

PILAR: Plataforma de federación de laboratorios remotos VISIR de electrónica analógica

Unai Hernandez-Jayo
Universidad de Deusto
Bilbao, España)
unai.hernandez@deusto.es

Javier Garcia-Zubia
Universidad de Deusto
Bilbao, España)
zubia@deusto.es

Manuel Castro
UNED
Madrid, España
mcastro@ieec.uned.es

Felix Garcia Loro
UNED
Madrid, España
fgarcialoro@ieec.uned.es

Kati Valtonen
OMNIA
Espoo, Finlandia
kati.valtonen@omnia.fi

Elio San Cristobal
UNED
Madrid, España
elio@ieec.uned.es

Gabriel Díaz Orueta
UNED
Madrid, España
gdiaz@ieec.uned.es

Alejandro Macho
UNED
Madrid, España
amacho@ieec.uned.es

Gustavo Alves
Politécnico do Porto
Porto, Madrid
gca@isep.ipp.pt

André Fidalgo
Politécnico do Porto
Porto, Madrid
anf@isep.ipp.pt

Arcelina Marques
Politécnico do Porto
Porto, Madrid
mmr@isep.ipp.pt

Andreas Pester
Fachhochschule Kärnten
Villach, Austria
A.Pester@fh-kaernten.at

Christian Kreiter
Fachhochschule Kärnten
Villach, Austria
c.kreiter@fh-kaernten.at

Doru Ursutiu
IAOE
Villach, Austria
udoru@unitbv.ro

Carla Garcia
EVM
Islas Canarias, España
carla.garcia@evm.net

Resumen—Los laboratorios remotos son ya una herramienta de enseñanza/aprendizaje en diferentes campos de la ingeniería y de la ciencia. El laboratorio remoto VISIR es un ejemplo paradigmático de esta nueva metodología en el campo de la electrónica analógica ya que el alumno puede montar y medir circuitos reales de un modo satisfactorio. En la actualidad en Europa hay cinco instancias desplegadas y activas de VISIR y en Sudamérica hay 5 más, cada una de ellas ofrece distintos circuitos eléctricos y electrónicos de manera que el usuario debe saber dónde está desplegado el circuito que él quiere montar y desplegar para poder acceder a él, lo que es una clara limitación. La solución al problema pasa por federar dicho grupo de laboratorios remotos

Keywords— laboratorios remotos, electrónica analógica

I. INTRODUCCIÓN

Los laboratorios remotos comenzaron su andadura a finales del siglo XX y ya en este siglo XXI se han convertido en una opción más dentro de las herramientas de enseñanza/aprendizaje en el aula, y en una herramienta inevitable para los cursos a distancia en ingeniería.

En este contexto, la formación práctica es extremadamente importante, especialmente en los programas de titulación técnica [1][2]. Por lo tanto, las universidades e instituciones educativas confían en la experimentación para construir oportunidades exitosas de aprendizaje interdisciplinario en los

cursos técnicos [3]-[5]. Las sesiones prácticas de laboratorio requieren la presencia de personal técnico y docente. También se requiere una sala adecuada para alojar bancos de trabajo replicados con el fin de proporcionar un número adecuado de bancos de trabajo para optimizar el programa de trabajo de dicho personal. Por lo tanto, debido a estas limitaciones, los laboratorios remotos pueden jugar un papel fundamental [6].

En el ámbito concreto de la ingeniería y de la electrónica en particular, la experimentación práctica en electrónica es un campo especialmente favorable al uso de laboratorios remotos, y el mejor de ellos es el laboratorio remoto VISIR, tanto por despliegue real como por difusión y premios internacionales. En la actualidad hay 10 instancias de VISIR desplegadas en el mundo, 5 en Europa y 5 en Sudamérica.

El uso intensivo de VISIR ha ido haciendo cada vez más visibles y claras sus limitaciones. En el caso de VISIR su diseño no permite el montaje de “todos” los circuitos electrónicos posibles, sino solo una parte de ellos, por ejemplo: circuitos DC, circuitos AC, circuitos con AO, etc. De esta manera si un alumno quiere montar y medir un circuito DC específico debe saber dónde se encuentra situado mediante un “mapa” de circuitos, para luego acceder con sus credenciales a un VISIR concreto. Esto es una limitación clara, ya que el alumno prefiere montar el circuito y al pulsar “enviar” que sea transparente para él el envío a uno u otro VISIR.

