DOI: 10.59920/COOK9423

Tema A5b Diseño e implementación de herramientas didácticas: Laboratorios virtuales

"Experiencias con el uso de laboratorios virtuales para mejorar el aprendizaje"

Gabriel Hurtado Chong[1], Alejandra Garza Vázquez[2], L. Yair Bautista Blanco[3]

Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, C.P. 04510, México
Autores de contacto: [1]gahucho@ingenieria.unam.edu, [2]alejandra.garza@ingenieria.unam.edu, [3]yair.bautista@ingenieria.unam.edu

R E S U M E N

Este trabajo reporta los avances y beneficios logrados tras el desarrollo de laboratorios virtuales para la docencia en carreras de ingeniería, como una alternativa real y viable al uso de equipo físico, principalmente para permitir a los alumnos el estudio a distancia. El análisis presentado se enfoca en dos casos de estudio: el Laboratorio Virtual de Neumática en el Metaverso y el Laboratorio Virtual de Pruebas Mecánicas. En el primer caso se analizan los resultados obtenidos con la implementación de gemelos digitales, entendidos como modelos virtuales de máquinas y procesos industriales, para ilustrar al alumno el funcionamiento de los circuitos neumáticos que construye. En el segundo caso se analizan los resultados obtenidos con la implementación de manera virtual de los experimentos de dureza y de impacto y se reporta el inicio de la implementación de la prueba de tracción. Estos resultados demuestran ser sumamente positivos y satisfactorios.

Palabras Clave: Laboratorio virtual, realidad virtual, gemelos digitales, neumática, pruebas mecánicas.

A B S T R A C T

This paper reports the results and benefits achieved in the development of different virtual laboratories, available online for engineering students, as a real and feasible alternative to the use of physical equipment. The focus of this analysis relies on two study cases: the Virtual Pneumatics Laboratory in the Metaverse and the Mechanical Testing Virtual Laboratory. In our first case, we analyze the result of introducing digital twins to show our students how would their pneumatic circuits work in the real world. These digital twins consist of virtual models representing different industrial machines or processes. In our second case, we analyze the results of developing hardness and impact testing experiments in a virtual way, and we also present our initial advances in also developing a traction test. All of our results show to be highly positive and satisfying.

Keywords: Virtual laboratory, virtual reality, digital twins, pneumatics, mechanical testing.

1. Introducción

En el transcurso de los últimos cinco años, nuestro grupo de trabajo ha llevado a cabo el desarrollo gradual de distintos laboratorios virtuales. En este trabajo se reportan los avances logrados y las experiencias obtenidas, durante el último año, en el uso de dos ellos. El primer laboratorio del que se hablará es un Laboratorio Virtual de Neumática en el Metaverso (LaVNeuM) y el segundo es un Laboratorio Virtual de Pruebas Mecánicas (LaVPruM).

Aprovechando algunas experiencias previas en el desarrollo de laboratorios virtuales, el proyecto del LaVNeuM inició en el año 2020 con la finalidad de hacer frente a los retos derivados de la pandemia de COVID-19, la cual obligó a realizar una migración educativa de las clases presenciales a las clases en línea a nivel mundial.

 Derechos Reservados © 2023, SOMIM

Entre otras consecuencias, dicha migración provocó el cierre o la falta de acceso a los laboratorios físicos que, en muchos casos, debieron ser sustituidos por el uso de simuladores en computadora.

En el caso de la Neumática, los simuladores tradicionales se basan en el uso de la simbología estándar establecida en la norma ISO 1219. Esta simbología es de tipo funcional pues fue pensada para ilustrar la forma en que trabaja el equipo neumático, dejando de lado su aspecto real. Esto provoca que muchos alumnos se confundan al momento de armar sus circuitos neumáticos, debido a que las conexiones se les dificultan por la falta de similitud entre el componente físico y el símbolo que lo representa. [1]

