

EXPERIENCIA DE FABRICACIÓN, MONTAJE, PUESTA EN MARCHA Y UTILIZACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE LABORATORIO ACORDE A LA NORMA UNE-EN ISO 16251-1.

David Caballol¹

María de los Angeles Navacerrada²

Daniel de la Prida³

Antonio Pedrero²

^{1 y 2}Grupo de Investigación en Acústica Arquitectónica, Universidad Politécnica de Madrid.

³ Universidad Carlos III de Madrid

RESUMEN

El presente trabajo describe el proceso aprendizaje llevado a cabo por varios alumnos de Grado y Máster, mediante la fabricación, montaje, puesta en marcha y utilización de una instalación de laboratorio para la medición en laboratorio de la reducción de la transmisión del ruido de impactos por revestimientos de suelo acorde a la norma UNE-EN ISO 16251-1.

La norma describe con precisión la instalación a fabricar y aparentemente todo parece muy sencillo.

Sin embargo, factores como el peso final de la instalación, su transporte, la retracción del hormigón armado empleado en su construcción, el método de fijación de los acelerómetros, la planeidad del hormigón empleado, y la posible reutilización de la losa flotante sobre los materiales ensayados condicionan el diseño y la ejecución del proyecto.

Una vez construido, se verificó su fiabilidad realizando ensayos a cuatro materiales específicos para reducir el ruido de impactos cuya mejora del aislamiento a ruido de impactos ya había sido cuantificada en estudios anteriores mediante las normas UNE-EN ISO 10140.

En la actualidad, varios alumnos se están llevando a cabo ensayos con materiales no específicos y se presentan los primeros resultados obtenidos.

of impact sound transmission by floor coverings, according to the UNE-EN ISO 16251-1 standard, carried out by several undergraduate and master students.

The standard is very precise in its description of the installation to be built, and at first glance everything is very simple.

However, factors such as the final weight of the installation, its transportation, the shrinkage of the reinforced concrete used to build it, the method of fixing the accelerometers, the flatness of the concrete used and the possible reuse of the floating slab on the tested materials determine the design and execution of the project.

Once built, its reliability was verified by testing four specific materials to reduce impact noise. The improvement in impact noise insulation had already been quantified in previous studies using the UNE-EN ISO 10140 standard.

At present, several students are working on testing non-specific materials and the first results obtained are presented.

Palabras Clave— Experiencia docente, Ruido de impactos, Ensayos en laboratorio, Vibraciones.

ABSTRACT

This work describes the learning process of manufacturing, assembling, commissioning and using a laboratory installation for the laboratory measurement of the reduction

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

En la Escuela Técnica Superior de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid se cuenta con un laboratorio de materiales de construcción bastante completo, que permite a alumnos y profesores hacer numerosos tipos de ensayos mecánicos (compresión, tracción, flexión, arrancamiento, deslizamiento, etc.) y térmicos.

¹ **Autor de contacto:** david.caballol@upm.es

Copyright: ©2023 First author et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Sin embargo, en la misma Escuela no se cuenta con apenas instalaciones que permitan realizar medidas acústicas en laboratorio. Al ser una Escuela tradicionalmente dedicada a la Ejecución de Obra de Edificación, los equipos y enseñanzas que se imparten, han estado tradicionalmente más enfocadas a las mediciones acústicas in-situ. Actualmente reguladas según las directrices de las distintas partes de las normas ISO 16283 [1] y anteriormente según la serie de normas ISO 140. [2]

Sin embargo, la implantación de diversos estudios de Máster está obligando a la Escuela a adaptarse y a disponer de unas instalaciones mínimas que permitan a los alumnos disponer de montajes de laboratorio en los que poder ensayar las características acústicas de diferentes materiales y sistemas constructivos. Con el objetivo principal de poder llevar a cabo los procesos experimentales necesarios para sus trabajos fin de Máster sin que los alumnos tengan que desplazarse a otras Escuelas.

Con esta idea en mente, se comenzó a diseñar la fabricación de una instalación de laboratorio para la medición de la reducción de la transmisión del ruido de impactos por revestimientos de suelo acorde a la norma UNE-EN ISO 16251-1 [3].

Fue elegida esta norma porque describe unos equipos y procedimiento de ensayo, razonablemente asequibles, que no son complejos y que no necesitan de mucho espacio para ubicarse.

