

Desarrollo de un Laboratorio Remoto para el estudio de Expansión Térmica.

Development of a Remote Laboratory for the study of Thermal Expansion.

Daniel Elizondo-Blanco¹

<https://orcid.org/0009-0007-4950-0822>

María Paula Obando-Viquez²

<https://orcid.org/0009-0007-4118-1505>

Fiorella Lizano-Sánchez³

<https://orcid.org/0000-0002-3360-042X>

Elizondo Blanco, D. et al. (2024) Desarrollo de un Laboratorio Remoto para el estudio de Expansión Térmica. Revista Nuevas Perspectivas. Vol. 3 N.º 5. Pp. 1-11.

Fecha de recepción: 05/09/2023

Fecha de aceptación: 07/05/2024

Resumen: En este trabajo se sistematizan los diferentes pasos para el desarrollo de un Laboratorio Remoto para el estudio de Expansión Térmica, es un laboratorio desarrollado entre la UNED y LabsLand empresa que asegura la escalabilidad de estos recursos educativos. En el desarrollo se utiliza un equipo de laboratorio que permite medir y obtener datos que una vez automatizados se

¹ Universidad Estatal a Distancia, Laboratorio de Experimentación Remota, Costa Rica. Contacto: eelizondob@uned.ac.cr

² Universidad Estatal a Distancia, Laboratorio de Experimentación Remota, Costa Rica. Contacto: mobandov@uned.ac.cr

³ Universidad Estatal a Distancia, Laboratorio de Experimentación Remota, Costa Rica. Contacto: flizanos@uned.ac.cr

empaquetan para que puedan ser analizados por los usuarios. En este laboratorio se puede analizar el comportamiento de tres barras metálicas de distinto material, entre las principales conclusiones se puede afirmar que este recurso educativo puede ser utilizado por medio de Internet en diferentes contextos educativos donde se estudie el fenómeno de expansión térmica.

Palabras Clave: Laboratorio Remoto, Expansión Térmica, Enseñanza de la Física, Actividad Experimental.

Abstract: This paper systematises the different steps for the development of a Remote Laboratory for the study of Thermal Expansion, a laboratory developed between UNED and LabsLand, a company that ensures the scalability of these educational resources. The development uses laboratory equipment to measure and obtain data that, once automated, are packaged so that they can be analysed by users. In this laboratory, the behaviour of three metal bars of different materials can be analysed. Among the main conclusions, it can be stated that this educational resource can be used via the Internet in different educational contexts where the phenomenon of thermal expansion is studied.

Keywords: Remote laboratories, thermal expansion, physics teaching, experimental activity.

Introducción.

En los últimos años se han presentado situaciones que han provocado cambios en los modelos educativos; uno de estos sucesos ha sido la pandemia por COVID-19, la cual llevó a los sistemas educativos de todo el mundo, a una situación crítica debido al cambio de modalidad en la que debían llevar a cabo sus labores. En el ámbito de la enseñanza de las ciencias, ha tenido éxito el modelo didáctico de Laboratorio Extendido (LE), el cual consiste en el desarrollo de las actividades experimentales a través de recursos tecnológicos, logrando una virtualización o hibridación de la enseñanza (Idoyaga, 2022).

En el contexto del LE, los Laboratorios Remotos (LR) son recursos educativos que permiten ampliar el trabajo experimental debido que dan la posibilidad de utilizarlos por medio de Internet, debido a que consisten en la implementación de hardware y software que permite realizar y/o visualizar, vivencias experimentales reales de manera remota. La experimentación a través de un LR brinda resultados reales, los cuales poseen errores significativos para su análisis; se pueden acceder durante todas las horas del día, en cualquier día del año, lo que facilita el acceso a la población. El uso de LR brinda a los docentes la posibilidad de dar seguimiento de los procesos llevados a cabo por los estudiantes, lo que a su vez sirve para identificar las carencias en el aprendizaje y desarrollar mejoras para su implementación (Arguedas-Matarrita y Concari, 2018).

Tipos de Laboratorios Remotos.

