

# Laboratorio Remoto para la Realización de Prácticas de Automatización Industrial

## Remote Laboratory for the Realization of Industrial Automation Practices

Luis Miguel Zabala Gualtero<sup>1</sup>, Jorge Enrique Meneses Flórez<sup>2</sup>, Daniel Camilo Prada Villamizar<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Mecatrónica Automotriz, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Toluca, México

<sup>2</sup>Laboratorio de Automatización Industrial, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

luis.zabala@invitados.itesm.mx, jmeneses@uis.edu.co, daniel.prada1@correo.uis.edu.co

**Resumen.** El desarrollo de buenas competencias en disciplinas propias de la ingeniería tales como la automatización industrial, requiere de una constante innovación por parte de las instituciones en los métodos de enseñanza usados para la instrucción de los estudiantes en estos temas específicos, en la que se prioricen la realización de prácticas con equipos reales, de modo que estos puedan afianzar y consolidar los conceptos teóricos adquiridos en las aulas de clase. La implementación de un laboratorio remoto constituye un avance en cuanto a la creación de espacios enfocados a la experimentación se refiere, y supone una mejora en las técnicas de enseñanza, gracias a la implementación de nuevas tecnologías dentro de los cursos tradicionales. Este artículo muestra el desarrollo de un laboratorio remoto enfocado en temas propios de automatización, como lo son el control de procesos y el diseño de automatismos lógicos secuenciales.

Palabras clave: Laboratorio remoto, Métodos de Enseñanza, Automatización Industrial.

**Abstract.** The development of good competences in disciplines specific to engineering, such as industrial automation, requires constant innovation on the part of institutions in teaching methods used for the instruction of students in these specific subjects, in which priority is given to realization of practices with real equipment, so that these can strengthen and consolidate the theoretical concepts acquired in classrooms. The implementation of a remote laboratory is an advance in terms of the creation of spaces focused on experimentation, and implies an improvement in teaching techniques, thanks to the implementation of new technologies within traditional courses. This article shows the development of a remote laboratory focused on automation issues, such as process control and the design of sequential logic automations.

Keywords: Remote laboratory, Teaching Methods, Industrial automation.

## 1 Introducción

La enseñanza de las nuevas disciplinas de la ingeniería, en especial de aquellas consideradas como técnicas y/o científicas, requiere de la implementación de nuevas tecnologías para asegurar mejoras en el proceso de aprendizaje de los estudiantes [1]. En el caso de la automatización industrial, es más que necesaria la complementación de las teorías y los contenidos impartidos en las aulas de clase, con el desarrollo de prácticas de laboratorio, las cuales en su forma tradicional se realizan bajo un esquema conocido con el nombre de “laboratorio presencial con plantas reales” según la clasificación propuesta por Guzmán [2], sin embargo, este esquema no permite que los estudiantes saquen el mayor provecho de su experiencia, impidiendo así el pleno desarrollo de sus competencias en estas disciplinas de gran importancia.

Según la definición propuesta por Calvo en [3], un laboratorio remoto es “aquél que existe y puede ser manipulado de forma remota a través de Internet, haciendo uso de Webcams, hardware específico para la adquisición local de datos y software para dar una sensación de proximidad con el equipamiento”. La implementación de sistemas de laboratorio remoto ofrece un gran número de ventajas, expuestas de forma muy detallada por Siavoosh [4], siendo una de las más importantes el aumento en la disponibilidad de los equipos con que cuentan la mayoría de instituciones, dando al público la posibilidad de acceder a dichas plantas en espacios programados por fuera de las jornadas académicas normales, y disponer con una mayor flexibilidad de su propio tiempo.

El uso de los laboratorios remotos como sistemas de apoyo en las disciplinas de la ingeniería, visto desde la perspectiva de los laboratorios remotos existentes, es bastante común; un ejemplo de esto es presentado por Calvo [5] donde se realiza la adaptación de un planta real (sistema Ball & Hoop) “diseñada para el estudio del control de las oscilaciones de un líquido de un contenedor cuando este se mueve” para su posterior operación de forma remota, el laboratorio presentado en este artículo se basa en tecnologías Web y fue implementado mediante el uso de LabVIEW/OPC en un servidor, y el desarrollo de un control ActiveX (Visual Basic) integrado en una Página Web.