La solución a este problema se denomina federación, y aunque tiene distintos significados para distintos laboratorios remotos debe ser entendido como la característica que permite que un conjunto de laboratorios remotos se comporte como uno solo, sobre todo desde el punto de vista del alumno. Este es un problema complejo de carácter técnico que exige desarrollo software y hardware, pero también exige el diseño y puesta en marcha de acuerdos interinstitucionales para permitir dicha federación.

El proyecto ERASMUS+ PILAR (2016-1-ES01-KA203-025327) liderado por UNED en España aborda este problema con el objetivo de aportar a la comunidad de profesores y alumnos de electrónica la federación de laboratorios remotos VISIR. PILAR se apoya en el proyecto VISIR+ también financiado dentro de ERASMUS+ (561735-EPP-1-2015-1-PT-EPPKA2-CBHE-JP).

En este artículo se aborda en un primer lugar el paradigma de la federación de laboratorios remotos, para posteriormente describir cuál ha sido la primera aproximación llevada a cabo en el marco del proyecto PILAR

II. CONCEPTOS PREVIOS

A. Sistemas de gestión de Laboratorios Remotos

Muchas de las características desarrolladas en un laboratorio remoto (autenticación, autorización, programación, seguimiento de usuarios...) son reutilizables de un laboratorio remoto a otro. Debido a esta razón, se han creado los sistemas de información que proporcionan estos servicios, como por ejemplo: MIT iLabs, Labshare Sahara y WebLab-Deusto. Estos sistemas son independientes de la instalación, por lo que pueden ser referenciados como laboratorios remotos de propósito general en contraste con laboratorios remotos de propósito específico. Sin embargo, dado que la mayor parte de su trabajo es facilitar tareas de gestión, estas sistemas son denominados como Sistemas de Gestión de Laboratorios Remotos (RLMS por sus siglas en inglés). Los RLMS vienen con directrices y herramientas de desarrollo de software para desarrollar experimentos remotos. De esta manera, los RLMS aceleran el proceso de desarrollo de laboratorios remotos: los profesores que quieren crear un laboratorio remoto no necesitan trabajar en la programación de los servicios de autenticación, autorización, etc. pero manteniendo el foco de hacer que el experimento esté disponible a través de Internet.

Adicionalmente, los RLMS proporcionan herramientas de administración, por lo que los profesores pueden utilizarlos para añadir estudiantes, conceder permisos en ciertos laboratorios, rastrear estudiantes, etc. La ventaja de emplear estos sistemas es que una vez que añaden una nueva funcionalidad transversal, todos los experimentos desarrollados con que RLMS la adquirirán automáticamente. Por ejemplo, si un RLMS no soporta LDAP (un protocolo de directorio común en las universidades que se utiliza para autenticar y autorizar usuarios), y en la próxima versión lo soporta, automáticamente todos los experimentos desarrollados con ese RLMS desplegarán esa nueva funcionalidad. De hecho, esta flexibilidad de los RLMSs es lo suficientemente interesante como para crear esfuerzos para integrar en ellos los sistemas

previamente existentes. Por ejemplo, en [7] el laboratorio remoto VISIR está integrado en MIT iLabs, o en [8] está integrado en WebLab-Deusto.

Una de las cosas que los RLMSs facilitan es el desarrollo de los sistemas de reservas, por ejemplo. Hay dos enfoques principales: hacer cola o hacer una reserva basada en un calendario. En la actualidad, el RLMS iLab es compatible con colas para laboratorios por lotes y reservas para laboratorios interactivos.