Los laboratorios remotos se clasifican en laboratorios en tiempo real (LTR) en los cuales los usuarios realizan los experimentos en tiempo real, es decir, las medidas que se generan son en tiempo real ya que se manipula el equipo sincrónicamente, el usuario observa lo que sucede por medio de una cámara web. El otro tipo de laboratorios son los laboratorios ultra concurrentes (LU) que se conocen también como laboratorios diferidos, estos consisten en un conjunto de grabaciones de un experimento el cual se realiza con equipo real y genera datos reales, luego con desarrollo de software y hardware el usuario puede realizar la experiencia como ocurriría en un laboratorio presencial (Narasimhamurthy et al., 2020).

A diferencia de los LTR's estos permiten atender grupos masivos, es decir, que un gran número de personas accedan al mismo tiempo a la misma experiencia. Al ser un LR poseen también errores experimentales que deben ser tomados en consideración en el proceso de registro y análisis de datos por parte del educando. Adicionalmente, los LU son automatizados, almacenados y optimizados a partir de librerías de código abierto WebLabLib. (Orduña, 2020).

Para utilizar estos laboratorios se realiza por medio de LabsLand, donde el estudiante ingresa, observa y registra datos obtenidos a partir de estas, con la intención de que logre completar secuencias de aprendizaje provistas por su docente de asignaturas de laboratorio (Idoyaga et al., 2021; Orduña et al., 2019). LabsLand se encarga de federar y asegurar la escalabilidad, brindando un servicio de calidad, fiable y sustentable para conectar a proveedores y usuarios de LR (Orduña et al., 2016).

La arquitectura de este tipo de laboratorio se observa en la figura 1, en la cual el usuario ingresa a un servidor web de LabsLand que se encuentra en Amazon Web Services, el cual permite enlazar dichos laboratorios a una plataforma LMS (Learning Management System) por medio un protocolo LTI (Learning Tools Interoperability) para que el usuario pueda acceder desde ahí. Adicionalmente, este servidor permite ver las estadísticas de uso incluyendo el número de estudiantes, sesiones e instituciones que han accedido a éstos.

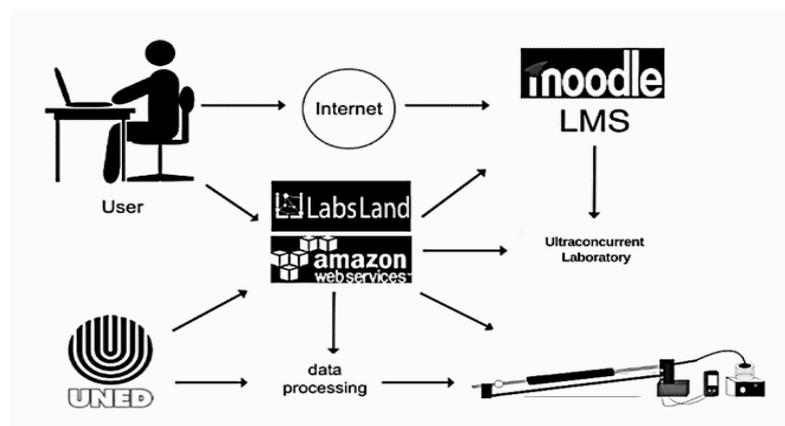


Figura 1. Arquitectura general del Laboratorio. Adaptado de Medina et al., 2023.

Recientemente, los LR han mostrado ser recursos innovadores e interesantes para los estudiantes (Candelas et al., 2003). Por otro lado, han sido caracterizados por ser “cómodos” debido a su

propiedad remota, al poder llevar a cabo las actividades experimentales en cualquier día y hora; además, de poseer una gran ventaja en su implementación, ya que estos pueden ser ejecutados en asignaturas con poblaciones masivas que dificultan el acceso a un laboratorio de modalidad presencial (Idoyaga et al., 2020). Finalmente, se ha mencionado que, la implementación y el uso de estos recursos, de manera regular en los espacios de aprendizaje, será la función clave para que se obtenga la “confianza y credibilidad” en su uso por parte de educandos y así, se opten por ellos (Aramburu et al., 2021).

Este artículo tiene como objetivo presentar los resultados del desarrollo de un laboratorio ultra concurrente para el estudio de la expansión térmica.

Metodología.