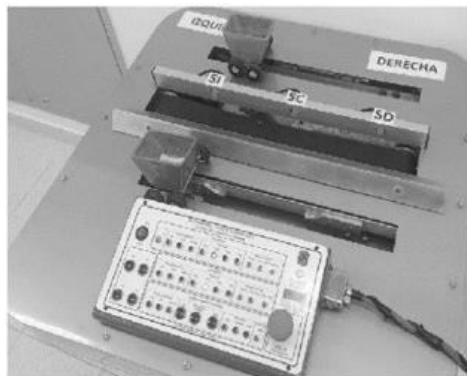
Por otro lado, Castillo Rafael [6] expone el diseño de un laboratorio remoto cuya arquitectura comprende un servidor de aplicaciones web, el software de acceso remoto TeamViewer, consolas de programación Teach pendant para los robots industriales y cámaras IP para el monitoreo de los equipos. Adicionalmente, en este artículo se exponen otros ejemplos de laboratorios remotos implementados en diferentes instituciones de Latinoamérica.

En este trabajo, se presenta el desarrollo de un laboratorio remoto para prácticas de automatización industrial, implementado en dos plantas físicas diseñadas para la realización de prácticas en tópicos específicos como el control de procesos cuasi-continuos [7] y el diseño de automatismos lógicos basados en las metodologías GRAFCET/GEMMA [8], ambas pertenecientes al laboratorio de automatización industrial de la Universidad Industrial de Santander (UIS). El laboratorio remoto desarrollado, comprende una arquitectura bastante robusta compuesta por un servidor de aplicaciones web, un servidor de computación virtual en red (VNC por sus siglas en inglés), un controlador por proceso OLE (OPC por sus siglas en inglés), controladores lógicos programables (PLC’s por sus siglas en inglés) y un conjunto de

paquetes de software necesarios para la integración y el funcionamiento en conjunto de todos los elementos ya mencionados. A diferencia de los laboratorios remotos expuestos anteriormente, este puede ser accedido desde cualquier lugar, ya que cuenta con una aplicación web soportada en un dominio público que no requiere de la instalación de ningún tipo de software por parte del usuario para su uso.

## 2 Desarrollo

El laboratorio remoto se realizó a partir de la adaptación de dos objetos de aprendizaje (plantas reales) diseñados para la ser utilizados en prácticas de automatización industrial, y operados tradicionalmente bajo el esquema de laboratorio presencial con plantas reales. El primero de estos, corresponde al llamado “Banco de Vagonetas” diseñado como un objeto de aprendizaje cuyas practicas experimentales se enfocan en el diseño y la ejecución de automatismos lógicos secuenciales bajo las metodologías de GRAFCET/GEMMA, en el que los estudiantes disponen de una serie de elementos tales como 2 vagonetas móviles, una banda transportadora, sensores y un panel de control o HMI fisico, compuesto por una serie de pulsadores e indicadores, que en conjunto simulan una planta de transporte de materiales, cuya operación está dada por los parámetros de diseño impuestos por lo estudiantes, en el desarrollo de los automatismos lógicos como se muestra en la figura 1.

