas cuya única diferencia sea uno de ellos) podemos medir una frecuencia distinta, de modo que el estudiante pueda encontrar experimentalmente la dependencia entre todas estas variables.

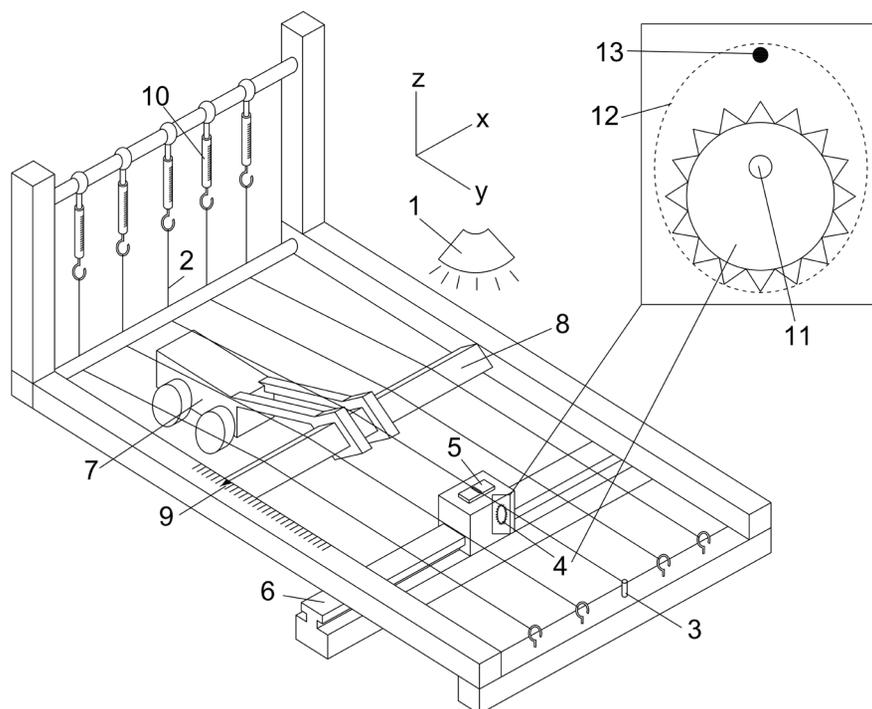


Figura 2. Diseño esquemático de la cuerda vibrante. 1. Fuente de iluminación. 2. Cuerdas. 3. Tensor. 4. Rueda dentada. 5. Sensor de luz. 6. Actuador lineal. 7. Carro desplazador. 8. Controlador de distancia. 9. Indicador de distancia. 10. Dinamómetros. 11. Eje de rotación de la rueda dentada. 12. Zona de contacto con la rueda dentada. 13. Cuerda vibrante.

El dispositivo experimental se muestra en la Figura 1. Un bastidor de aluminio aloja cinco cuerdas de distintas densidades y diámetros (2) de distintas densidades y diámetros. Cada una de ellas está fija en ambos extremos. Un dinamómetro acoplado a cada cuerda (10) mide la tensión a la que está sometida. Una de las cuerdas (la central en la Figura 1) está sujeta por un extremo a un motor paso a paso (3) que permite modificar la tensión a la que se la somete. La longitud de las cuerdas puede cambiarse mediante un móvil construido con LEGO (7 y 8). El mecanismo de acción del dispositivo, que posibilita el golpeo de la cuerda, consiste en una rueda dentada (4) unida de forma excéntrica a un servomotor LEGO que al ser activado realiza una rotación de 360°, asegurando que la cuerda ha sido golpeada. Una fuente de iluminación (1) permite generar un haz de luz homogéneo que forma una sombra justo debajo de la cuerda, donde se encuentra, a pocos milímetros de distancia, un diafragma del tamaño de la sombra y un sensor de luz que produce una señal proporcional a la intensidad de luz que le llega (5). Esta señal se recoge en un osciloscopio que permite el procesamiento de la intensidad de luz en función del tiempo. El conjunto diafragma-sensor de luz está montado sobre un actuador lineal (6) que permite al usuario seleccionar cualquiera de las cinco cuerdas disponibles. Todos los dispositivos electrónicos están co-

nectados a un ordenador, bien directamente en el caso de los dispositivos LEGO, bien a través de un controlador Arduino. El control de los dispositivos y, por tanto, del laboratorio experimental, se realiza a través de LabVIEW, con un programa específicamente desarrollado para controlar y ejecutar el experimento.

Este dispositivo experimental se complementa con una interfaz de cliente (Figura 3) que permite el control del laboratorio. Esta interfaz, desarrollada completamente con Easy Java/Javascript Simulations (EjsS), incorpora la visualización del experimento mediante tres cámaras distintas, la posibilidad de introducir campos numéricos para calibrar el dispositivo, la representación de datos en forma de gráficas y la exportación de los mismos para su posterior tratamiento. Secuencialmente, el usuario puede conectarse al laboratorio (1), realizar una etapa inicial de calibrado del experimento (2,3), seleccionar una de las cinco cuerdas (4), la longitud de la cuerda (5), la tensión de la misma en aquellos casos en los que sea posible (6) y el golpeo de la cuerda (7). El último paso permite obtener la gráfica de la intensidad de luz recibida por el sensor en función del tiempo y repetir alguno de los pasos anteriores (8).