Labshare Sahara permite tanto la reserva como la cola para laboratorios interactivos. WebLab-Deusto soporta colas para laboratorios interactivos y por lotes. En cualquier caso, el concepto de conceder acceso exclusivo a un laboratorio durante cierto tiempo persiste en todos los RLMS. Para ofrecer más slots disponibles en el calendario o para hacer que la cola se mueva más rápido, la carga de usuarios puede equilibrarse entre las diferentes copias del experimento, siempre y cuando los costes del experimento lo permitan. La Figura 1 representa este concepto: un RLMS está manejando dos copias del mismo experimento y cuatro estudiantes intentan usarlo, así que los dos primeros usuarios usarán el experimento, y los otros dos esperararán en una cola común. Esta característica, llamada balance de carga local, se implementa tanto en Labshare Sahara como en WebLabDeusto [9].

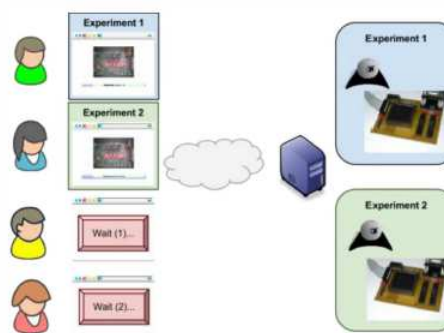


Fig. 1. Balanceo de Carga

B. Federación de laboratorios remotos

Una característica única de los laboratorios remotos en comparación con los laboratorios tradicionales es que la distancia del estudiante al equipo real no es un problema, por lo que los laboratorios remotos pueden ser compartidos con diferentes instituciones, de modo que una entidad puede compartir un laboratorio con otra entidad. Nos referimos a las entidades más que a las universidades, ya que no necesitan ser universidades: los centros de investigación pueden estar interesados en compartir recursos locales como parte de un acuerdo, y las escuelas secundarias serían razonablemente consumidores.

Esta compartición puede ser gestionada de forma directa y sencilla: la entidad proveedora (el lugar donde se encuentra el equipo) crea cuentas de usuarios de la entidad consumidora (la que está interesada en utilizar el equipo de la universidad proveedora para sus estudiantes). Los estudiantes de la entidad

consumidora acceden directamente en la entidad proveedora y la entidad proveedora realiza todo el trabajo: autentica al usuario, le autoriza a utilizar el laboratorio y le proporciona el acceso directo a los datos de la entidad proveedora.

Hay múltiples problemas con esta solución. En primer lugar, la entidad proveedora debe crear y gestionar las cuentas de usuario de todas las universidades consumidoras interesadas. Este es un escenario complejo, en el que intervienen una amplia variedad de consumidores -como universidades extranjeras e incluso escuelas secundarias que simplemente no hablan el idioma de la entidad proveedora-, de modo que este enfoque no es fácilmente escalable. En segundo lugar, la gestión de este enfoque es engorrosa: las universidades consumidoras tendrían que notificar a los proveedores cualquier cambio y no se dispondría de bases de datos o protocolos locales como LDAP. En tercer lugar, la entidad propietaria no puede llevar una contabilidad adecuada de los usos realizados: debe confiar en la entidad proveedora.

Si ambas instituciones llegan a un acuerdo en el que los usuarios de la entidad consumidora pueden acceder hasta 10.000 veces, no habrá forma de que la entidad consumidora audite esto si la entidad proveedora dice en algún momento "ya ha alcanzado el límite".

Para manejar estos y otros problemas, se requiere un modelo de dos caras (Figura 2), donde ambas universidades tienen el mismo framework software que maneja este intercambio. La entidad consumidora puede autenticar y autorizar a los estudiantes locales, y una vez autorizada, el framework local se pondrá en contacto con la entidad proveedora y solicitará un espacio. De esta manera, la entidad proveedora no necesita administrar los estudiantes y cursos de la entidad consumidora, y la entidad consumidora puede rastrear todas las solicitudes realizadas a la entidad proveedora, pudiendo obtener información sobre los accesos de los estudiantes y auditar el uso general. En este sentido, el sistema MIT iLabs ha estado compartiendo efectivamente laboratorios remotos en todo el mundo durante años [10]. Diferentes universidades pueden utilizar el framework del MIT iLabs para desarrollar, mantener y compartir sus sistemas remotos y laboratorios con otras universidades. En el modelo federativo definido por iLabs Shared Architecture (ISA), se pueden compartir dos tipos de laboratorios remotos: los laboratorios por lotes (utilizando colas) y los laboratorios interactivos (utilizando un sistema de reservas basado en el calendario).