Los primeros años del desarrollo del LaVNeuM se enfocaron en realizar la virtualización de todo el equipo neumático real para poder llevar a cabo de manera virtual la implementación de cada una de las siete prácticas correspondientes al tema de Neumática, contenidas en el manual de la asignatura. [2] Dicho trabajo inicial se encuentra ya documentado. [1, 3-4] Por lo que, una vez logrado el objetivo inicial, en el último año se ha estado trabajando en el desarrollo de gemelos digitales (o modelos virtuales) de algunas máquinas o procesos industriales con la finalidad de seguir mejorando la experiencia de los alumnos, toda vez que las limitaciones presupuestales de la institución no nos han permitido aún poder contar con modelos físicos que dejen a los estudiantes observar en vivo el funcionamiento de los procesos en estudio. Estos gemelos digitales fueron pensados para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje en las clases de la asignatura Automatización Industrial, que es de carácter obligatorio para estudiantes de las carreras de ingeniería mecatrónica, ingeniería industrial e ingeniería mecánica (campo de profundización de automatización).

Por su parte, el proyecto del LaVPruM dio inicio posteriormente, en el año 2022, buscando atender el problema de saturación que presenta el laboratorio real debido a la gran cantidad de estudiantes que debe atender y su capacidad reducida. Durante el primer año del proyecto se implementaron exitosamente las pruebas virtuales de dureza y de impacto. Actualmente se está desarrollando la prueba de tracción. Con diferencia del LaVNeuM, éste es el primer trabajo en el que se reportan los logros y experiencias de uso del LaVPruM, que en adición a las carreras ya mencionadas, también dará servicio a la carrera de ingeniería en sistemas biomédicos.

2. Primer caso de estudio: Laboratorio Virtual de Neumática en el Metaverso (LaVNeuM)

2.1. Objetivos

Aprovechando el trabajo previamente desarrollado para virtualizar las estaciones de trabajo neumáticas del laboratorio físico real [4], se establecieron los siguientes objetivos, para esta nueva etapa del proyecto:

- Crear al menos tres gemelos digitales que ilustren de manera clara y fidedigna el funcionamiento de máquinas o de procesos industriales reales.
- Los gemelos digitales deberán estar dentro de un entorno virtual disponible en línea, para poder ser utilizados por profesores y alumnos dentro o fuera de las instalaciones del laboratorio y sin limitaciones de acceso ni de horario.

2.2. Metodología

Los procesos de virtualización se encuentran descritos en publicaciones previas [1, 3-4]. En la Figura 1 se muestra el entorno del LaVNeuM sobre el cual se comenzó a trabajar para la implementación de los gemelos digitales.

Figura 1. Espacio de trabajo del LaVNeuM. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2 se muestra la vista completa de una de las estaciones de trabajo individuales desarrolladas para el LaVNeuM.

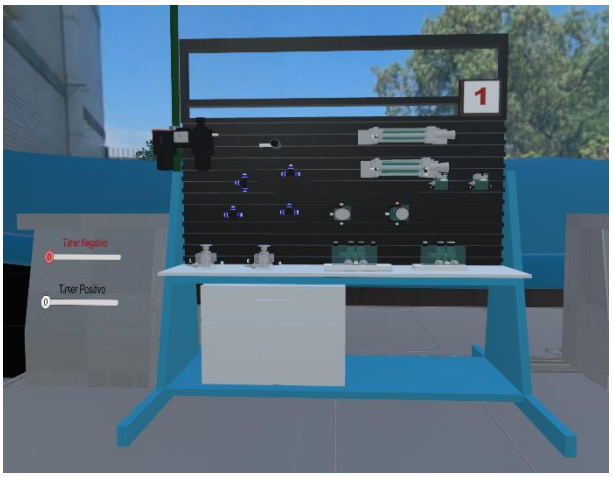

Figura 2. Mesa neumática o estación de trabajo del LaVNeuM. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 3 pueden apreciarse más a detalle los distintos componentes neumáticos virtuales de cada mesa neumática, listados a continuación: (1) unidad de

 Derechos Reservados © 2023, SOMIM

mantenimiento, (2) piloto neumático, (3) conectores en T, (4) válvulas 3/2 accionadas por botón enclavado, (5) cilindro de simple efecto, (6) cilindro de doble efecto, (7) temporizador positivo, (8) temporizador negativo, (9) válvulas 3/2 con accionamiento de rodillo (finales de carrera), (10) válvula 5/2 biestable de accionamiento neumático, (11) válvula 5/2 monoestable de accionamiento neumático.