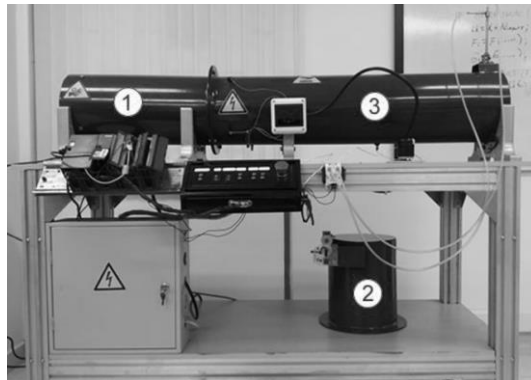


**Fig 1.** Banco de vagonetas

El segundo objeto de aprendizaje corresponde al “Banco: Túnel de viento”, el cual es un objeto de aprendizaje enfocado al desarrollo de prácticas de control muestreado, basado en el uso de controladores industriales, como los son los PLCs de marca SIEMENS (ver figura 2) con que cuentan en su estructura física. Esta planta cuenta con dos configuraciones, que permiten a los usuarios disponer de dos sistemas de control de distinta complejidad, dentro de los cuales se encuentra un sistema de control de posición angular de una entrada y una salida (configuración SISO), y un sistema de control regulado de velocidad y temperatura de aire de múltiples y múltiples salidas (sistema MIMO).

La adaptación de estos equipos al esquema de laboratorio remoto requirió de la implementación de una arquitectura robusta compuesta principalmente por dos grandes bloques de hardware – software diseñados para el control de acceso al

laboratorio remoto, y para la operación del mismo. Una vez un usuario pase de forma satisfactoria por el control de acceso, será redirigido a un bloque denominado laboratorio remoto, dentro de este se encuentran las terminales de trabajo, las cuales a su vez comprenden dentro de su estructura a las plantas reales mencionadas anteriormente. La arquitectura del laboratorio remoto fue diseñada de tal forma que ofrezca al usuario que opera las plantas, la sensación de control que tendría al operar estos mismos equipos de forma presencial. Se dispusieron de todos los elementos necesarios para que un usuario pueda aprovechar al máximo las capacidades de todos los equipos.



**Fig 2.** Banco túnel de viento

### **2.1 Arquitectura del laboratorio remoto**

En la figura 3 se puede apreciar un esquema de la realización de prácticas de automatización industrial con enfoque en el diseño de automatismos lógicos y el control de procesos.

El diseño de la arquitectura del laboratorio remoto tenía como objetivo principal lograr el desarrollo de un sistema seguro, flexible y completamente administrable. Partiendo de estas premisas, se optó por hacer del laboratorio remoto, el producto del trabajo conjunto de dos grandes bloques: el bloque de control de acceso y el bloque denominado laboratorio remoto.

**Control de Acceso:** Corresponde al componente administrable del laboratorio remoto, y se basa de forma general en una aplicación web diseñada específicamente para controlar tanto la disponibilidad de los equipos, como del ingreso de los usuarios a las terminales de trabajo del laboratorio. El componente Hardware de este bloque está constituido por un servidor web en conjunto con el componente de software, que se encargan de la ejecución y el funcionamiento del aplicativo web; dentro del componente software se incluyen los siguientes elementos:

- Sistema operativo: Linux
- Servidor de aplicaciones Web: Wamp Server
- Paquete de lenguaje PHP