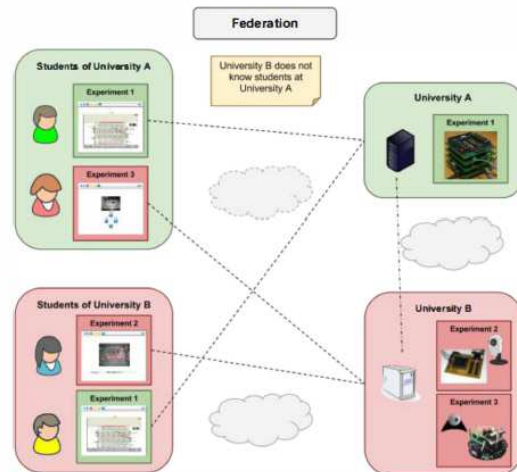


Fig. 2. Esquema de Federación de laboratorios remotos

III. ¿POR QUÉ ES NECESARIO UN MODELO DE FEDERACIÓN PARA EL USO DEL LABORATORIO REMOTO VISIR?

Para entender la necesidad de federación de los nodos que actualmente existen en la red VISIR, primero es conveniente entender cómo funciona el laboratorio remoto VISIR y cuáles son sus limitaciones a la hora de diseñar circuitos.

Todos los nodos VISIR tienen una limitación en cuanto a los componentes disponibles y la variabilidad de circuitos factibles. Esta limitación se deriva del número de tarjetas de componentes instalados y del número de componentes instalados en todas ellas (existen diferentes modelos de tarjetas que permiten entre 2 y 10 componentes, en función del número de shortcuts necesarios). Existen por lo tanto tres versiones de placas de componentes:

1. Placa de componentes Versión C: permite sólo diez relés de doble polo. Por lo tanto, se pueden instalar hasta 10 componentes/cortes cortos.
2. Placa de componentes Versión D/E: soportan 6 relés de doble polo -destinados a componentes de dos polos- y 8 relés de un polo -destinados a componentes con más de dos polos-. Cualquiera de los dos relés unipolares adyacentes puede ser reemplazado por un relé bipolar. Se pueden instalar hasta 14 componentes/cortes cortos.
3. Tarjeta de componentes 2C versión B: se pueden instalar dos componentes de dos patitas/conectores, pero conecta cada patita de componente con uno de los nueve nodos disponibles en la arquitectura VISIR (A-D).

En las tarjetas componentes C y D/E, mediante la instalación de componentes y su cableado a los nodos de la matriz, se define cómo los componentes están interconectados en la matriz de conmutación, definiendo así a qué nodos están conectados. Cada componente se conecta a los nodos de la matriz en cada caso, en función de la señal de control del relé. Los nodos de matriz son de A a I y 0 (GND). Las sondas del

osciloscopio, así como las puntas de test del DMM, están conectadas dinámicamente a cualquier nodo. El generador de funciones está conectado internamente al nodo A y las fuentes de alimentación (6 V; +20 V; -20 V) pueden estar conectadas a cualquiera de los nodos descritos anteriormente.

La Figura 3 muestra las conexiones necesarias para realizar un rectificador de media onda, comparando el comportamiento de dos diodos (1N4007 y BAT42) con características diferentes. Este experimento requiere el uso de 10 relés en las placas de componentes (2 diodos, 2 resistencias y 4 cortocircuitos). Cuanto más complejo sea el circuito, más relés necesitará. Obviamente, estos componentes y cortocircuitos pueden ser reutilizados para otros experimentos, pero siempre se conectarán a los nodos conectados en la matriz de conmutación del relé; por ejemplo, a partir de la Figura 3, la resistencia 3K01 conectada a los nodos E y F, y la resistencia 10K conectada a los nodos E y F también se pueden conectar en paralelo (nodos E y F), pero claramente es imposible conectarlos en serie. Por lo tanto, el número de circuitos factibles es una fuerte limitación para un sistema aislado. Además, incluso una federación tendrá problemas para ofrecer todos los circuitos posibles construibles basados en un conjunto relativamente grande de componentes [11].