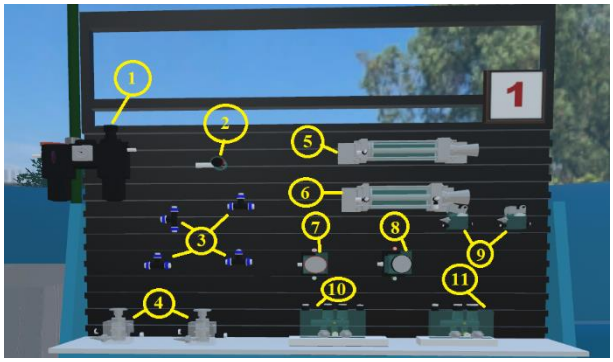

Figura 3. Elementos neumáticos virtuales del LaVNeuM. Fuente: elaboración propia.

El desarrollo de los gemelos digitales se llevó a cabo siguiendo el mismo proceso de virtualización previamente utilizado para el equipo neumático. En las Figuras 4-6 se muestran tres de los primeros gemelos digitales elaborados.

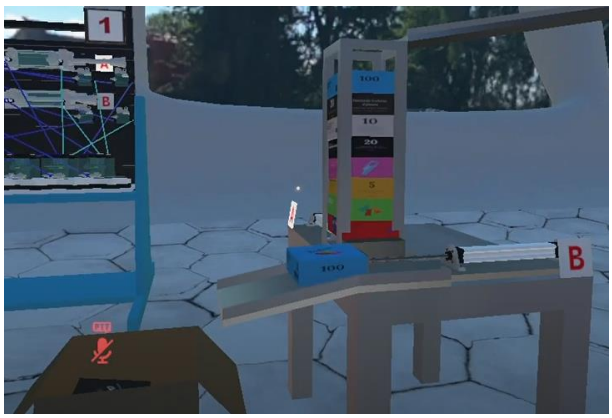

Figura 4. Gemelo digital de una máquina empacadora para el LaVNeuM, compuesta por dos cilindros neumáticos de doble efecto. Fuente: elaboración propia.

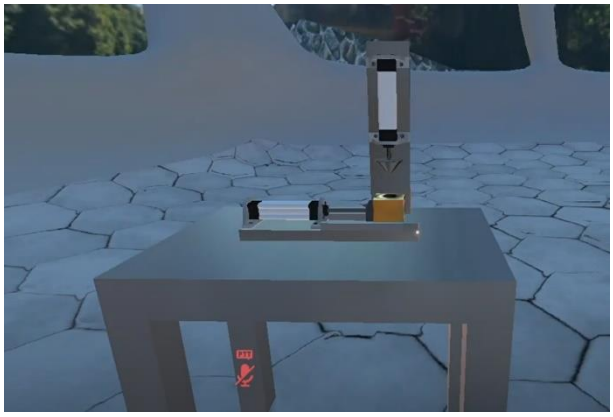

Figura 5. Gemelo digital de una máquina indentadora para el LaVNeuM, compuesta por dos cilindros neumáticos de doble efecto. Fuente: elaboración propia.

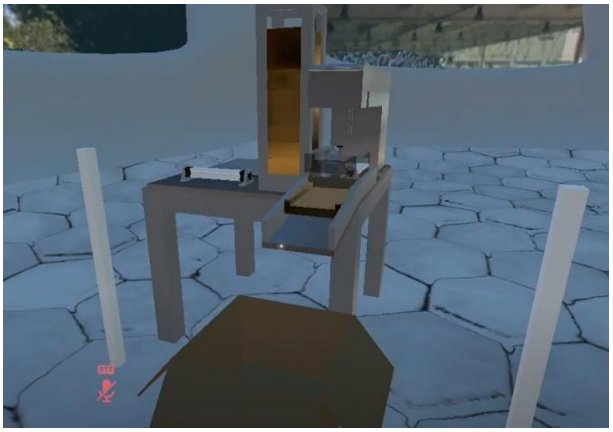

Figura 6. Gemelo digital de una máquina estampadora para el LaVNeuM, compuesta por tres cilindros neumáticos de doble efecto. Fuente: elaboración propia.