Durante el proceso de planificación, organización y diseño de la instalación, se propuso aprovechar la construcción y puesta en marcha de la nueva instalación, para llevar a cabo experiencias docentes, que se basan en el marco teórico del “learning by doing” [4].

Son conocidas las experiencias docentes existentes en el montaje y puesta en marcha de laboratorios de simulación [5, 6] y la existencia de muy variadas experiencias con laboratorios virtuales de varios tipos [7,8]. Sin embargo, es menos común encontrar referencias a experiencias docentes que impliquen el aprovechamiento docente de la construcción y la puesta en marcha de instalaciones físicas de laboratorio. [9, 10,11]

Ninguna de las experiencias docentes anteriormente descritas se refiere a una instalación acústica de laboratorio, ni aprovecha la experiencia de su construcción como una experiencia docente en sí misma. En todo ello consiste la novedad de nuestra experiencia.

2. DISEÑO EDUCATIVO Y EJECUCIÓN

2.1. Diseño

La construcción de la instalación, su puesta en marcha y la comprobación experimental de su fiabilidad era evidentemente una tarea que no debía ser llevada a cabo por un único alumno, aunque contase con apoyo docente. Los

conocimientos previos, la dedicación que el trabajo requería y su planificación temporal, excedía al tiempo normalmente dedicado a la realización de un trabajo de finalización de estudios de Grado o de fin de Máster.

Por este motivo, se decidió dividir el trabajo en dos partes y repartir el trabajo entre dos alumnas interesadas, una cursando estudios de Grado y otra de Máster. De este modo, era posible adaptar la parte de trabajo de cada una de ellas a los conocimientos previos que poseían.

La primera de ellas (alumna G), era una becaria del Departamento de Construcciones Arquitectónicas y su Control y estaba cursando cuarto curso de la titulación de Grado en Edificación en la UPM.

Las becas de colaboración en los Departamentos universitarios son unas becas cuyo objeto especifica que han de promover la iniciación en tareas de investigación de los estudiantes universitarios, por lo que este trabajo cuadraba perfectamente con el objeto de la convocatoria.

Las asignaturas superadas por la alumna G en sus estudios la presuponian una serie de capacidades constructivas y de conocimiento de los materiales de construcción.

La segunda alumna (alumna M), titulada en Ingeniería de Técnicas y Sistemas de Telecomunicación, estaba cursando estudios de especialización en el Máster en Ingeniería Acústica en la misma Universidad y tenía pendiente la realización de su trabajo fin de Máster.

El Trabajo Fin de Máster (15 ECTS) consiste en un proyecto de ingeniería acústica que la alumna ha de demostrar su capacidad para diseñar e implementar soluciones, por lo que este trabajo también cuadraba perfectamente.

El trabajo total se dividió en dos partes bien diferenciadas. La alumna G se encargaría de la construcción de la instalación y la alumna M de su validación y puesta en marcha.

Según el cronograma previsto, la alumna M iniciaba su tarea cuando la alumna G finalizaba la suya, por lo que inicialmente se plantearon los trabajos como independientes. Sin embargo, parte del trabajo hubo de ser llevado a cabo de modo colaborativo entre ambas, a causa del tipo de materiales a ensayar en el momento de verificar la instalación. Este hecho fortuito, enriqueció aún más la experiencia de aprendizaje.

Antes de iniciar su trabajo, se les enseñó cómo obtener a través de la biblioteca de la Universidad una copia de la norma UNE-EN ISO 16251-1 [3]. Como se pretendía fomentar su autonomía, se le explicó a cada una de ellas que, en el desarrollo de su parte del trabajo, tenían libertad para tomar las decisiones que considerasen necesarias (con nuestra supervisión) y que los docentes intentaríamos intervenir lo menos posible, sin su requerimiento previo.

2.2. Construcción

El diseño de la instalación (ver figura 1), estaba perfectamente definido en el anexo A de la norma UNE-EN ISO 16251-1 [3], por lo que la alumna G tan solo tuvo que interpretar los datos incluidos en la norma y planificar su realización.

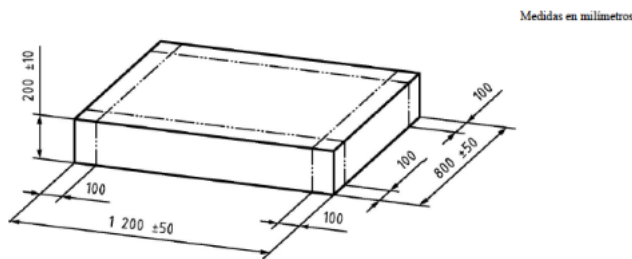


Figura 1. Dimensiones de la instalación descritas en el anexo A de la norma UNE-EN ISO 16251-1.