VFGENA_FGENA1	A 0	max:5
VDC+6V_3_D	max:6	imax:0.5
VDCCOM_24_2_0		
SHORTCUT_8_12	F 0	
R_2_8	EF	3K01
R_2_1	EF	10K
SHORTCUT_5_14	AD	
SHORTCUT_1_12	CD	
D_3_1	CE	1N4007A
SHORTCUT_2_5	BC	
D_3_8	CE	BAT42
SHORTCUT_6_12	AF	

Fig. 3. Ejemplo de fichero que describe las conexiones disponibles para un tipo de circuitos sobre el laboratorio VISIR.

En este escenario, una federación de sistemas VISIR no sólo proporcionará un importante repositorio de circuitos y variaciones basadas en sus componentes, sino también una optimización de los recursos de tiempo y componentes en cada nodo.

En un momento en el que el número de laboratorios VISIR está aumentando gracias a proyectos como el VISIR+ [12], se hace necesario disponer de mecanismos que permitan a las instituciones que los poseen y a las instituciones que emplean este laboratorio a través de ellas, de un sistema que permita de una manera sencilla compartir los recursos sin necesitar tener que replicar experimentos en múltiples instancias.

En cuanto al uso compartido de laboratorios mediante mecanismos de federación: una vez que los estudiantes de una institución determinada pueden acceder a través de Internet a un laboratorio concreto, también pueden acceder a él los estudiantes de otras universidades. Esta ventaja puede ser bidireccional a gracias al despliegue de la federación: dos instituciones que proporcionan el mismo laboratorio remoto -o la misma experiencia práctica de un laboratorio remoto específico- pueden equilibrar la carga de sus clientes/usuarios, tal y como hemos visto en la sección anterior. Esta

característica mejora la participación de los usuarios en el entorno remoto del laboratorio debido a la mejora de la respuesta y disponibilidad de tiempo.

El análisis realizado en el Intellectual Output 2 del proyecto PILAR se ha resumido en un documento que describe los diferentes tipos de prácticas, su uso y niveles de formación que ofrecen los nodos VISIR. Dicho documento ha servido para proponer cómo mejorar técnicamente los diferentes nodos VISIR de cara a su federación, cómo complementar los diferentes catálogos de circuitos disponibles y cómo establecer prácticas más pedagógicas para los diferentes niveles educativos. Las conclusiones preliminares de esta sección fueron:

- Todos los experimentos disponen de material de orientación o aprendizaje desarrollado como material de apoyo para los usuarios.
- Los campos principales de conocimiento en los que se usa el laboratorio VISIR son: electricidad, electrónica analógica básica, electrónica y electrónica de potencia y física.
- En cada sistema VISIR están disponibles experimentos básicos de electrónica como, por ejemplo, las leyes de Kirchhoff, la ley de Ohm, circuitos RL o RC, transistores, amplificadores operativos, filtros pasivos, etc.
- El nivel educativo en el que se utilizan los experimentos también es similar estando entre bachillerato (15 - 18/19), licenciatura, máster.

El documento mencionado anteriormente ha permitido identificar vacíos de experiencias práctica, temas clave y comunes o nuevas posibilidades. Hasta ahora se están analizando 3 posibles enfoques:

- Redundancia. Este enfoque permite la escalabilidad, fiabilidad y disponibilidad a expensas de la diversidad. Si un nodo VISIR no está disponible por cualquier motivo, su esfuerzo puede ser soportado por otros nodos. Es decir: si un usuario está accediendo al VISIR en su institución, pero está fuera de servicio, será redirigido automáticamente a otro nodo VISIR disponible (en otra institución). En este caso, el mecanismo federativo debe saber qué circuitos están disponibles en qué nodos VISIR.
- Diversidad. Cada nodo VISIR puede especializarse en un tema específico (aprovechando la reutilización) e implementar un conjunto de circuitos (circuitos DC, circuitos AC, circuitos de Amplificadores Operativos, etc.). El usuario no sólo tendrá acceso al conjunto de experimentos de su institución, sino también al conjunto total de experimentos de todos los nodos VISIR. Este enfoque faculta al catálogo de experimentos a expensas de la escalabilidad y la fiabilidad.
- Enfoque combinado. Utilizando una combinación de los dos enfoques anteriores, potenciando la escalabilidad para esos experimentos comunes e implementando experimentos diferentes y menos solicitados en cada nodo.