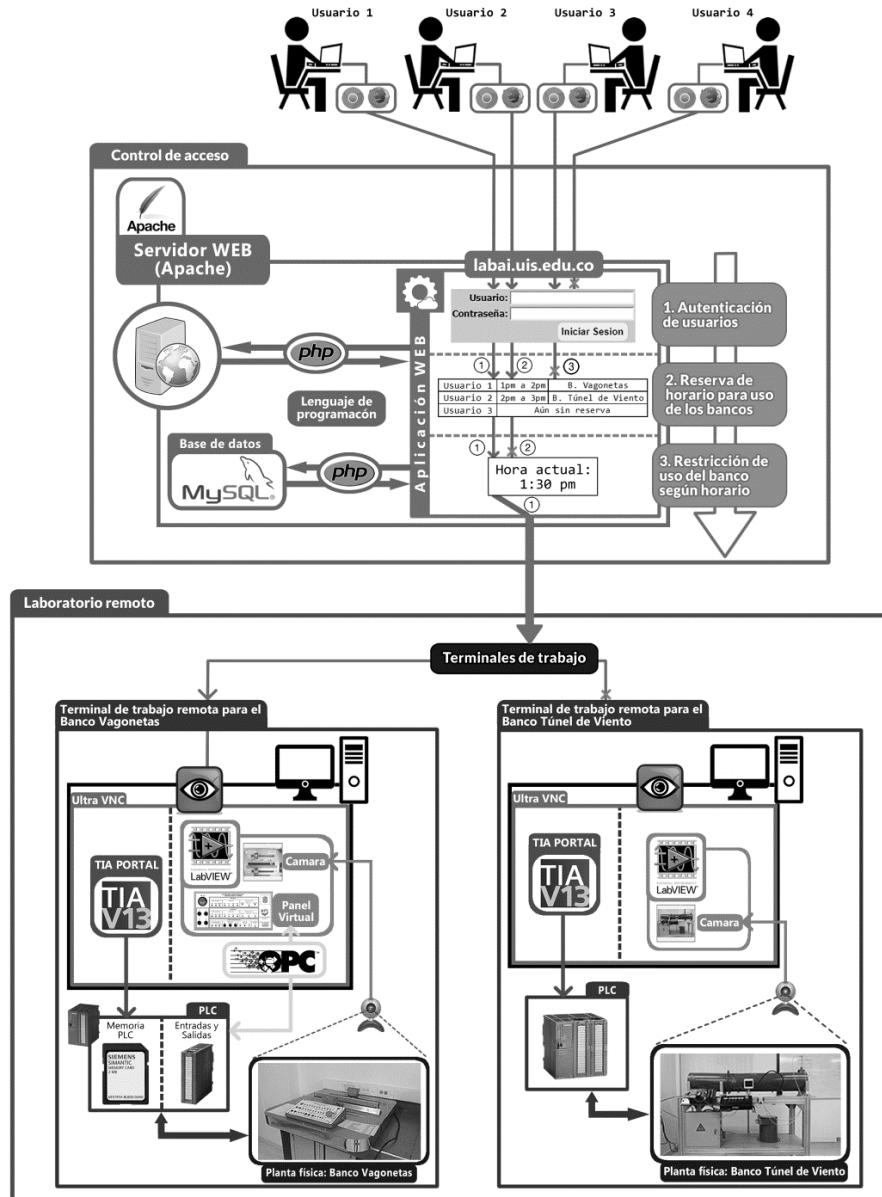


Fig 3. Arquitectura del laboratorio remoto.

Con el fin de garantizar una completa accesibilidad por parte de los usuarios, se dispuso del dominio público: <http://labia.uis.edu.co/> para el acceso a la aplicación, de modo que la calidad remota del laboratorio se cumpla en todo su sentido. Según su diseño, la aplicación web permite al usuario hacer uso de su propio tiempo, disponiendo de turnos de trabajo proporcionados de una hora, los cuales puede acomodar según como lo desee, y como la demanda por parte de los demás usuarios

se lo permita; dentro de la aplicación cada usuario cuenta con una serie de propiedades que lo definen dentro de la base de datos en la que se sustenta la misma, dichas propiedades se muestran en la figura 4.

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying '192.168.43.173/admin.php'. The page title is 'Página del administrador x'. The navigation menu includes 'Estudiantes', 'Profesores', 'Agregar usuarios', 'Bancos', 'Apartar Bancos', and 'Programar Reset'. The main content area is titled 'Agregar usuario' and contains a form with the following fields: 'Usuario' (Ingresar el usuario), 'Contraseña' (Ingresar la contraseña), 'Curso' (Selección de un curso), 'Nombres' (Ingresar un nombre), 'Apellidos' (Ingresar un apellido), 'Codigo' (Codigo del estudiante), 'Correo' (Correo del estudiante), and 'Horas Permitidas' (Cuatro(4) horas máximo). There are radio buttons for 'Estudiante' and 'Profesor', and a 'Registrar Usuario' button. Below the form, there is a section 'Agregar usuarios seguidos' with an 'Agregar más usuarios' button.