Una vez construidos los gemelos digitales, mediante programación, se asoció cada modelo a una mesa neumática específica del LaVNeuM y cada cilindro neumático del modelo a un cilindro neumático específico de la mesa correspondiente. Para facilitar la identificación y asociación de los cilindros, se colocaron etiquetas en cada mesa neumática, para indicar el gemelo digital asociado, y se aplicó también una nomenclatura de letras (A, B, C) tanto a los cilindros de la estación de trabajo como a los cilindros del gemelo digital. De este modo, al construirse en cada mesa un circuito neumático, el gemelo digital asociado replicará los movimientos de los cilindros de la mesa que le corresponda. Si la secuencia de trabajo realizada por los actuadores de la mesa es correcta, se observará que el gemelo digital funciona debidamente. De otro modo, el alumno podrá observar que los movimientos realizados por el modelo son inadecuados y deberá corregir su circuito neumático hasta conseguir que su gemelo digital trabaje apropiadamente. En las figuras 7-9 pueden verse cada uno de los gemelos digitales junto a su mesa neumática

 Derechos Reservados © 2023, SOMIM

asociada y la nomenclatura aplicada a cada uno de los cilindros.

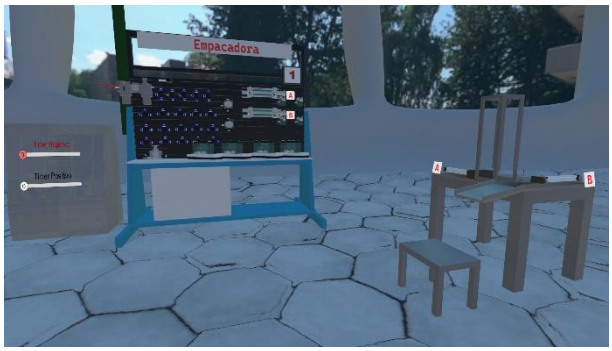

Figura 7. Gemelo digital de una máquina empacadora junto a su mesa neumática asociada (LaVNeuM). Fuente: elaboración propia.

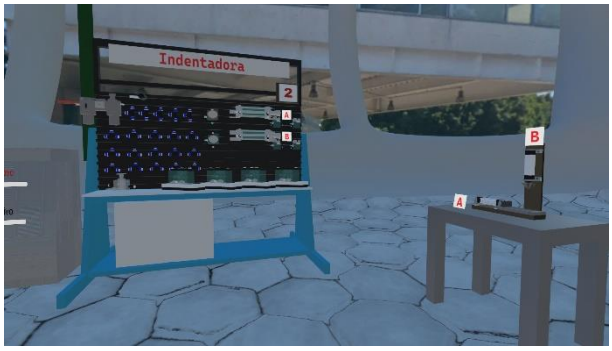

Figura 8. Gemelo digital de una máquina indentadora junto a su mesa neumática asociada (LaVNeuM). Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Gemelo digital de una máquina estampadora junto a su mesa neumática asociada (LaVNeuM). Fuente: elaboración propia.

2.3. Evaluación del funcionamiento

Terminada la programación, se realizaron pruebas de funcionamiento para detectar y corregir errores.

Una vez depurado el programa, se realizaron pruebas con dos grupos de alumnos, el primer grupo estuvo integrado por diecinueve estudiantes de la asignatura Automatización Avanzada (AA), quienes ya debieron haber acreditado previamente la asignatura Automatización Industrial (AI) para poder cursarla, por lo cual ya contaban con conocimientos en el manejo tanto de simuladores tradicionales como del equipo físico. El segundo grupo estuvo integrado por dieciséis estudiantes de Automatización Industrial, quienes apenas estaban comenzando a utilizar el equipo físico y el simulador tradicional; es decir, sin experiencia previa.

Se utilizó una escala de 1 a 5 para que los alumnos evaluaran la facilidad de uso del simulador y su utilidad para favorecer el aprendizaje. La Tabla 1 muestra los resultados de dicha evaluación.

Tabla 1 – Evaluación realizada por los alumnos en las pruebas piloto efectuadas a los gemelos digitales del LaVNeuM.