- Paso 1: Enseguida se advirtió que, para llevar a cabo la losa de hormigón, era necesario contar con una serie de materiales de construcción (arena, agua, grava, cemento, acero corrugado), muy concretos y en cantidades determinadas. Por lo tanto, uno de los primeros trabajos a llevar a cabo consistió en el estudio y el cálculo de las proporciones y las cantidades concretas de cada uno de los materiales de construcción necesarios.

Nos los hizo llegar a los docentes y nos encargamos de conseguirlos.

- Paso 2: Para construir la losa de hormigón era necesario construir primero un encofrado (un molde) que pudiera ser fabricado por una alumna con relativa facilidad. Se la propuso que el encofrado fuese realizado en madera. Por lo tanto, el segundo trabajo consistió en el cálculo del encofrado para soportar la presión hidrostática del hormigón. La alumna definió las secciones de secciones de madera mínimas necesarias y diseñó los anclajes. Los profesores la hicimos llegar los tableros, las tablas de madera y los anclajes y tornillería necesarios.

- Paso 3: La alumna G se puso manos a la obra y construyó el encofrado en el interior de uno de los espacios disponibles en el laboratorio de Materiales de Construcción.

- Paso 4: Se procedió al armado con acero corrugado y al amasado y vertido en el encofrado, del hormigón mediante hormigonera manual. Para llevar a cabo este proceso, se contó con la ayuda del Técnico de Laboratorio asignado al Laboratorio de Materiales.

El acero dispuesto fue del tipo B500SD mediante doble malla de diámetro 10 mm.

El hormigón vertido fue del tipo HA25B20X0

El aceite de desencofrado SIKA D 25L

- Paso 5: Para el proceso de curado de la losa de hormigón armado se empleó un pulverizador de agua durante el tiempo de endurecimiento.

- Paso 6: Durante el tiempo de fraguado y endurecimiento de la losa se construyeron las patas. Empleando como encofrado dos probetas cúbicas de hormigón, una sobre otra. Para conectarlas entre ellas se introdujeron en su interior 4 pequeñas varillas de acero corrugado. Se hormigonaron 5 patas, con la idea de quedarse con las 4 que mejor quedaran tras el desmoldado.

- Paso 7: Se desencofró la losa, se desmoldaron las patas y se cortaron los neoprenos de apoyo al tamaño especificado en la norma. Los neoprenos actúan como suspensión elástica y son necesarios para desvincular estructuralmente la placa de su entorno.

Una vez construida la losa y las patas se planteó un problema con su ubicación. En el lugar en el que se construyó no era posible dejarla, por lo que se tuvo que recurrir al empleo de una grúa manual y a la ayuda de parte del personal de administración y servicios de la escuela para desplazarla a su ubicación definitiva en el interior del Aula Museo de Construcción.

- Paso 8: Una vez ubicada en su posición definitiva, se colocaron 5 tornillos para los acelerómetros (uno más de los necesarios) en las posiciones previstas en la norma. Empleando resina expoxídica para su anclaje definitivo al hormigón.

En la figura 2 se puede apreciar el resultado final. La alumna G participó activamente en todas las fases, dirigiendo el trabajo en algunas de ellas, trabajando autónomamente en otras y colaborando en otras.



Figura 2. Placa de hormigón según UNE-EN ISO 16251-1

2.3. Verificación

La Alumna M se encargará de ensayar una serie de revestimientos que tienen un valor de ΔL conocido según ensayo en dos recintos acorde a las normas UNE-EN ISO 10140 [12] y compararlos con los resultados obtenidos al realizar los ensayos con la placa de hormigón suspendida elásticamente según UNE-EN ISO 16251-1 [3].

Los materiales ensayados fueron cedidos por dos escuelas de la Universidad Politécnica de Madrid y por la empresa Soprema.

En concreto los materiales ensayados fueron:

- Material 1: Paneles rígidos de caucho de 3 cm de espesor.
- Material 2: Panel rígido de lana de roca de 2 cm; Rockwool Rocksol 501
- Material 3: Lámina de polietileno expandido no reticulado de celda cerrada de 5 mm de espesor; Soprema Texsilen.
- Material 4: Lámina de fieltro no tejido de poliéster de alta tenacidad unido a protección bituminosa de 3,4 mm de espesor; Soprema Texfon.