Durante el proceso de desarrollo de este laboratorio ultraconcurrente de expansión térmica, se realizaron pruebas de equipo en distintas configuraciones experimentales, con la intención de obtener una que minimice los errores en los datos que el laboratorio brindará al usuario; se inicia con la propuesta de configuración del fabricante, la cual se modifica hasta lograr lo solicitado. Se continúa con el registro de grabaciones de datos, para finalizar con el montaje de las experiencias de la red Labsland.

Diseño.

Se contó con un equipo experimental desarrollado por la empresa PASCO para el estudio del fenómeno de expansión térmica (figura 2). Este equipo se encuentra compuesto de los siguientes componentes: 1. Tubos de distintos metales (aluminio, cobre y latón), estos se utilizan como blancos de medición (longitudes de 75 centímetros cada uno) 2. Marco o soporte para experimentación. 3. Un medidor digital para la obtención del cambio en la longitud de los tubos de metal. 4. Termistores NTC conectados a los tubos de metal, para la medición del cambio en la resistencia de este debido a un aumento en su temperatura, y protegidos con una cubierta de foam. 5. Multímetro digital para la medición de la resistencia en los tubos metálicos al variar su temperatura. 6. Generador de vapor y manguera de goma, para la producción y transporte de vapor a los tubos de metal. 7. Soportes.

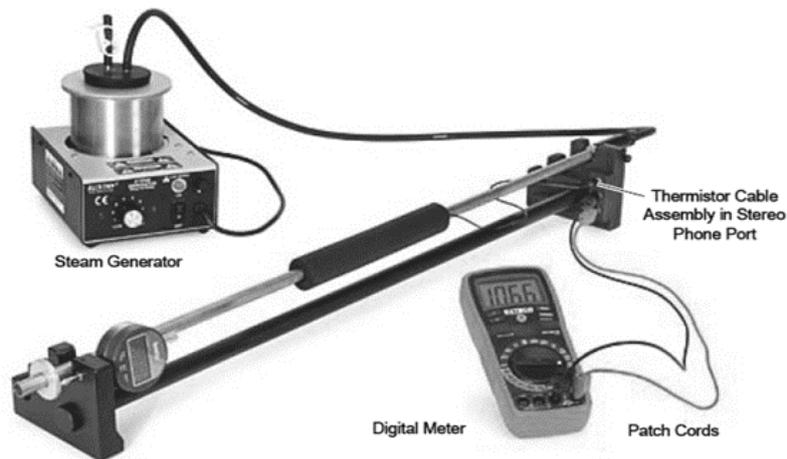


Figura 2. Montaje experimental del equipo de laboratorio según el manual de laboratorio desarrollado por la empresa PASCO⁴.

El diseño se realizó con el objetivo de obtener de forma más optimizada una serie de pasos para la obtención de datos con el equipo PASCO con el mínimo error experimental. Esta fase constó de una etapa de instalación de equipo y otra de realización de ensayos. En la figura 3, se presenta la configuración experimental adaptada luego de la realización de dichas pruebas.

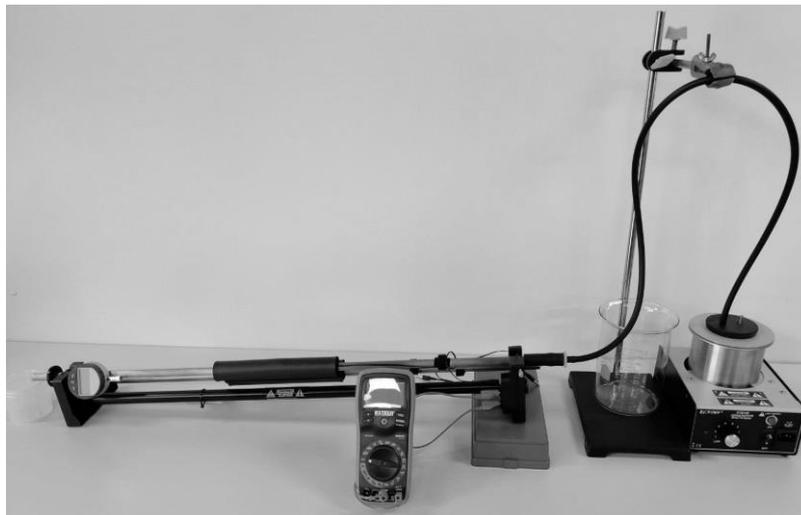


Figura 3. Montaje experimental adaptado para el registro de datos.