Rubro	Grupo 1 *AA*	Grupo 2 *AI*
Calificación promedio de la facilidad de uso del simulador	3.95	3.75
Calificación promedio de la utilidad para el aprendizaje	4.74	4.44
Tamaño de la muestra	19	16

3. Segundo caso de estudio: Laboratorio Virtual de Pruebas Mecánicas (LaVPruM)

3.1. Objetivo

Debido a que al inicio de este segundo proyecto las clases estaban aún desarrollándose en la modalidad a distancia, a raíz de la pandemia de COVID-19, éste tuvo inicialmente el siguiente propósito:

- Crear un simulador interactivo virtual que permita al estudiante realizar prácticas de laboratorio relacionadas con la caracterización mecánica de los materiales de las asignaturas del área de Materiales, de una manera presencial, semipresencial y en línea.

3.2. Metodología

Se eligieron los ensayos de dureza y de impacto para comenzar con la elaboración del LaVPruM y se aprovechó para ello la experiencia acumulada en el desarrollo de laboratorios virtuales anteriores.

Para el ensayo virtual de dureza, se implementó un durómetro Rockwell y para realizar las pruebas pueden seleccionarse probetas de acero 1018, acero 1045 o acero 8620. Esto se ilustra en la Figura 10.

 Derechos Reservados © 2023, SOMIM

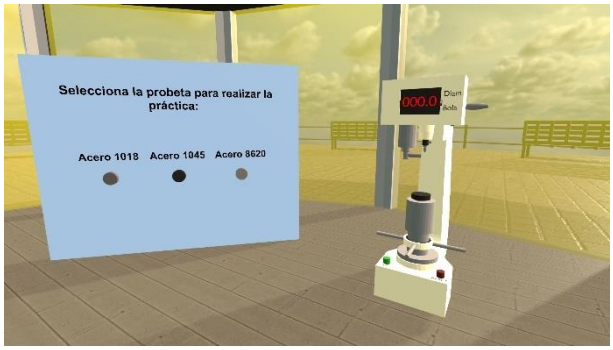

Figura 10. Durómetro Rockwell y probetas de distintos aceros para realizar el ensayo de dureza en el LaVPruM. Fuente: elaboración propia.

Para dar inicio al ensayo de dureza en el LaVPruM es necesario seguir el siguiente procedimiento. Colocar la probeta en el durómetro. Seleccionar el tipo de indentador a utilizar. Presionar el botón de reset del durómetro. Aplicar una precarga, como se muestra en la Figura 11. Activar la carga completa y tomar la lectura dada por el durómetro.

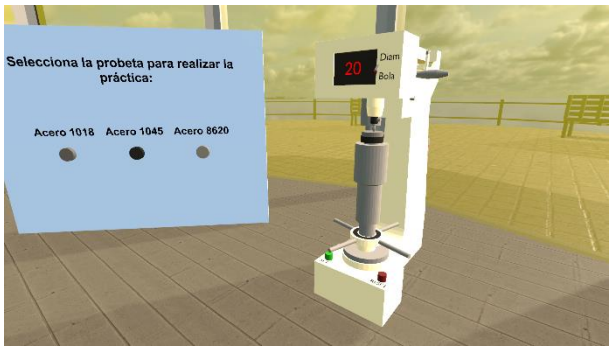

Figura 11. Durómetro Rockwell aplicando una precarga a la probeta para realizar el ensayo de dureza en el LaVPruM. Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, el ensayo de impacto puede realizarse de tres maneras: a temperatura ambiente, a una temperatura superior a la del ambiente, o a una temperatura inferior a la del ambiente. En la Figura 12 se muestra el modelo virtual de la máquina de impacto desarrollada para el LaVPruM.

Figura 12. Máquina de impacto del LaVPruM. Fuente: elaboración propia.

Para llevar a cabo el ensayo de impacto a temperatura ambiente en el LaVPruM debe realizarse el siguiente procedimiento. Colocarse frente a la máquina de impacto. Liberar el freno para preparar la máquina. Elevar el péndulo, como se muestra en la Figura 13, utilizando el volante.

Figura 13. Máquina de impacto del LaVPruM con el péndulo elevado para realizar la prueba. Fuente: elaboración propia.