Fig 4. Zona para agregar usuario

Teniendo en cuenta que se debe tener un control de los estudiantes que ingresan a la plataforma, la aplicación clasifica a los usuarios dentro de 3 categorías principales: administradores, profesores y alumnos, donde es el administrador quien tiene la mayor cantidad de privilegios y el alumno la menor. Con esto en mente, es válido mencionar que el administrador tiene el control total sobre la página y sobre todos los usuarios que en ella se encuentren registrados, por su parte, el profesor solo tendrá el control sobre su cuenta de trabajo y sobre las cuentas de los alumnos que se encuentren asociados a sus grupos de trabajo o cursos, teniendo como límite un máximo de 5 cursos, por último, los denominados alumnos solo tendrán el control de sus propias cuentas, y podrán disponer de hasta 4 turnos de trabajo.

En cuanto al control de ingreso a las terminales de trabajo, este puede ser realizado por todos los usuarios excepto el administrador, solo en los horarios dispuestos en el calendario semanal de la plataforma. El ingreso a una terminal de trabajo requiere de una reserva de turno previa al ingreso del usuario, la cual se valida una vez que la hora apartada coincida con la hora local colombiana. Durante el desarrollo del laboratorio remoto, fueron impuestas algunas restricciones sobre el ingreso a las terminales; estas son:

- Un turno de trabajo solo puede ser apartado por un usuario a la vez
- Un turno apartado aplica para una terminal de trabajo
- La cantidad de turnos de cada usuario se reestablece cada semana

**Laboratorio Remoto:** Es el segundo bloque del sistema y constituye la parte operativa de todo el conjunto. Cuenta con dos terminales de trabajo estructuradas de tal forma que cada una de las plantas reales con que cuenta el laboratorio puedan ser operadas en su totalidad, desde cualquier lugar, por cualquier usuario, siempre que este cuente con un computador y una conexión a internet. Según la planta asociada con la terminal de trabajo, el usuario puede disponer de las siguientes terminales:

- Terminal de trabajo remota: Banco de Vagonetas.
- Terminal de trabajo remota: Banco Túnel de Viento.

Al igual que el bloque de control de acceso, este bloque cuenta con un componente hardware y un componente software, que en general varía de forma mínima para las dos terminales. Dentro de los elementos que integran el componente hardware se encuentran: un computador de escritorio, un PLC, la planta de trabajo y una cámara web. En cuanto al componente software de las estaciones, cada una de estas cuenta con:

- Servidor de comunicaciones VNC: UltraVNC Server
- Programa de comunicación: LabVIEW
- Controlador de procesos OLE: National Instruments
- Software de PLC: TIA Portal
- Compilador de lenguaje Python: Python 3.5

El funcionamiento en conjunto de toda la arquitectura del laboratorio remoto se da a través del uso continuo de la configuración cliente – servidor, para cada una de las comunicaciones que se realizan durante la operación de todo el sistema. Esto se logra por medio de una asignación precisa de los roles que deben asumir cada uno de los elementos, durante cada una de las fases de operación del laboratorio remoto, las cuales van desde en ingreso de un usuario a la aplicación web, hasta el momento en que este valida su turno de trabajo y logra ingresar a una de las terminales de trabajo. Es importante resaltar que en todo momento el usuario conserva su rol de cliente dentro del laboratorio remoto, y según como fue diseñado este, no se requiere de la instalación de ningún tipo de software o aplicación por parte de este, para la correcta tele-operación de los equipos por parte de este. En la figura 5 se presenta la interfaz de trabajo del usuario, una vez que su turno de trabajo ha sido validado y este ha ingresado por medio de la plataforma a la terminal de trabajo. Se puede revisar la referencia [9] para saber todo el procesamiento del desarrollo.