Las consideraciones tomadas para el uso de esta configuración experimental, se deben a aspectos relacionados principalmente con la optimización del tiempo necesario para la obtención de datos

⁴PASCO. (2023). Thermal Expansión Apparatus. <https://www.pasco.com/products/lab-apparatus/thermodynamics/thermal-expansion/td-8856>

durante las grabaciones experimentales, con el fin de minimizar los errores que se generan por pérdidas de energía con el medio.

Como se puede visualizar en la figura 3, el soporte se encuentra inclinado, con el objetivo de que el agua condensada dentro de los tubos de metal se deposite en un reservorio a la izquierda, para que esta no contribuya en pérdidas de energía. Por otra parte, el generador de vapor cuenta con dos salidas de gas, una de estas debe ser sellada con la finalidad que el gas fluya por completo a través de la otra, por la cual se conecta la manguera de goma que es elevada por un soporte para agilizar el movimiento de la masa de vapor a través de este, y lo dirige hasta los tubos de metal para lograr el aumento en la temperatura de estos.

Para la obtención del montaje experimental adaptado, se requirió de diversos días de valoración de datos obtenidos a través de distintas configuraciones, buscando obtener el menor error experimental en estos y con los menores tiempos, resultando con la elección de la instalación mostrada en la figura 3.

Registro.

Para el registro de datos, se realizaron múltiples grabaciones de videos en diferentes ángulos, con una duración de entre un minuto y un minuto con treinta segundos, esto para los tres tubos de metal utilizados (aluminio, cobre y latón), con el fin de que en estos se pueda visualizar tanto la información suministrada en forma de datos al estudiante, como también un plano general visual del equipo en pleno uso. Para cada filmación se realizaron 2 tomas: La primera consiste en la grabación de un video de la *Vista Frontal* del equipo en funcionamiento. La segunda consiste en la *Vista de Pantallas*, esta se basa en dos grabaciones de video, una en la que se registran los datos de resistencia del tubo en el multímetro, y otra del cambio en la longitud del medidor digital.

Por último, se analiza cada una de las grabaciones y sus tomas, con el fin de comprobar que la calidad de la imagen sea suficientemente clara, para el posterior procesamiento de la interfaz en la plataforma de LabsLand.

Montaje.

Esta fase se ejecuta en conjunto con el personal de la red LabsLand, quienes se encargan de la construcción de la interfaz en la cual se muestra el experimento. Este laboratorio cuenta con tres etapas, la etapa de introducción, configuración y observación.

En la primera se presenta un video que introduce al usuario en la experiencia que va a vivir, este cuenta con algunos datos teóricos que permiten una mejor comprensión del tema, además cuenta con un esquema de la configuración del equipo que se utilizará en dicho laboratorio (figura 4). En la segunda

etapa se puede elegir el tipo de material (aluminio, cobre o latón) con el cual se va a trabajar (figura 5), finalmente, en la última etapa se muestran dos videos, uno en el cual se puede observar el equipo completo y otro donde se muestra el medidor digital y el multímetro (figura 6).



Figura 4. Sección de introducción del laboratorio.



Figura 5. Sección de configuración del laboratorio.

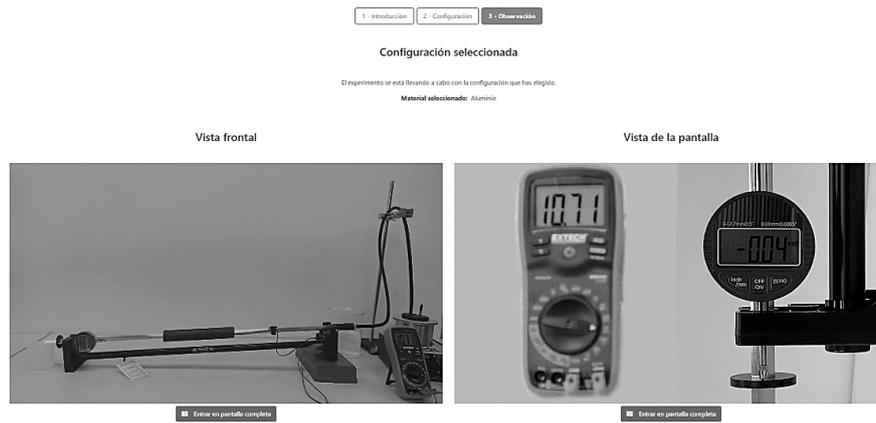


Figura 6. Sección de observación del laboratorio.