Dirigirse hacia la mesa mostrada en la Figura 14 y tomar una probeta utilizando las pinzas.

Figura 14. Mesa con probetas para realizar la prueba de impacto en el LaVPruM. Fuente: elaboración propia.

Colocar la probeta en la máquina de impacto y liberar el péndulo. Tomar la lectura de la carátula de la máquina. Recoger la probeta impactada y depositarla en el contenedor de basura, mostrado en la Figura 15. De este

 Derechos Reservados © 2023, SOMIM

modo, con la adecuada disposición de los residuos concluye la prueba a temperatura ambiente.

Figura 15. Contenedor de basura para probetas después de realizada la prueba impacto en el LaVPruM. Fuente: elaboración propia.

Para realizar la prueba a una temperatura superior a la ambiental, únicamente es necesario calentar la probeta antes de realizar la prueba utilizando el horno mostrado en la Figura 16. La probeta saldrá del horno de color rojo para indicar que se ha calentado.

Figura 16. Horno para calentar probetas para realizar en el LaVPruM la prueba impacto a una temperatura superior a la ambiental. Fuente: elaboración propia.

Para realizar la prueba a una temperatura inferior a la ambiental es necesario enfriar la probeta antes de realizar la prueba utilizando un vaso con nitrógeno líquido. Esto se muestra en la Figura 17. La probeta se pondrá de color blanco para indicar que se ha enfriado.

Figura 17. Uso de nitrógeno líquido para enfriar las probetas para realizar en el LaVPruM la prueba impacto a una temperatura inferior a la ambiental. Fuente: elaboración propia.

3.3. Evaluación del funcionamiento

Para evaluar el funcionamiento del LaVPruM se hicieron pruebas con dos grupos de control que realizaron el ensayo de dureza. El primer grupo estuvo integrado por ocho profesores y el segundo grupo por once estudiantes.

En la Tabla 2 se muestran las calificaciones promedio de la evaluación realizada por ambos grupos de usuarios, donde se utilizó una escala de 1 a 5 para evaluar el desempeño del LaVPruM en cada uno de los rubros mencionados.

Tabla 2 – Evaluación realizada por profesores y alumnos en las pruebas piloto realizadas al ensayo de dureza del LaVPruM.

Rubro	Grupo 1 Profesores	Grupo 2 Estudiantes
El experimento se pudo desarrollar correctamente.	4.13	5
El experimento tuvo el resultado que esperabas.	4.25	5
Consideras que se cumplieron tus expectativas antes de iniciar la prueba.	4.25	4.91
Tamaño de la muestra	8	11

3.4. Trabajo en desarrollo

Tras haber terminado la implementación de las pruebas de dureza e impacto en el LaVPruM, en el último año se ha comenzado a trabajar en la implementación del ensayo de tracción para ampliar las capacidades de este laboratorio virtual y poder atender a un mayor número de usuarios.

Hasta el momento ya se han desarrollado distintos tipos de probetas para la prueba de tracción y un vernier digital, estos se muestran en la Figura 18. Se espera tener

 Derechos Reservados © 2023, SOMIM

concluida la implementación de esta prueba a finales de 2023.

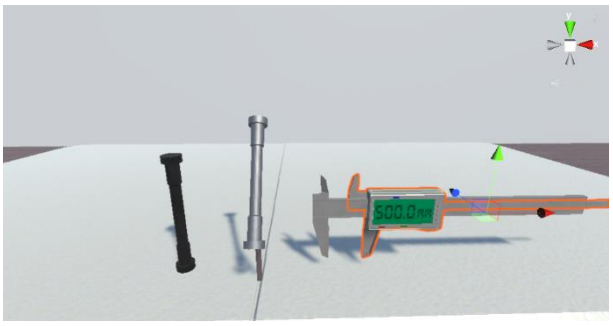

Figura 18. Probetas y vernier digital para realizar en el LaVPruM la prueba de tracción. Fuente: elaboración propia.

4. Resultados

4.1. Laboratorio Virtual de Neumática en el Metaverso (LaVNeuM)

Los resultados obtenidos, en las encuestas aplicadas a los grupos de control, demuestran que el uso de gemelos digitales tiene un alto impacto para favorecer el aprendizaje en el estudio del armado de circuitos neumáticos para el control de máquinas y procesos industriales.