Al revisar los resultados de los ensayos realizados con las normas UNE-EN ISO 10140 [12], se advirtió que los materiales 2, 3 y 4 habían sido ensayados empleando una losa flotante de 5 cm de espesor sobre ellos. Por lo que para poder comparar los resultados era imprescindible realizar los ensayos con las mismas condiciones. Se propuso realizar una losa flotante que pudiera reutilizarse para futuros ensayos. Para llevar a cabo la construcción de la losa flotante, era necesaria la construcción de otro encofrado. Las alumnas M y G, trabajaron juntas en el diseño y construcción del segundo encofrado (ver figura 3), así como en el vertido del mortero en el mismo. Se extendió previamente una lámina plástica de polietileno para evitar que el mortero se adhiriera al hormigón. En el interior del encofrado se vertió un mortero de dosificación 1:4, armado en su interior con una malla de acero ligera. El vertido, se realizó con hormigonera manual. Tras los preceptivos 28 días de endurecimiento, se procedió al levantamiento de la losa flotante, a la colocación del material y a la realización de los ensayos.



Figura 3. Encofrado para losa flotante.

Los ensayos se realizaron mediante acelerómetro modelo 4384 de Brüel & Kjær, analizador de frecuencia en tiempo real modelo 2144 de Brüel & Kjær, calibrador de acelerómetros modelo 4294 de Brüel & Kjær y máquina estandarizada de impactos modelo MI006 de CESVA.

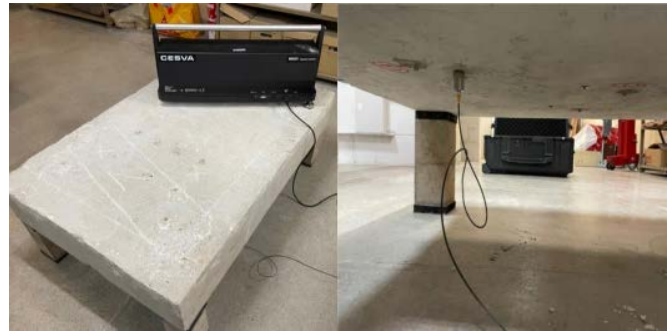


Figura 4. Proceso de ensayo sin revestimiento.

3. RESULTADOS

A continuación, se muestran cuatro gráficas en las que se exponen para cada uno de los materiales, los resultados de los ensayos realizados mediante la norma 16251-1, sus límites de incertidumbre calculados según UNE-EN ISO 12999-1 [13] y los datos de los ensayos de los mismos materiales proporcionados por el fabricante según la norma UNE-EN ISO 10140 [12].

Material 1: Caucho 3 cm espesor. Sin losa flotante. (Figura 5)
Los resultados muestran una alta concordancia entre los resultados comparados, con una diferencia máxima de 4,9 dB a 800 Hz y mínima de 0 dB a 5000 HZ.

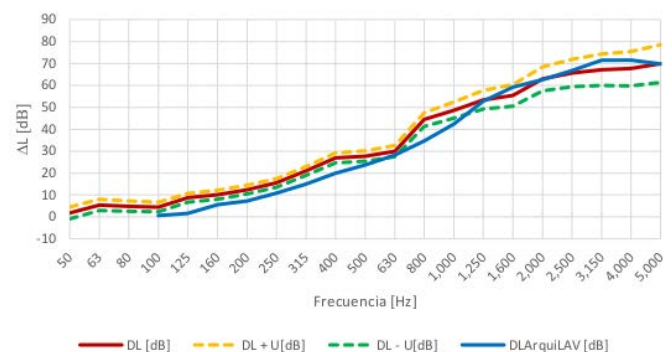


Figura 5. Resultados obtenidos con caucho 3 cm.

Material 2: Rockwool Rocksol 501 2 cm. Con losa flotante. (Figura 6)

Los resultados también muestran una alta concordancia entre los resultados comparados, con una diferencia máxima de 5,3 dB a 3150 Hz y mínima de 0,2 dB a 500 Hz.