Discusión de resultados.

A partir del desarrollo de este laboratorio, se contempla una serie de pasos los cuales permiten obtener el coeficiente de expansión térmica de los metales usados para el desarrollo de este LR. Para esto, en las asignaturas de física de la UNED, se instruye que, la expansión lineal ΔL de un cuerpo es proporcional a su longitud inicial L_0 y el cambio de su temperatura ΔT ; se obtiene una igualdad cuando se añade el coeficiente expansión térmico α dentro de esta proporcionalidad, que al despejar resulta ser:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T}$$

Los tubos de metal usados para el desarrollo del laboratorio, poseen un resistor cuyo valor de resistencia varía conforma experimenta un cambio de temperatura, se asume que el resistor se encuentra en equilibrio térmico con el metal, de modo que, al calcular la temperatura del resistor, se obtiene la temperatura del tubo. La temperatura del resistor se obtiene a través de una tabla de valores que presenta el manual de uso del equipo, sin embargo, esta tabla solo establece los valores exactos de resistencia R_i para una temperatura T_i en grados Celsius y en valores enteros, lo anterior sugiere tomar un valor aproximado de temperatura según los registros de resistencia que obtengan durante la experimentación, no obstante, hacer esta aproximación, aumenta el error en el resultado final.

Para mitigar la incertidumbre acumulada, se realiza un proceso de extrapolación con los valores más cercanos de resistencia y temperatura en la tabla. Supongamos que los correspondientes valores en la tabla son (R_1, T_1) y (R_2, T_2) de modo que, la resistencia del resistor obtenida con el multímetro es R_{exp} y cumple que $R_1 < R_{exp} < R_2$. La temperatura experimental T_{exp} se obtiene a partir de:

$$T_{exp} = T_1 + \left(\frac{T_2 - T_1}{R_2 - R_1} \right) (R_{exp} - R_1)$$

Este proceso de extrapolación, se realiza dos veces por experimento, ya que es necesario obtener una temperatura inicial y otra final para el valor de ΔT ; por otra parte, como ya se mencionó, la expansión lineal ΔL se obtiene del medidor digital. El LR permite además adquirir información con respecto a las incertidumbres de sus medidas directas, lo que a su vez permite obtener una incertidumbre propagada $\delta\alpha$ en la medida final del coeficiente de expansión.

Este procedimiento ha permitido que los mínimos porcentajes de error obtenidos durante las pruebas realizadas, hayan sido de 4% para el coeficiente de expansión lineal del cobre con un valor experimental de $1,77 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ donde su valor teórico es $1,70 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; por su parte, en una prueba con el aluminio, el porcentaje de error fue de 3,7% para un valor experimental de $2,45 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para un valor teórico de $2,36 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Esto muestra la capacidad que posee este LR para obtener mediciones precisas, sin embargo, esto queda sujeto a la habilidad del usuario para determinar el momento en el cual se debe de obtener los valores experimentales de resistencias y la expansión lineal.

Conclusiones.

Se prevé que, el LU desarrollado para el estudio de la Expansión Térmica, sea empleado por una cantidad considerable de estudiantes y profesores debido a que se encuentra en la plataforma de LabsLand, la cuál es utilizada en distintas universidades alrededor del mundo; permitiendo su implementación como recurso experimental en los procesos de enseñanza en futuras investigaciones.

Por su diseño y características, el LU desarrollado tiene la capacidad de ser implementado en distintas secuencias de aprendizaje, debido a que favorece la contextualización del fenómeno estudiado, de manera que puede ser aprovechado tanto para asignaturas de física a nivel universitario como en cursos de ciencias en educación media, además tiene la ventaja de que el acceso está disponible en cualquier momento del día y cualquier lugar, siempre que se tenga acceso a internet, un celular, tableta o computadora.