Por otra parte, la facilidad de uso de esta herramienta didáctica es buena, pero se está en proceso de implementar mejoras en beneficio de los usuarios. Entre los puntos a mejorar más mencionados se incluyen los siguientes. Poder utilizar mangueras de distintos colores. Ampliar el rango de selección de los conectores para realizar más fácilmente las conexiones neumáticas. Agregar etiquetas de ayuda contextual para identificar los distintos componentes neumáticos y sus vías de conexión.

En cuanto a los puntos más destacados cabe mencionar los siguientes. La posibilidad de estudiar de manera remota. El equipo virtual no es susceptible a fallas ni daños. Es seguro de utilizar al no haber riesgo de accidentes por alguna distracción, un mal uso o una mala conexión. Ahorro en costos operativos y de mantenimiento.

4.2. Laboratorio Virtual de Pruebas Mecánicas (LaVPruM)

Los resultados obtenidos en las encuestas de evaluación para el ensayo virtual de dureza fueron notoriamente altos y satisfactorios. Esto denota que el experimento virtual logró implementarse de forma muy cercana al experimento real.

Entre las recomendaciones para la mejora dadas por los usuarios, se destacan las siguientes, para su próxima incorporación. El tamaño de la letra es muy pequeño. Agregar más material audiovisual. Agregar una guía para realizar la práctica.

5. Conclusión

Los resultados logrados hasta ahora con el desarrollo de distintos tipos de laboratorios virtuales para la docencia y, principalmente, la evaluación realizada por nuestros usuarios y público objetivo, confirman que los laboratorios virtuales son efectivamente una herramienta didáctica muy poderosa, ya que no solamente ayudan a mejorar la comprensión de los estudiantes, sino que incluso generan otro tipo de beneficios colaterales.

Agradecimientos

Al Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación, PAPIME con claves PE108323, PE109123, PE104922, PE106822 y PE109221, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.
A Inti López Lucero, Emilio Morales Luna, Mauricio Villalba González, Miguel Ángel Aldair Martínez Robles y Sergio Antonio Cruz Pérez, por su colaboración y aportaciones para el desarrollo del LaVNeuM.
A Ricardo Ortiz Estrada, Aarón Hernández García, Hamid Eduardo Riba Ramírez y Miguel Ángel Carrillo Cobián, por su colaboración y aportaciones para el desarrollo del LaVPruM.
A los profesores y alumnos que participaron en las pruebas de evaluación realizadas.

REFERENCIAS

[1] G. Hurtado Chong, M. A. A. Martínez Robles, L. Y. Bautista Blanco, Memorias del XXVIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM (2022) EIM28 [en línea]. Disponible en: https://somim.org.mx/memorias/memorias2022/articulos/A5_71.pdf [Última consulta: 1 de junio de 2023.]

[2] G. Hurtado Chong, R. E. Sousa Combe, O. Díaz Hernández, Manual de prácticas del Laboratorio de Automatización Industrial (4a versión). México: FI-UNAM (2020) [en línea]. Disponible en: https://mecatronica.unam.mx/documentos/o013/MADO-23v4.pdf [Última consulta: 1 de junio de 2023.]

[3] G. Hurtado Chong, M. A. A. Martínez Robles, S. A. Cruz Pérez, L. Y. Bautista Blanco, Memorias del XXVII Congreso Internacional Anual de la SOMIM (2021) EIM66 [en línea]. Disponible en: https://somim.org.mx/memorias/memorias2021/articulos/A5_95.pdf [Última consulta: 1 de junio de 2023.]

 Derechos Reservados © 2023, SOMIM

[4] G. Hurtado Chong, L. Y. Bautista Blanco, M. A. A. Martínez Robles, F. E. Reyes Reyes, Actas del XV Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica (2022) 1 [en línea]. Disponible en: http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:congresoCIBIM-2022UPMEspana-Ghurtado/Abs_119_183013.pdf [Última consulta: 1 de junio de 2023.]

 Derechos Reservados © 2023, SOMIM