Fig. 4. Página web basada en Moodle para la compartición de recursos educativos basados en el laboratorio remoto VISIR

IV. PRIMERA VERSIÓN DEL SISTEMA DE FEDERACIÓN PILAR

En el contexto del proyecto PILAR, el laboratorio remoto VISIR está desplegado en las 5 universidades que forman parte del consorcio: BTH, UDEUSTO, ISEP, UNED y CUAS. Una de las características más interesantes de este laboratorio es que apoya a los estudiantes simultáneos usando sesiones independientes. Esto significa que, dado que cada acceso al laboratorio es muy rápido (décimas de segundo), los accesos se multiplexan con relés, por lo que los usuarios finales no se dan cuenta de que otros usuarios utilizan el mismo equipo de manera concurrente.

A modo de ejemplo, en la Universidad de Deusto, el laboratorio VISIR se utiliza regularmente con hasta 60 usuarios a través del RLMS WebLab-Deusto. Si hay más usuarios, WebLab-Deusto creará una cola para que ingresen cada vez

que algún estudiante actual cierre la sesión o pase el tiempo asignado.

Dadas las características descritas de WebLab-Deusto, se pueden utilizar los siguientes esquemas (pongamos el ejemplo de que Deusto e ISEP comparten para simplificar el escenario):

- Cualquier estudiante (de ISEP, Deusto u otras instituciones del consorcio) puede acceder al VISIR de Deusto para una configuración particular que sólo está disponible en Deusto.
- Cualquier estudiante puede acceder al VISIR en ISEP para una configuración particular que sólo está disponible en ISEP. ISEP no necesita conocer desde donde se hace la conexión, ya que ISEP puede compartir VISIR con Deusto y Deusto compartirlo con otras instituciones.

- Cualquier estudiante (puede acceder a cualquiera de los dos equipos VISIR para una configuración particular disponible en los dos equipos VISIR. Por ejemplo, si 90 estudiantes estuvieran intentando utilizar el sistema, 60 podrían estar utilizando un sistema VISIR y los otros 30 el otro sistema VISIR.

De hecho, en la situación propuesta en el ámbito del proyecto PILAR, donde hay 5 universidades que alojan los sistemas VISIR las compartirían de la forma descrita, sería posible soportar 5 configuraciones diferentes con 60 usuarios cada una, o 3 configuraciones diferentes con hasta 120 usuarios cada una, o incluso una única configuración con 360 usuarios.

Además de los mecanismos anteriores que están principalmente orientados a facilitar el registro e identificación de los usuarios entre instituciones, en la Figura 4 se muestra el interfaz de la aplicación principal basada en Moodle que se ha desarrollado para esta primera aproximación de plataforma federada del proyecto PILAR.

Como se puede ver, el objetivo es crear un conjunto de prácticas de electrónica analógica a las que los usuarios puedan acceder con un usuario y contraseña específico proporcionado mediante registro previo en la web del proyecto PILAR.

Una vez que el usuario ha accedido, podrá realizar aquellas prácticas que desee, y siempre de una manera transparente a la instancia VISIR que está usando. Es decir, el usuario no deberá preocuparse de si está accediendo al VISIR de cualquiera de las 5 instituciones del consorcio VISIR que lo ponen sus laboratorios al servicio de la comunidad, ya que, gracias a las políticas de federación implementadas, el registro y autenticación en cada instancia es automático.

De este modo, los usuarios tienen un único punto de acceso a todas las instancias VISIR disponibles actualmente en el consorcio PILAR, teniendo por tanto todo el potencial y portafolio de circuitos y experimentos disponibles desde una única página web.