El desarrollo del laboratorio permitió determinar aspectos que mejoraron la configuración del equipo, con el fin de minimizar el error experimental. Esto a su vez, redujo el tiempo de experimentación, lo que brinda al usuario una experiencia atractiva y agradable, ya que agiliza la toma de datos.

Referencias bibliográficas

- Aramburu, M. C., da Silva, B. A. L., Villar-Martinez, A., Rodriguez-Gil, L., Moreira de Souza, S. W. F., de Oliveira, T. & Orduña, P. (2021). FPGA Remote Laboratory: Experience in UPNA and UNIFESP. En Auer, M. E., May, D. (Eds), *Cross Reality and Data Science in Engineering*. (pp. 112-127). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0_9
- Arguedas-Matarrita, C. y Concari, S. B. (2018). Características deseables de un Laboratorio Remoto para la enseñanza de la física: indagando a los especialistas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 35 (3). 702 – 720. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2018v35n3p702>
- Candelas, F. A., Gil, P., Ortiz, F. G., Pomares, J. A. Puente, S. T. & Torres, F. A. (2003). Virtual Laboratory for Teaching Robotics. *International Journal of Engineering Education*, Special Issue "Remote Access / Distance Learning Laboratories", 19, 363-370.
- Idoyaga I. J., Vargas-Badilla L., Moya C. N., Montero-Miranda E., Maeyoshimoto J. E., Capuya F. G. & Arguedas-Matarrita C. (2021). Conocimientos del profesorado universitario sobre la enseñanza de la química con laboratorios remotos. *Educación Química*, Vol. 32 (4). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.5.79189>
- Idoyaga, I. (2022). El Laboratorio Extendido: rediseño de la actividad experimental para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica De Divulgación De Metodologías Emergentes En El Desarrollo De Las STEM*, 4 (1), 20-49. <http://www.revistas.unp.edu.ar/index.php/rediunp/article/view/823>
- Idoyaga, I., Moya C. N., Montero-Miranda, E., Sanchez-Brenes, R., Maeyoshimoto, J. E. & Arguedas, Matarrita, C. (2020). El Laboratorio Remoto de Validación Ácido-Base en un Curso de Química en la Universidad. En L. Bengochea, & G. Contreras, Vega. (Eds.), *ATICA2020: Aplicación de Tecnologías de la Información y Comunicaciones Avanzadas y Accesibilidad*, (792-799). ISBN: 978-84-18254-84-0
- Medina, G., Montero, E., Arguedas, C., Céspedes, F., Sonzini, P., Idoyaga, I. (2023). Desarrollo de un Laboratorio Remoto para el estudio de la Ley de Snell [Paper de Conferencia]. XIII Congreso Internacional sobre Aplicación de Tecnologías de la Información y Comunicaciones y IX Conferencia Internacional sobre Aplicación de Tecnologías de la Información y Comunicaciones para mejorar la Accesibilidad, Cuenca, Ecuador.
- Narasimhamurthy, K., Orduña, P., Rodriguez-Gil, L., C., B., Srivatsa, C., & Mulamuttal, K. (2020). Analog Electronic Experiments in Ultra-Concurrent Laboratory. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1231, 37-45. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0_3
- Orduña, P., Rodriguez-Gil, L., Angulo, I., Hernandez, U., Villar, A., & García-Zubia, J. (2019). WebLabLib: new approach for creating remote laboratories [Sesión de Conferencia]. *International*

conference on remote engineering and virtual instrumentation, Bangalore, India.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-23162-0_43

Orduña, P., Rodríguez-Gil, L., Angulo, I., Hernández, U., Villar, A., García-Zubia, J. (2020). WebLabLib: New Approach for Creating Remote Laboratories. In: Auer, M., Ram B., K. (eds) *Cyber-physical Systems and Digital Twins*. REV2019 2019. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 80. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23162-0_43

Orduña, P., Rodríguez-Gil, L., García-Zubia, J., Angulo, I., Hernández, U. & Azcuenaga, E. (2016) LabsLand: A sharing economy platform to promote educational remote laboratories maintainability, sustainability and adoption. 2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), Erie, PA, USA, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/FIE.2016.7757579