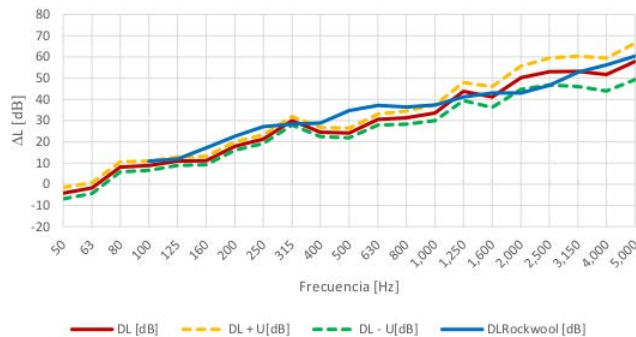


Figura 6. Resultados obtenidos con lana de roca 2 cm.

Material 3: Soprema Teksilen 5 mm. Con losa flotante. (Figura 7)

En este caso se observa una discrepancia mayor entre ambos resultados. Existe mayor concordancia en las bandas inferiores a 160 Hz y en la banda de 500 Hz, pero aparecen desviaciones notables en las altas frecuencias. La desviación máxima es de 11,6 dB a 2000 Hz y la mínima de 0 dB a 160 Hz.

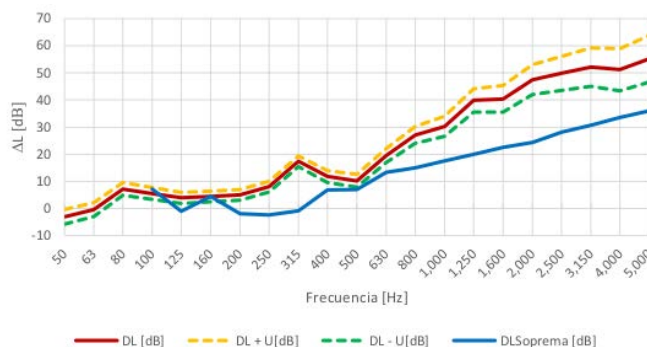


Figura 7. Resultados obtenidos con polietileno expandido no reticulado 5 mm.

Material 4: Soprema Texfon 3,4 mm. Con losa flotante. (Figura 8)

De nuevo hay similitud entre los resultados comparados, encontrándose la mayor desviación en la banda de 315 Hz (6,4 dB) y la menor en la banda de 5000 Hz (0,6 dB).

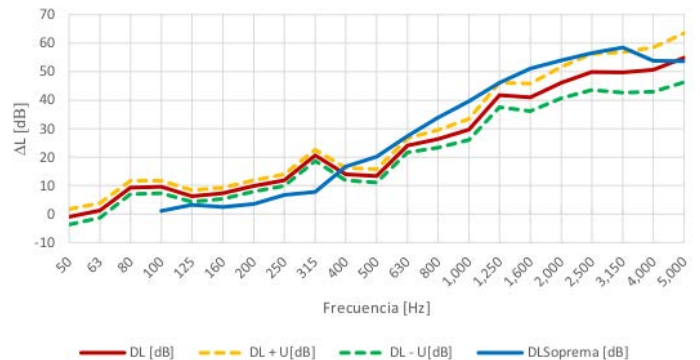


Figura 8. Resultados obtenidos con fieltro no tejido de poliéster con lámina biruminosa 3,4 mm.

Se considera que, en general, no existe una discrepancia significativa entre los resultados conseguidos por medio del método que sugiere la norma 16251-1 [3] y los ensayados por el fabricante empleando el método de los dos recintos según norma 10140 [12]. Tampoco se aprecia un sesgo evidente en función de la frecuencia entre las medidas comparadas.

4. CONCLUSIONES

La experiencia ha resultado muy satisfactoria para todas las partes implicadas. Tanto la alumna G como la M aprovecharon la experiencia de aprendizaje descrita, en la que pudieron proyectar en la realidad lo que habían aprendido teóricamente.

Fueron capaces de suponer, reflexionar y de tomar decisiones, (no siempre acertadas) y aprender de ellas. En el proceso, los profesores insistimos en su acompañamiento y en desechar el paradigma de que equivocarse es negativo. Este método “learning by doing” es especialmente adecuado para ello ya que reconoce que la experiencia se obtiene a través del proceso prueba-error, lo que fortalece el sentido del aprendizaje significativo a largo plazo.

La motivación de las alumnas fue muy alta en todo momento ya que no lo vieron como un “trabajo obligatorio” sino como un proyecto que se concentra en la aplicación práctica de sus conocimientos y que será capaz de generar un producto final que será beneficioso para el resto de la comunidad universitaria. El producto final es resultado de sus capacidades propias y colaborativas, reconociendo en sí mismo competencias y cualidades prácticas que podrán aplicar en el futuro (y obtener a la vez una excelente calificación en su trabajo Fin de Master).

Para la Escuela la experiencia también ha resultado muy satisfactoria. El proceso de construcción de la placa ha sido

relativamente abarable y económico, por lo que este método nos ha aportado un medio de trabajo adecuado para laboratorios acústicos de ingresos modestos. Los materiales de construcción de la placa y de la losa flotante no necesitan mantenimiento y se degradan muy lentamente, por lo que se prevé que el sistema se pueda utilizar por alumnos y profesores durante un largo periodo de tiempo. Este procedimiento permite cuantificar la mejora del aislamiento a ruido de impactos con un menor coste económico y espacial que otros. Las mediciones se pueden realizar con rapidez y precisión y los cálculos a realizar no son complejos para el alumnado.

En la actualidad, varios alumnos se están llevando a cabo ensayos con materiales muy distintos y están realizando sus trabajos fin de Master aprovechando la instalación.

5. REFERENCIAS

- [1] UNE EN ISO 16283-2: 2021. Acústica. Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos. (ISO 16283-2:2020).. UNE. C/ Génova 6. Madrid.
- [2] UNE EN ISO 140-7: 1999 Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos. (ISO 140-7:1998). UNE. C/ Génova 6. Madrid.
- [3] UNE EN ISO 16251-1:2015 Acústica. Medición en laboratorio de la reducción de la transmisión del ruido de impacto por revestimientos de suelo sobre un suelo de pequeñas dimensiones. Parte 1: Suelos pesados. (ISO 16251-1:2014).). UNE. C/ Génova 6. Madrid.
- [4] Ruiz, G. (2013). La teoría de la experiencia de John Dewey: significación histórica y vigencia en el debate teórico contemporáneo. *Foro de Educación*, 11(15), pp. 103-124. doi: <http://dx.doi.org/10.14516/fde.2013.011.015.005>
- [5] Mekic, E., Djokic, I., Zejnelagic, S., & Matovic, A. (2016). Constructive approach in teaching of voip in line with good laboratory and manufacturing practice. *Computer Applications in Engineering Education*, 24(2), 277-287.
- [6] Bunse, C., Kennes, L., & Kuhr, J. C. (2022, May). On using distance labs for engineering education. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Software Engineering Education for the Next Generation* (pp. 5-11).
- [7] Dede, D., Abdullah, A. G., Mulyanti, B., & Rohendi, D. (2019). Review TVET learning innovation: Augmented reality technology for virtual 3D laboratory. In A. G. Abdullah, A. B. D. Nandiyanto, I. Widiaty, A. A. Danuwijaya, & C. U. Abdullah (Eds.), *4Th anual Applied Science and Engineering Conference*, 2019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/7/077062>
- [8] Reisoglu, I., Topu, B., Yilmaz, R. M., Yilmaz, T. K., & Goktas, Y. (2017). 3D virtual learning environments in education: a meta-review. *Asia Pacific Education Review*, 18(1), 81–100. <https://doi.org/10.1007/s12564-016-9467-0>.
- [9] Magnusson, J and Rolf, K and Svedelius, G A. “Building Pedagogical Horticultural Facilities for Improved Learning in Horticultural Education” in *Proc. of the V International Symposium on Horticultural Research, Training and Extension*, (Chiang Mai, Thailand), pp. 137–145, 2009.
- [10] Qing, Guo and Chunliang, Zhang and Yijun, Wang and Fan, Jiang, “Exploration on the Engineering Laboratory Construction and Design based on the CDIO education mode,” in *Proc. of the 7Th International Conference on Computer Science & Education*, Vols I-VI, (Melbourne, Australia), pp. 1983–1986, 2012.
- [11] Chen, Can and Chu, Lian-D. and Peng, Wen-L., “Planning and Construction of an Industrial Engineering Integrated Laboratory,” in *Proc. of the Third International Conference on Education and Sports Education*, (Macau, China), Vol II pp. 380–384, 2012.
- [12] UNE EN ISO 10140-3: 2022. Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 3: Medición del aislamiento acústico al ruido de impactos. (ISO 10140-3:2021) . UNE. C/ Génova 6. Madrid.
- [13] UNE EN ISO 1299-1: 2021. Acústica. Determinación y aplicación de las incertidumbres de medición en la acústica de edificios. Parte 1: Aislamiento acústico. (ISO 12999-1:2020).. UNE. C/ Génova 6. Madrid.