V. CONCLUSIONES

El artículo aquí presentado contribuye a la contextualización tanto del proyecto PILAR como de la política de federación que puede marcar el futuro de la explotación de las diferentes instancias del laboratorio VISIR que actualmente existen en el mundo. La comunidad VISIR está haciendo grandes esfuerzos para tratar de aunar recursos y conocimientos. Pero no puede ser únicamente a través de una página web con enlaces a los diferentes laboratorios. Si y no: siendo una página web, debe permitir a los usuarios acceder de una manera sencilla, transparente y rápida a los recursos ofrecidos por la comunidad.

La primera aproximación aquí expuesta no trata de ser la solución a la federación de todas las instancias VISIR, pero sí

el primer paso hacia ella, partiendo de una web basada en el sistema Moodle, en donde los usuarios se registran una sola vez y pueden acceder a todas las instancias de este laboratorio remoto. El valor añadido de emplear Moodle es que además permite agregar información didáctica e información de qué experimentos se pueden desarrollar sobre cada plataforma y cómo hacerlos.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo ha sido escrito en el marco del proyecto ERASMUS+ PILAR (2016-1-ES01-KA203-025327) liderado por UNED en España financiado dentro de ERASMUS+ (561735-EPP-1-2015-1-PT-EPPKA2-CBHE-JP)..

REFERENCES

- [1] J. Rodríguez-Andina, L. Gomes, and S. Bogosyan. "Current Trends in Industrial Electronics Education", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 10, pp. 3245-3252, 2010.
- [2] Using Remote Labs in Education: Two Little Ducks in Remote Experimentation. Editors: Javier Garcia- Zubia (Universidad de Deusto) and Gustavo R. Alves (Polytechnic of Porto). Universidad de Deusto, Bilbao, 2011. 22 chapters. 465 pp. ISBN 978-84-9830-335-3.
- [3] O. Naef. Real Laboratory, virtual laboratory or remote laboratory: what is the most effective way?. *Intl. Journal of Online Engineering*, Vol 2, No.3. (2006).
- [4] Z. Nedic, J. Machotka, and A. Nafalski: Remote laboratories versus virtual and real laboratories, 34th ASEE/IEEE frontiers in education conference, session T3E-1, pp.1-6. November 2003.
- [5] A. Coble, A. Smallbone, A. Bhave, R. Watson, A. Braumann, and M. Kraft. Delivering authentic experiences for engineering students and professionals through e-labs. *IEEE EDUCON*. pp 1085 – 1090. (2010).
- [6] L. Gomes and S. Bogosyan. "Current Trends in Remote Laboratories", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 12, pp. 4744-4756, 2009
- [7] D. Zutin, M. Auer, "Work in progress-Integrating educational online lab platforms around the iLab Shared Architecture" in Frontiers in Education Conference (FIE), 2011 (IEEE, 2011).
- [8] P. Orduna, J. Irurzun, L. Rodríguez-Gil, J. García-Zubia, F. Gazzola, and D. Lopez-de Ipifia, "Adding new features to new and existing remote experiments through their integration in weblabdeusto," *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, vol. 7, no. S2, pp. pp-33, 2011.
- [9] P. Orduña, L. Rodríguez-Gil, D. López-de-Ipiña and J. García-Zubia, "Sharing the remote laboratories among different institutions: A practical case," 2012 9th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), Bilbao, 2012, pp. 1-4.
- [10] V. J. Harward, et al., "The ilab shared architecture: A web services infrastructure to build communities of internet accessible laboratories," *Proceedings of the IEEE*, vol. 96, no. 6, pp. 931- 950, 2008.
- [11] Felix Garcia-Loro, et al., "Work in Progress: Experimenting in PILAR Federation: a Common Path for the Future", *EDUCON 2018*, 17-20 April, 2018, Santa Cruz de Tenerife, Canary Islands, Spain.
- [12] N. Lima et al., "The VISIR+ project-helping contextualize math in an engineering course," 2017 4th Experiment@International Conference (exp.at'17), Faro, 2017, pp. 7-12.