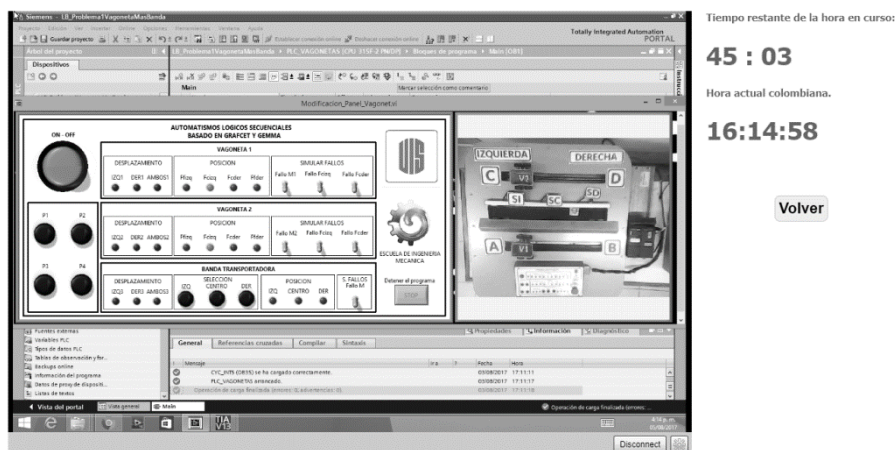


Fig. 5. Interfaz de usuario de la terminal de trabajo remota: Banco de Vagonetas.

### 3 Conclusiones

La implementación de un laboratorio remoto, para el apoyo de cursos de ingeniería, supone una mejora en el proceso de aprendizaje de los estudiantes de estas disciplinas técnicas y científicas, constantemente afectado por los problemas de acceso y disponibilidad de los equipos en los laboratorios de las instituciones, gracias a la adaptación de dos plantas de trabajo, normalmente usadas bajo el esquema tradicional de laboratorio, al esquema de laboratorio remoto desarrollado en la ejecución del proyecto de grado.

El desarrollo de una aplicación web administrable, enfocada al desarrollo de las competencias en autómatas programables y control de procesos de los estudiantes, y a su vez de los mismos profesores, complemento la construcción de un sistema de laboratorio remoto capaz de realizar la tele-operación de dos plantas reales, situadas en un laboratorio de automatización industrial, y operadas bajo el esquema tradicional de laboratorio presencial con plantas reales.

### Agradecimientos

Un claro agradecimiento a Juan David Durán Tristancho investigador del Centro De investigación en Mecatrónica Automotriz (CIMA) del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey por su ayuda con el proyecto realizado.

### Referencias

1. Zabala L, Carvajal D. Construcción de una MRV: Una Herramienta Didáctica para Estudiantes de Ingeniería. *J Ind Neo Technolgies*. (2017); 4:19-27.
2. Guzmán J, Berenguel M, Rodríguez F, Dormido S. Web-based remote control laboratory using a greenhouse scale model. *Comput Appl Eng Educ*. (2005); 13(2):111-124. doi:10.1002/cae.20035.
3. Calvo I, Zulueta E, Gangoiti U. Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas. :1-21.
4. Azad S, Kinks H, Tajammul M, Ellervee P. An ad-hoc implementation of a remote laboratory. 2015 IEEE Int Conf Microelectron Syst Educ MSE. (2015):48-51. doi:10.1109/MSE.2015.7160015.
5. Calvo I, López F, Zulueta E, Pascual J. Laboratorio de Control Remoto del Sistema ``Ball & Hoop``. XXIX Jornadas Automática 35 Sept. (2008).
6. Ortega R. Diseño De Un Laboratorio Remoto De Robots Y Procesos De Manufactura Industriales. (2013):48-56.
7. Villamizar OAT, Carvallido JMQ. Diseño y construcción de un objeto de aprendizaje para prácticas de sistemas de control muestreado, basado en controlador industrial (PLC). Tesis de pregrado, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, Colombia (2012).
8. Moreno C, Bueno J. Objeto de aprendizaje para el diseño de automatismos lógicos secuenciales basado en GRAFCET diseño y construcción. Tesis de pregrado, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, Colombia (2011).
9. Villamizar D, Tristancho J. Desarrollo de un prototipo de laboratorio remoto para la realización de prácticas de automatización industrial. Tesis de pregrado, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, Colombia (2017).