Este laboratorio está pensado para ser ofrecido a estudiantes de segundo curso del grado en Física, como

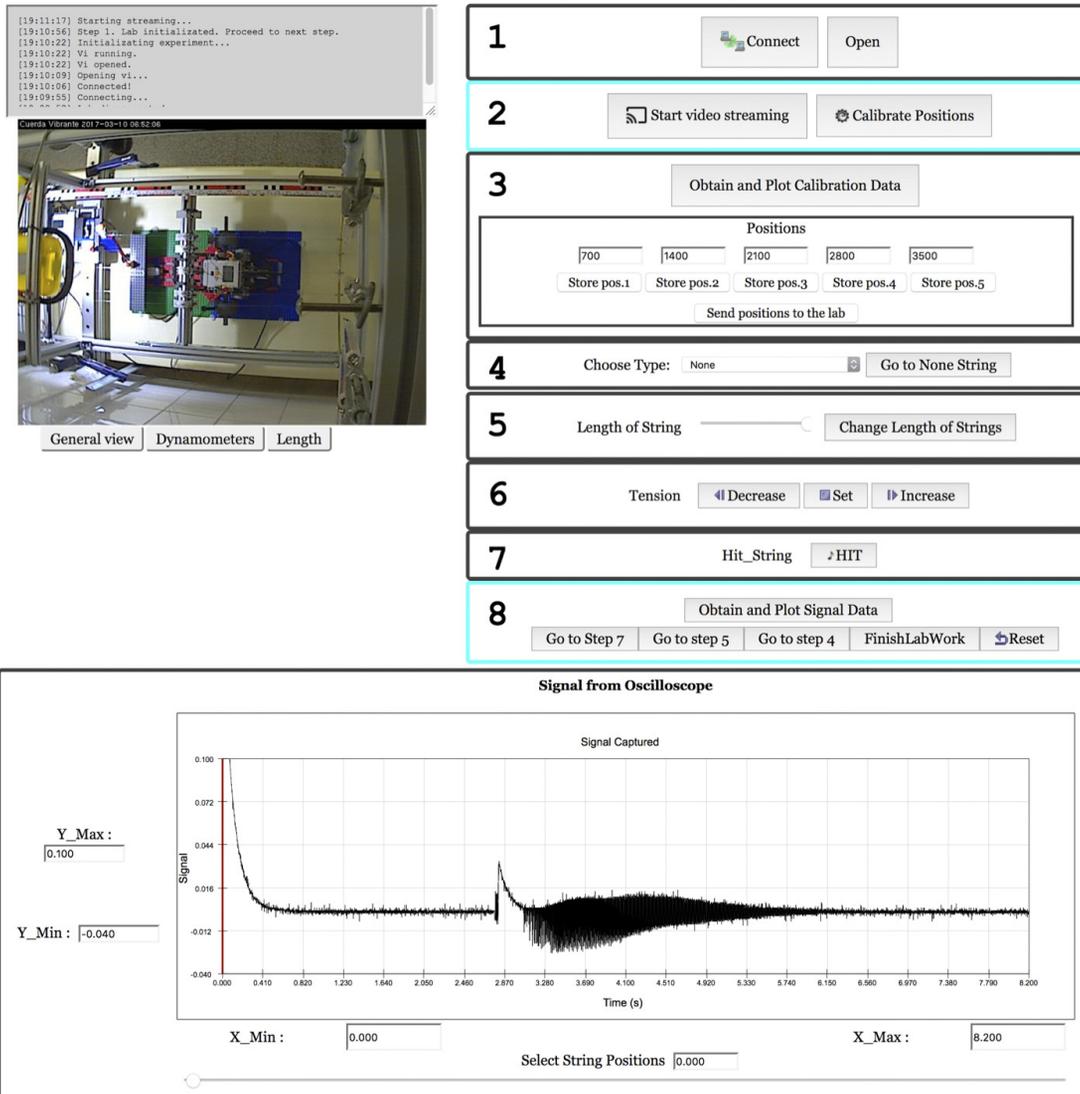


Figura 3. Interfaz web de control. A la izquierda, registro de actividades realizadas hasta el momento y una de las tres posibles vistas del experimento. Derecha, secuencia de trabajo para realizar la práctica. Abajo. Gráfica de la intensidad de luz recibida por el sensor en función del tiempo.

experiencia complementaria a las que se actualmente se realizan en los Centros Asociados. Proporciona una oportunidad para explorar el tema de vibraciones y ondas en aquellos laboratorios que no dispongan de prácticas para estudiar movimientos ondulatorios, incrementando así el número de prácticas disponibles en los distintos centros. El laboratorio construido es además uno de los primeros de UNILabs completamente desarrollado en Javascript, con idea de permitir su funcionamiento en dispositivos móviles. Los estudiantes pueden así, con una simple conexión a Internet, interactuar de forma remota con todas las partes que conforman la práctica de laboratorio. Este laboratorio, completamente funcional, contribuye a superar todos los retos logísticos a los que se enfrenta una universidad como la UNED,

asegurando una oferta homogénea de prácticas para todos los estudiantes. Ideas como esta permitirán, en un futuro próximo, construir un conjunto de laboratorios que complementen el necesario trabajo realizado en los Centros Asociados.

Javier Tajuelo Rodríguez
Dpto. de Física Fundamental

Jacobo Sáenz Valiente
Dpto. de Informática y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática

Jaime Arturo de la Torre Rodríguez
Dpto. de Física Fundamental

Luis de la Torre Cubillo
Dpto. de Informática y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática