

## DISEÑO DE CIRCUITOS INTEGRADOS DE USO DEDICADO (ASIC) MEDIANTE TARJETAS DE DESARROLLO (FPGA): PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

### DESIGN OF DEDICATED-USE INTEGRATED CIRCUITS (ASIC) USING DEVELOPMENT BOARDS (FPGA): RESEARCH PROPOSAL

Jeovany Rafael Rodríguez Mejía<sup>1</sup>, Manuel Alejandro Barajas-Bustillos<sup>2</sup>, German Quiroz Merino<sup>3</sup>, Arturo Woocay Prieto<sup>4</sup>, Mario Macario Ruiz Grijalva<sup>5</sup>

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v7i2.342>

<sup>1</sup>Doctor en Ciencias de la Ingeniería Tecnológico Nacional de México, campus Cd. Juárez. Departamento Ing. Metal-Mecánica. [jeovany.rm@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:jeovany.rm@cdjuarez.tecnm.mx), (656)688-2500, Av. Tecnológico 1340, Fuentes del Valle, 32500 Juárez, Chih. <https://orcid.org/0000-0003-4154-0778>

<sup>2</sup>Doctor en Ciencias de la Ingeniería avanzada. Tecnológico Nacional de México, campus Cd. Juárez. Departamento Ing. Industrial y Logística. [alejandro.bb01@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:alejandro.bb01@cdjuarez.tecnm.mx), (656)688-2500, Av. Tecnológico 1340, Fuentes del Valle, 32500 Juárez, Chih. <https://orcid.org/0000-0003-1155-1847>

<sup>3</sup>Doctor en Ciencias de la Computación. Tecnológico Nacional de México, campus Cd. Juárez. Ing. Metal-Mecánica. [german.qm01@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:german.qm01@cdjuarez.tecnm.mx), (656)688-2500, Av. Tecnológico 1340, Fuentes del Valle, 32500 Juárez, Chih. <https://orcid.org/0000-0002-5303-8243>

<sup>4</sup>Doctor en Ciencias e Ingeniería Medioambientales. Tecnológico Nacional de México, campus Cd. Juárez. División de Estudios de Posgrado e Investigación. [arturo.wp@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:arturo.wp@cdjuarez.tecnm.mx), (656)688-2500, Av. Tecnológico 1340, Fuentes del Valle, 32500 Juárez, Chih. <https://orcid.org/0000-0001-9235-0494>

<sup>5</sup>Maestro en Cómputo Aplicado. Tecnológico Nacional de México, campus Cd. Juárez. Departamento de Sistemas y Computación. [mario.rg@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:mario.rg@cdjuarez.tecnm.mx), (656)688-2500, Av. Tecnológico 1340, Fuentes del Valle, 32500 Juárez, Chih. <https://orcid.org/0000-0002-8912-2535>

**Resumen:** El proceso educativo ha experimentado una transformación significativa con la digitalización y el avance de las tecnologías de información y comunicación, impulsado principalmente por el internet. Este cambio ha motivado al sistema educativo a crear herramientas didácticas alternativas que aprovechen estas tecnologías para enriquecer la enseñanza. Las tecnologías inmersivas y los laboratorios remotos, ya sea combinados o por separado, han demostrado ser efectivos para aumentar el interés y la motivación de los estudiantes en la adquisición de conocimientos avanzados. Se sugiere desarrollar una infraestructura de laboratorio remoto con tecnologías inmersivas para que los estudiantes aprendan sobre diseño de sistemas digitales y circuitos integrados específicos. Además, se busca evaluar cómo esta infraestructura afecta el desarrollo de habilidades y la motivación de los estudiantes, quienes se beneficiarán de la experiencia inmersiva del laboratorio. La infraestructura propuesta incluirá experimentos remotos que cubren áreas como procesamiento digital de señales y diseño de sistemas y circuitos integrados, utilizando un FPGA, periféricos, cámaras, realidad virtual y un servidor para la interconexión. Los estudiantes podrán interactuar con estos elementos de manera inmersiva en un entorno educativo. Se evaluará la eficacia del aprendizaje y la generación de conocimiento mediante la capacidad de inmersión, interacción y motivación proporcionada por el laboratorio remoto. El modelo de aceptación de tecnología medirá la intención de uso, mientras que el modelo de atención, relevancia, confianza y satisfacción

evaluará la motivación de los estudiantes en un entorno de aprendizaje remoto. Las pruebas con equipos de realidad aumentada y simulaciones inmersivas servirán para examinar las condiciones de inmersión. Estos modelos ayudarán a validar la infraestructura como una herramienta educativa efectiva.

**Palabras Clave:** FPGA, ASIC, Laboratorio Remoto, Semiconductores.

**Abstract:** The educational process has undergone a significant transformation with digitalization and the advancement of information and communication technologies, primarily driven by the Internet. This shift has prompted the educational system to create alternative didactic tools that leverage these technologies to enrich teaching. Immersive technologies and remote laboratories, whether combined or separate, have proven effective in increasing students' interest and motivation in acquiring advanced knowledge. It is suggested to develop a remote laboratory infrastructure with immersive technologies so that students can learn about the design of digital systems and specific integrated circuits. In addition, it seeks to evaluate how this infrastructure affects the development of skills and the motivation of students, who will benefit from the immersive experience of the laboratory. The proposed infrastructure will include remote experiments covering areas such as digital signal processing and the design of systems and integrated circuits, using an FPGA,

peripherals, cameras, virtual reality, and a server for interconnection. Students will be able to interact with these elements immersively in an educational environment. The effectiveness of learning and knowledge generation will be evaluated through the immersion, interaction, and motivation capacity provided by the remote laboratory. The technology acceptance model will measure the intention of use, while the attention, relevance, confidence, and satisfaction model will assess the motivation of students in a remote learning environment. Tests with augmented reality equipment and immersive simulations will serve to examine the conditions of immersion. These models will help validate the infrastructure as an effective educational tool.

**Keywords** – FPGA, ASIC, Remote-Lab, Semiconductors.

## INTRODUCCIÓN

El actual avance tecnológico tiene como fin el llegar a la mayor parte de la población estudiantil y aunque el proceso de enseñanza-aprendizaje tradicional ha cruzado fronteras aun es necesario llegar más lejos. Pero aun, los métodos y técnicas de enseñanza no se han apuntalado con la rapidez deseada. Por tal razón, los sistemas educativos han integrado una diversa variedad de herramientas, mecanismos y técnicas didácticas para lograr evolucionar este proceso. [1], [2], y [3]. Actualmente, las tecnologías inmersivas introducen al usuario en diversos ambientes a través de información sensorial que puede ser gráfica, de movimiento o sonido. Por lo general, estas tecnologías se concentran en la interacción, en la percepción, en la robótica y en la inteligencia artificial, [4], [5] y [6]. Sin embargo, se ha identificado que el uso de las tecnologías inmersivas y de transmisión remota motiva a los estudiantes en su proceso de enseñanza-aprendizaje y en el proceso de generación de conocimiento [7], [8] [9] y [10]. En la última década se han fortalecido los métodos de enseñanza usando recursos digitales como herramientas didácticas que permean directamente en la creatividad y la innovación del estudiante. Es decir, los diversos recursos digitales permiten al estudiante desarrollar sus habilidades kinestésicas referentes a la teoría de su campo de estudio; algunos de estos recursos digitales son las plataformas de cursos en línea Moodle, software de modelado y simulación en línea como OnShape, Octave, Alliance, por citar algunos [11], [12] y [13]. Pero, en la mayoría de las veces el proceso de enseñanza requiere de experimentación. Sin embargo, los laboratorios no siempre son suficientes y en ocasiones no se logra el acceso por la falta de infraestructura escolar, e incluso contingencias causadas por situaciones extraescolares [14], [15] y [16]. Hoy en día, los modelos y herramientas didácticas a la par de los recursos tecnológicos permiten avalorar el desempeño del estudiante y docente en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Además, esto facilita los procesos de evaluación, enriquece los contenidos,

motiva a la generación y absorción del conocimiento de los estudiantes y sobre todo promueve el compromiso de ambos.

Es por esta razón que muchos estudios se han direccionado hacia la generación de modelos de simulación, interfaces de generación de código y herramientas tecnológicas como las aulas invertidas, salones inteligentes, e-Learning, experimentación remota, educación STEM y ambientes de aprendizaje virtual [17], [18], [19], [20] y [21]. Por consiguiente, la comunidad docente ha identificado que se deben diseñar e implementar diversas alternativas para apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje ya sea presencial, a distancia o en forma remota. El desarrollo de infraestructura de laboratorios remotos y ambientes inmersivos para el aprendizaje efectivo de estudiantes de grado y posgrado permite que estos desarrollen habilidades de experimentación y se apliquen a soluciones de problemas [22], [23]. [24], [25], [26] y [27]. Un de las vertientes para el aprendizaje en ambientes remotos es el diseño de sistemas digitales, circuitos integrados de uso dedicado, diseño de circuitos VLSI usando VHDL y mediante la práctica en hardware dedicado como los son el FPGA o tarjetas de desarrollo con interacción IoT [28], [29], [30] y [31].

Los avances en el campo del conocimiento y la aplicación de las tecnologías de la información y comunicación han logrado transformar métodos y técnicas en aplicaciones para el desarrollo del aprendizaje a distancia usando como medio principal el internet. Es común hoy en día conocer conceptos como la administración de sistemas de aprendizaje y como esto ha logrado potenciar el aprendizaje a distancia en diversas disciplinas, con un gran énfasis en la ingeniería, a través de actividades prácticas y experimentales. Es por esta razón que en las últimas décadas en diversos países se ha buscado a través de diversas plataformas el desarrollo de laboratorio remotos, con el propósito de incentivar y mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje en la comunidad estudiantil de ingeniería. Pero sin duda el reto es grande ya que se busca lograr la inclusión de estos laboratorios remotos a través de diversas estrategias que agreguen valor a la enseñanza y se obtenga un proceso inmersivo en el aprendizaje a través de experimentación y experiencias complementarias [32], [33] y [34]. Un laboratorio remoto puede considerarse como un sistema o infraestructura diseñada para contener en su forma equipos, materiales e instrumentación que en su conjunto forman un dispositivo o instrumento de laboratorio que puede ser controlado por un operador remoto, desde otro espacio, o a través de internet. Es necesario comprender que existe una vasta diferencia entre laboratorio remoto y laboratorio virtual; ya que el primero de ellos es una infraestructura física real que se controla en tiempo y espacio diferente, con interacción en tiempo real con el usuario, a diferencia del segundo que es solo simulación. Entonces un laboratorio remoto requiere de un espacio

físico, y equipo que requiere ser instrumentado y configurado para ser utilizado en forma remota por cualquier usuario. Esto puede ser en cualquier parte a través del internet y solo dependerá de la disponibilidad de uso para realizar el experimento en tiempo real [35], [36], [37], [38] y [39]. Por lo general, los laboratorios remotos se concibieron al dejar de ser infraestructura de proyectos de investigación y definirse como un espacio físico para la experimentación. Esto debido a las necesidades de la ciencia para experimentar e investigar; principalmente donde la experimentación tiene costos de mantenimiento muy elevados por el equipo, disponibilidad y habilidades del uso del equipo. Por lo tanto, los laboratorios remotos buscan compensar esa necesidad de seguir experimentando para poder aplicar y generar los conocimientos. En las últimas décadas se han formado grupos de investigación, con el objetivo de transformar infraestructura de proyectos de investigación a infraestructura de laboratorios remotos para dar el alcance necesario a toda la comunidad estudiantil [40] y [41].

Existen grupos de investigación formados con el objetivo de desarrollar las capacidades en cuanto a infraestructura, metodologías de enseñanza y actividades prácticas para el funcionamiento efectivo de los laboratorios remotos, como lo es el caso de Grupo Galilei de la Universidad Nacional del Litoral en Argentina, UNR de la Universidad Deusto en España, iLabs del Instituto Tecnológico de Massachusetts, por mencionar algunos. Aquí se cuentan con infraestructura diseñada particularmente para laboratorio remotos temáticos en las áreas de ingeniería eléctrica, electrónica, computo, mecánica, química y física. Es decir, aplicaciones a los sistemas de medición e instrumentación, control de robots, uso y aplicaciones de los FPGA para visión y control, transferencia de calor y reacciones químicas; mismos que buscan persuadir el pensamiento creativo e investigativo de los alumnos [42], [43] y [44]. El aprendizaje de sistemas digitales puede lograrse a través del aprendizaje autónomo mediante la práctica en hardware y tecnología basada en web para visualizar y analizar el comportamiento del proceso de diseño. Mediante un Remote FPGA-Lab basado en Web se provee una nueva interfaz para el control en tiempo real del laboratorio, además de una visualización de la implementación en hardware de forma remota. Por lo tanto, esta arquitectura e interfaz de comunicación apoya a los estudiantes para entender y razonar respecto a la operación de sistemas digitales, animación interactiva del comportamiento de las señales y el diseño de sistemas digitales a cualquier nivel jerárquico. Los laboratorios remotos basados en FPGA pueden usarse como instrumento de soporte en las actividades prácticas de las disciplinas de electrónica digital y diseño de semiconductores [45], [46], [47] y [48]. Muchas de las metodologías de diseño de circuitos integrados pueden ampliarse al vincularse laboratorios de bajo costo

mediante FPGA's, y así generar el interés de la fabricación de IC del tipo CMOS [49], [50], [51], [52], [53] y [54]. El uso de servidores locales, la integración de dispositivos IoT en sistemas complejos como lo son los FPGA permite ampliar su aplicación hacia laboratorios remotos, y permitir extender el aprendizaje de sistemas digitales mediante aplicaciones IoT y el multi acceso de usuarios [55], [56], [57] y [58].

La comunidad científica, gobierno y todo el sector educativo buscan el desarrollo de nuevas técnicas, mecanismos y métodos que permitan innovar en el que hacer del proceso de enseñanza-aprendizaje. Particularmente, los profesores e investigadores buscan que las clases sean más interactivas, multisensoriales y que, a partir de las herramientas tecnológicas, los alumnos se sientan inmersos durante el aprendizaje, la absorción y generación de conocimiento [59], [60], [61], [62], [63] y [64]. A lo largo de estos años, el sector educativo ha identificado que las metodologías de enseñanza y aprendizaje deben evolucionar y en ocasiones replantearse. Hoy en día las herramientas tecnológicas permiten a los alumnos aprender haciendo; de ahí que las metodologías como el aprendizaje basado en proyectos y el aprendizaje basado en problemas han tenido un gran auge. Sin embargo, es necesario involucrar de manera efectiva a los alumnos y hacerlos generadores de conocimiento, no receptores del mismo. Por lo tanto, la comunidad docente deberá establecer estrategias y métodos para combinar en forma efectiva la enseñanza tradicional con las nuevas tecnologías educativas, como lo es el caso de la educación STEM [65], [66], [67], [68], [69] y [70]. Además, el proceso de aprendizaje actual se ha convertido en un método visual e interactivo; pues a través de videos, tutoriales y MOOC's los alumnos comprenden con mayor amplitud los temas de su campo en desarrollo. Por esta razón, la enseñanza tradicional debe evolucionar para usar y aplicar las tecnologías de la información y comunicación, así como de las nuevas herramientas tecnológicas para enriquecer el proceso de enseñanza-aprendizaje tradicional [71], [72], [73] y [74]. Por lo general, las universidades y centros educativos cuentan con una gran cantidad de laboratorios para la enseñanza y desarrollo de habilidades de los alumnos en cuanto a la experimentación se refiere.

Sin embargo, estos nunca serán suficientes, debido a que conforme pasa el tiempo el equipo se hace obsoleto. Además, tener a la vanguardia un laboratorio requiere de gran inversión. Por lo tanto, es necesario innovar en el proceso de experimentación para fortalecer la enseñanza tradicional. Esto con el objetivo de hacer más eficiente el uso de las herramientas tecnológicas, expandir el campo de la experimentación a todos los estudiantes aprovechando la infraestructura y el uso del internet [75] y [76].

#### **Objetivo General**

Integrar tecnología inmersiva en ambientes de laboratorios remotos para potenciar el proceso de

enseñanza-aprendizaje de sistemas digitales, diseño VLSI de circuitos integrados de aplicación dedicada y control en FPGA con retroalimentación en tiempo real.

Objetivos específicos

1. Integrar a la infraestructura de un laboratorio remoto tecnología inmersiva y de retroalimentación en tiempo real, para el aprendizaje efectivo en diseño VLSI de circuitos integrados.
2. Evaluar la operación y capacidad de interconexión del laboratorio remoto con tecnología inmersiva en el diseño de sistemas digitales y diseño VLSI de circuitos integrados en plataformas de acceso abierto.
3. Diseñar e implementar una metodología para el uso eficiente de la infraestructura de laboratorio remoto en conjunto con los métodos de evaluación del aprendizaje.
4. Publicar los resultados de la investigación en revistas científicas y en libros académicos.
5. Contribuir a la formación de recursos humanos mediante la participación de alumnos de licenciatura y posgrado.
6. Contribuir a la divulgación de proyecto participación mediante participación en conferencias, seminarios y el Laboratorio Nacional CONAHCYT de Microtecnología y Semiconductores; así como al fortalecimiento de las redes y cuerpos académicos entre la sociedad y los investigadores del TecNM.

## DESARROLLO

El avance tecnológico y el internet han generado diversas estrategias de enseñanza-aprendizaje considerando que una de ellas es la educación en línea. Sin duda, el reto principalmente en ingeniería es el cómo trasladar el aprendizaje práctico de los laboratorios tradicionales al internet. En la actualidad se tienen dos propuestas para atender el déficit, los laboratorios virtuales y los laboratorios remotos. Un laboratorio virtual se basa principalmente en software, ya que este permite simular los fenómenos físicos vividos en un laboratorio real. Por lo contrario, un laboratorio remoto es un proceso experimental el cual se realiza y controla en forma remota a través de internet. Sin embargo, los procesos experimentales que se llevan a cabo utilizan componentes e instrumentación real en un espacio definido, conocido como infraestructura. Por lo tanto, la academia y sociedad científica se encuentran desarrollando diversas propuestas basadas en métodos alternos de laboratorio generando así tecnología emergente y métodos de desarrollo de este tipo de laboratorios. Los laboratorios remotos se han convertido en la apuesta tecnológica por diversas universidades del mundo; principalmente por su madurez tecnológica y el alcance logrado a través del internet. En forma particular, los laboratorios remotos se están utilizando como un mecanismo integral para la enseñanza en ingeniería tanto en educación tradicional como educación a distancia. Específicamente, los laboratorios remotos intentan diversificar el uso del laboratorio para potenciar el desarrollo teórico-práctico en los estudiantes.

Pero, además se intenta demostrar que una infraestructura de esa envergadura puede ser configurada de forma simple y a un bajo costo. Por lo tanto, un laboratorio remoto puede ser fácilmente introducido al plan de estudios de ingeniería ya que adiciona diversos beneficios pedagógicos a los estudiantes como son creatividad, pensamiento crítico y lógico para la solución de problemas. Entonces un sistema experimental o laboratorio remoto se desarrolla para que los estudiantes puedan realizar sus experimentos de ingeniería y tecnología. Particularmente estos laboratorios usan tecnologías de comunicación y control, que permitan dar un amplio acceso a estudiantes que no pueden atender un laboratorio convencional. Un ejemplo es el proyecto UniMAP e-Lab. Este laboratorio fue desarrollado para el aprendizaje experimental en el campo de la ingeniería y tecnología. Sin embargo, la capacidad y efectividad de los resultados experimentales obtenidos el e-Lab es utilizado ampliamente en diversos campos de investigación. Este proyecto de e-Lab integra arquitecturas que soportan ambientes de aprendizaje en línea basadas en software como LabView, PHP, JAVA, Python, AJAX. Además, el proyecto UniMAP e-Lab permite a los estudiantes tener experimentos en un ambiente del mundo real a través de un sistema de aprendizaje a distancia y basado en cómputo aplicado de alta calidad. Otro ejemplo es el Smartphone and Cross-Platform Communication Toolkit el cual es una herramienta y programa que soporta un amplio rango de plataformas y lenguajes de programación que administran las comunicaciones que se intercambian como lo son los datos entre smartphones y apps Java en los laboratorios remotos. Pero dentro de los más relevantes está el proyecto de la universidad de Deusto el cual es un sistema de administración de laboratorios remotos denominado Weblab-Deusto.

Este sistema tiene una arquitectura considerada como cliente-servidor, en donde los estudiantes interactúan con el servidor de acceso y el servidor principal durante toda la operación. Estos servidores pueden trabajar en plataformas basadas en Python, LabView Java y C, y los servicios web con los que se pueden contar son SOAP, JSON, HTTP XML. El servidor principal almacena, transmite y recibe información entre el laboratorio y estudiante. Por lo general, se cuenta en este sistema con dos servidores uno colocado en el laboratorio físico, y el otro que recibe y hace la redirección de la información con el cliente. Las tecnologías inmersivas son consideradas como la aplicación de la realidad virtual y la realidad aumentada a fines industriales y educativos. Sin duda, toda aquella persona que entre en contacto con estas tecnologías tiene la percepción de estar inmersa en este tipo de realidad para lograr un objetivo determinado. Y es que, las tecnologías inmersivas pueden aplicarse a una gran cantidad de ámbitos. Sin embargo, estas dos herramientas permiten entre otras cosas informar, educar, diseñar o estructurar campañas de publicidad. En un contexto general, la realidad aumentada permite aportar

un contenido extra dentro de la realidad, consiguiendo ampliar la información que recibimos de la misma. Sin duda, la realidad aumentada permite una experiencia de inmersión que puede ser atractivo para el usuario. Pero, la realidad inmersiva puede recrear espacios reales con los que el usuario puede interactuar. Sin embargo, la realidad virtual es considerada una de las tecnologías inmersivas más extendidas gracias a los videojuegos. Esta tecnología permite recrear un mundo virtual y trasladar al usuario a experiencias que no se pueden experimentar en la vida real. Finalmente, la tecnología holográfica supone una nueva forma de interactuar con objetos y personas a través de un haz de luz en tres dimensiones. Los ambientes virtuales son considerados espacios separados del mundo físico o real del cual su percepción se basa principalmente en estímulos generados por computadora. Por lo general, muchos de los estímulos en los ambientes virtuales son visuales o auditivos y proveen un sentido de presencia, espacio y conciencia del tiempo al usuario lo cual genera un sentido de inmersión en el ambiente virtual. Entonces, las tecnologías que mezclan la información de un extremo a otro son consideradas como realidad mixta, es decir son aquellas en las que se mezcla el ambiente real y el virtual. Por lo tanto, las tecnologías de realidad aumentada son aquellas que mezclan objetos virtuales en un ambiente real y en el contraste esta la virtualidad aumentada. La inmersión es una propiedad fundamental de los ambientes virtuales. Esta denota un sentido de presencia en cuanto a calidad del contenido además de la multimodalidad de la experiencia que produce. Sin embargo, el desarrollo de software es parte fundamental en los ambientes virtuales, en donde algunos de los componentes principales son el gráfico de escena, el motor de representación gráfica, el motor de audio, el motor de simulación de física y el sistema de interfaz de usuario. Entonces la realidad aumentada puede considerarse como un ambiente virtual donde el usuario puede ver el mundo real con objetos o información virtual superpuestos. Por lo general, el usuario debe tener la percepción de que la información virtual coexiste en el mismo espacio que los objetos de la realidad. Por lo tanto, las tres características más importantes de la realidad aumentada son la combinación de lo real con lo virtual, la interacción en tiempo real y la que se encuentra registrada en 3D. En la actualidad se conocen al menos dos formas de presentar la mezcla de la realidad con el ambiente virtual, ya sea a través de óptica o video. La óptica se realiza por medio de pantallas montadas sobre la cabeza, donde se ve el mundo a través de ellos, la información virtual suele reflejarse. Si es por video, el usuario observa un video con la información virtual, pero se requieren al menos dos cámaras estáticas que capturen la escena real. Para el caso de alineación de la información visual en realidad aumentada que comprenden en dos etapas principales, el rastreo y el reconocimiento. El primero se implementa a través de algoritmos de detección de características y el reconocimiento por lo

general reconstruye el sistema coordinado del mundo real basándose en las características encontradas. Así se identifica la ubicación de la información virtual para que se superponga en el mundo real y se permita el despliegue de ambos simultáneamente. Por lo tanto, algunas de las propiedades que determinan la calidad de los sistemas de rastreo son: resolución, precisión, temblor, latencia, desfase y tasa de actualización. FPGA es una serie de dispositivos basados en semiconductores configurado en forma de matrices de bloques lógicos configurables. En donde además se conectan a través interconexiones programables. Su principal ventaja es que pueden reprogramarse para un trabajo específico o cambiar sus requisitos después de haberse fabricado. El creador de esta tecnología fue Xilinx, el cual la ha evolucionado de tal forma que este dispositivo se integra a innumerables aplicaciones en sectores como el aeroespacial, automotriz, electrónica y computación de alto rendimiento. Los FPGA son utilizados para pruebas de funcionalidad a nivel de hardware, es decir antes de su implementación en un procesador. La funcionalidad del dispositivo es escrita en un lenguaje de descripción del hardware conocido como Verilog o VHDL. Además, el uso de la simulación sirve para poder ejecutar los programas como sería en el hardware final, y así asegurarse de que cada uno de los elementos están interconectado adecuadamente. Por lo tanto, con la simulación se pueden ver errores en la implementación para luego corregirlo. Hoy en día las tareas de procesamiento de imágenes en tiempo real requieren alto poder de cómputo y una gran capacidad de manejo de datos. Sin duda, el problema de saturación de las aplicaciones de flujo de procesamiento de imágenes sigue siendo la memoria y su capacidad de procesamiento. Sin embargo, diversas alternativas se han planteado para optimizar y mejorar las capacidades del procesamiento digital de imágenes. Una de esas alternativas prometedoras es la tecnología FPGA. La tecnología FPGA promete flexibilidad y el rendimiento informático necesario a costos de diseño mucho más accesibles. Por esa misma razón, se han desarrollado sistemas de procesamiento de imágenes para aplicaciones de visión robótica, sistemas de procesamiento de señales y control basados en la tecnología FPGA.

Existen algunas integraciones de FPGA en forma de plataformas educativas para estudios lineales y morfológicos de imágenes en tiempo real. En este tipo de plataformas se busca demostrar el filtrado de imágenes usando FPGA Xilinx, Spartan. Por lo general, estos sistemas se conectan a computadoras personales para forman estaciones de diseño potentes y de bajo costo con fines educativos. Algunos sistemas son basados en FPGA, y a través de una interfaz gráfica de usuario se administra la comunicación, configuración y transferencia de datos. En Lu Jiaming, se describe el diseño de una señal digital lógica de procesamiento para un sistema de tomografía por emisión de positrones

(PET) del cerebro de animales pequeños. El sistema está basado en arreglos de cristal LYSO, SiPM y un método de lectura de red resistiva. Entonces a través del FPGA se implementó el procesamiento de una señal de 32 canales. En donde la lógica se diseñó para admitir cuatro modos en línea, es decir modo de procesamiento de datos, modo de construcción del mapa de inundación, energía modo de construcción de espectro y modo de datos sin procesar. Los FPGA se han utilizado a lo largo de los años en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo el campo del procesamiento de señales digitales. El FPGA como un entrenador de procesamiento digital de señales servirá como una herramienta educativa para la enseñanza eficaz y efectiva de los principios fundamentales de la tecnología digital. Este dispositivo tipo entrenador es capaz de realizar transformada discreta de Fourier de diversos puntos, convolución, correlación y respuesta de impulso finito de filtros. Además, este equipo tiene la capacidad de generar internamente diferentes señales de entrada como una onda cuadrada, una onda triangular y una onda sinusoidal, y de aceptar señales externas de micrófono y audio, para transformar la señal en formato digital o analógico. Finalmente, una gran cantidad de aplicaciones que se relacionan con el tratamiento de imágenes y videos requieren procesos sumamente complejos que demandan la necesidad de aceleradores de hardware para lograr un alto rendimiento en tiempo real. Algunas de las aplicaciones más notables son las referentes al uso del Machine Learning, Redes Neuronales Convolucionales y una infinidad de aplicaciones más referentes al procesamiento de señales digitales. Por lo tanto, el diseño de sistemas basados en FPGA para el uso de Redes Neuronales Convolucionales de capacidad limitada con espacio suficiente para mejorar el rendimiento, el consumo de energía y la utilización de recursos son los que se encuentran a la vanguardia en la intención de la comunidad científica.

### Metodología

Entonces para el desarrollo del proyecto se propone una metodología híbrida que permita integrar las particularidades de las metodologías tradicionales principalmente la incremental y de diseño, pero a la vez tenga la suficiente flexibilidad como la Scrum. Por lo tanto, se designan cinco módulos macro que representen la secuencia de la metodología incremental principalmente para lograr los objetivos planteados, pero dentro de cada macro modulo se aplicará la metodología Scrum para tener la suficiente flexibilidad y obtener resultados en cada iteración planificada.

En el primer macro módulo se realizará al análisis del estado del arte de los laboratorios remotos y las tecnologías inmersivas. Además, las especificaciones para el diseño y construcción de la infraestructura se definirán respecto a las topologías existentes y configuraciones posibles dentro de los medios educativos e industriales para la enseñanza y entrenamiento.

En el segundo módulo se implementará el diseño de la infraestructura del laboratorio remoto con tecnologías inmersivas. Adicionalmente, se determinarán los indicadores que permitan validar la operación y capacidad de interconexión del laboratorio remoto, y determinar la eficacia de las plataformas de acceso abierto.

En el tercer módulo se establecerá la metodología para el uso del laboratorio remoto con tecnologías inmersivas. Además, se definirán los métodos de evaluación del aprendizaje a partir de la infraestructura desarrollada.

En el cuarto módulo se evaluará el impacto del uso del laboratorio remoto con tecnologías inmersivas en alumnos de grado y posgrado.

En el quinto módulo se publicarán los resultados más relevantes del proyecto. Además, se presentarán los resultados del proyecto de laboratorio remoto con tecnologías inmersivas en congresos y a la par se buscará participar en conferencias temáticas de las unidades académicas de ingeniería y posgrado.

Sin embargo, es necesario hacer notar que la documentación del proyecto y el desarrollo de las publicaciones se trabajan en paralelo. Por esta razón, la metodología híbrida es necesaria de aplicarse; porque permite durante el desarrollo del proyecto obtener resultados significativos y así ampliar la cantidad de trabajos publicados de impacto.

### DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se describen los resultados obtenidos en este proyecto.

En la Fig. 1 y en la Fig. 2, se muestra el diseño a detalle de la arquitectura implementada y la infraestructura física que integra tecnologías inmersivas en ambientes de laboratorios remotos, con aplicación a sistemas digitales, diseño VLSI de circuitos integrados de aplicación dedicada y control en FPGA.

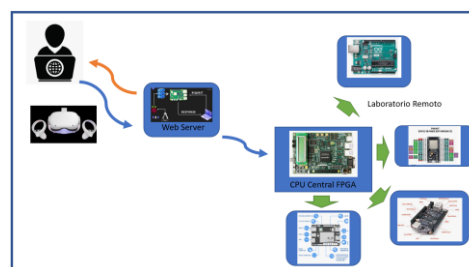


Figura 1. Arquitectura Remote-Lab.

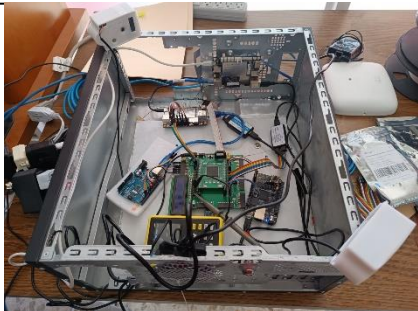


Figura 2. Arquitectura Física del Remote-Lab.

El reporte del análisis de capacidad de interconexión, operación real y ciclo de vida del laboratorio remoto con tecnología inmersiva considerando su uso en plataformas de acceso abierto para el diseño VLSI de circuitos integrados se observa en la Fig. 3.



Figura 3. Interconexión y operación real del Remote-Lab

Los indicadores de evaluación del aprendizaje de sistemas digitales, diseño VLSI de circuitos integrados y control a través del uso del laboratorio remoto con tecnologías inmersivas, se basa en el modelo TAM como se observa en al Fig. 4.

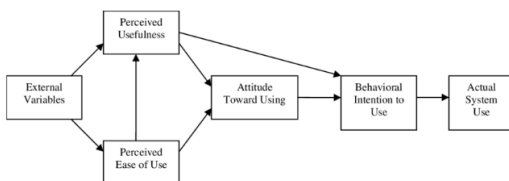


Figura 4. Indicadores de evaluación del Remote-Lab.

El análisis del Impacto y Utilidad del uso del laboratorio remoto con tecnología inmersiva en el aprendizaje de sistemas digitales en proyectos de fin de carrera, tesis de posgrado y vinculación con el Laboratorio Nacional Conahcyt de Microtecnología y Semiconductores será medido en base al modelo TAM y con los índices estadísticos de comparación como se observa en Tabla 1.

Tabla 1. Índices estadísticos de comparación.

| Índice            | Parámetro  |
|-------------------|------------|
| Alpha de Cronbach | $\geq 0.7$ |

|            |             |
|------------|-------------|
| AVE        | $\geq 0.7$  |
| RMSEA      | $\leq 0.1$  |
| R cuadrada | $\geq 0.95$ |
| GFI        | $\geq 0.9$  |

Los resultados obtenidos de esta investigación pretenden ofrecer diversos beneficios a los empresarios y directivos de empresas de manufactura y servicios, así como a profesionistas dedicados a la consultoría de empresas y a profesores investigadores de instituciones de educación superior. Los beneficios considerados son:

- Acceso a recursos tecnológicos modernos.
- Reducción en el tiempo de desarrollo.
- Reducción de costos de adquisición y mantenimiento de equipo.

Por tal razón, es necesario incrementar las capacidades instaladas en las universidades publicas de sistemas de desarrollo tipo laboratorio para la enseñanza de control y automatización a través de servidores remotos como lo menciona Dormido, 2008. [4]

Uno de los métodos para amentar la capacidad y alcance de la educación superior con estándares altos y con capacidades de vanguardia son las plataformas de e-learning como se menciona en Lerro, 2012, este tipo de sistemas aumentaría las condiciones y capacidades de centros de desarrollo y de ingeniería para la enseñanza de aspectos técnicos de laboratorio a través de la realidad virtual. [11]

Sin embargo, no todas las universidades han incursionado en el desarrollo de plataformas o integración de plataformas como WebLabDeusto, como se menciona en Orduña, 2011, en donde se adicionaron capacidades y experimentos a esta plataforma conocida como mecanismo de solvencia para laboratorios remotos. [32]

## CONCLUSIONES

Este proyecto ha permitido establecer características de diseño de la infraestructura de laboratorios remotos con el vinculo de plataformas diversas para la integración multiplataforma en el proceso de diseño de circuitos integrados de uso dedicado.

El propósito del proyecto es identificar a través de diversos modelos de adaptación y aceptación del uso de la tecnología la utilidad que esta tiene para trabajar en forma remota y a distancia en el diseño de sistemas multitarea. En etapas posteriores se observarán los resultados de la evaluación de los modelos de aceptación y adaptación del uso de la tecnología particularmente el TAM que nos permite identificar la utilidad de uso de cierta tecnología y así poder reconfigurar la misma para alcanzar la meta deseada.

Este proyecto es congruente con las líneas de investigación del programa de ingeniería mecánica, electrónica y semiconductores. Además, apoyaría a la formación y producción académica de Cuerpos Académicos del Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, así como permitirá la participación de alumnos de distintos programas educativos.

Adicionalmente contribuye en la formación y capacitación de recursos humanos que contribuirán en el Laboratorio Nacional CONAHCYT de Microtecnología y Semiconductores del cual el Instituto forma parte.

Este proyecto requiere de la participación de alumnos de los diversos programas de estudio del Instituto tanto de licenciatura como de posgrado, quienes estarán realizando sus residencias profesionales o investigación de Tesis. Por medio de su colaboración realizarán la aplicación de la metodología para el uso eficiente de la infraestructura de laboratorio remoto en conjunto con los métodos de evaluación del aprendizaje. Se solicitará la colaboración de las áreas de vinculación en la vigencia de convenios o en los acuerdos de nuevos convenios de vinculación-colaboración con las cámaras industriales de la transformación en caso necesario.

Vinculación y colaboración en la formación de recursos humanos para el fortalecimiento del Laboratorio Nacional CONAHCYT de Micro tecnología y Semiconductores. Los resultados obtenidos, así como las estrategias y conclusiones se publicarán en artículos científicos y de divulgación.

El proyecto se llevará a cabo en el laboratorio de alta tecnología, en el nodo de creatividad innovación tecnológica y emprendimiento en el área de IA, en donde la aplicación de una prueba piloto en campo y las pruebas estadísticas determinadas para tal fin.

El análisis de la información recolectada se realizará en las instalaciones de la División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI) del Instituto Tecnológico de México campus Ciudad Juárez.

La DEPI y el nodo de creatividad innovación tecnológica y de emprendimiento; cuenta con oficinas, mobiliario y equipo, así como acceso a Internet. El análisis de la información recolectada se realizará en las instalaciones de la División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI) del Instituto Tecnológico de México campus Ciudad Juárez.

Como trabajo a futuro se tienen dos líneas de investigación a desarrollar; la primera en relación al diseño y métodos de manufactura de semiconductores dedicados a los sistemas de control automatiz. Donde la segunda línea se enfoca al desarrollo de laboratorios remotos para aplicaciones de control y telecomunicaciones. Ambas líneas se desarrollan para maestría y doctorado.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Biggs J. & Tang C. (2007), Teaching for quality learning at University: What the student does. McGrawHill.
- [2] Lamar D., Miaja P., Arias M., Rodriguez A., Rodriguez M., Vazquez A., Hernando M. & Sebastian J. (2012). Experiences in the application of project-based learning in a Switching-Mode Power Supplies Course, Education, IEEE Transactions, 55 (1), 69-77.
- [3] Lei C., So H., Lam E., Wong K., Kwok R. & Chan C. (2012). Teaching introductory electrical engineering: Project-based learning experience, Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE), 2012 IEEE International Conference. H1B-1,H1B-5.
- [4] Dormido R., Vargas H., Duro N., Sánchez J., Dormido Canto S., Farías G., Esquembre F., & Dormido, R. (2008). Development of a web-based control laboratory for automation technicians: The threetank system. IEEE Transactions on Education, 51(1), 35-44.
- [5] Yazidi A., Henao H., Capolino G., Betin F., & Filippetti, F. (2011). A web-based remote laboratory for monitoring and diagnosis of ac electrical machines. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 58(10), 4950-4959.
- [6] Arana-Arexolaleiba N., Markiegi-Gonzalez U., Oyarzun J. & Velez I. (2013). Adapting PBL instantiation to promote students' engagement, 4th International Research Symposium on Problem-Based Learning (IRSPBL) 2013.
- [7] Grau, A. & Bolea, Y. (2008). Remote laboratory for control engineering degree. Proceedings of the 17th World Congress of The International Federation of Automatic Control, Seoul, Korea.
- [8] Besada-Portas, E., Lopez-Orozco, J., de la Torre, L., & de la Cruz, J. (2013). Remote control laboratory using EJS applets and twincat programmable logic controllers. IEEE Transactions on Education, 56(2), 156-164.
- [9] Besada-Portas E., Lopez-Orozco J.A., Aranda J. & de la Cruz J.M. (2013). Virtual and remote practices for learning control topics with a 3DOF quadrotor. 10th IFAC Symposium Advances in Control Education of the International Federation of Automatic Control, Sheffield, UK.
- [10] Yuxin L. & Liu G. (2013). Design of remote 3D virtual laboratory for education on control system experimentation. 10th IFAC Symposium Advances in Control Education of The International Federation of Automatic Control Sheffield, UK
- [11]. Lerro F., Marchisio S., Martini S., Massacesi H., Perretta E., Gimenez A., Aimetti N., & Oshiro, J. (2012). Integration of an e-learning platform and a remote laboratory for the experimental training at distance in engineering education. Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV) 9th International Conference, 1 – 5. doi: 10.1109/REV.2012.6293119.
- [12] Marín R., Sanz P. J., Nebot P., & Wirz R. (2005). A multimodal interface to control a robot arm via the web:

A case study on remote programming. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 52(6) 1506-1520.

[13] Kaluz M., Orduña P., García-Zubia J., Fikar M. & Cirka L. (2013). Sharing control laboratories by remote laboratory management system WebLab-Deusto, 10th IFAC Symposium Advances in Control Education of The International Federation of Automatic Control, Sheffield, UK

[14] Orduña P., García-Zubia J., Irurzun J., San Cristobal E., Martín S., Castro M., López-de la piña D., Hernández U., Angulo I., & González, J. (2009). Designing experiment agnostic remote laboratories. *Remote Engineering and Virtual Instrumentation*

[15] Richter T., Tetour Y., & Boehringer, D. (2011). Library of labs a european project on the dissemination of remote experiments and virtual laboratories. *Multimedia (ISM) 2011 IEEE International Symposium*, 543 –548. doi:10.1109/ISM.2011.96.

[16] Mougharbel I., El Hajj A., Artail H. & Riman C. (2006). Remote lab experiments models: A comparative study, *Int. J. Engng Ed.* 22(4), 849-857.

[17] Del Alamo J. A., Chang V., Brooks L., McLean C., Hardison J., Mishuris G. & Hui L. (2003). MIT microelectronics WebLab. Lab on the Web Wiley-Interscience, 49-87.

[18] Kirkwood A. & Price L. (2005). Learners and learning in the twenty-first century: what do we know about student's attitudes towards and experiences of information and communication technologies that will help us design courses, *Studies in Higher Education*, 30(3), 257–274.

[19] McAuley, A., Stewart, B., Siemens, G. & Cormier, D. (2010). The MOOC Model for Digital Practice. SSHRC Application, Knowledge Synthesis for the Digital Economy.

[20] Mohammed A. R. (2014). Dominant Meaning Method for Intelligent Topic-Based Information Agent towards More Flexible MOOCs, *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, 6(4),

[21] Daradoumis T., Bassi R., Xhafa F. & Caballe S. (2013). A review on massive e-learning (MOOC) design, delivery and assessment, *Eighth International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC)*, Compiegne, France, 208- 213.

[22] Clarke T. (2013). The advance of the MOOCs (massive open online courses): The impending globalisation of business education, *Education + Training*, 55(4), pp.403-413.

[23] Reinoso O., Jiménez L.M., Fernández de Avila S., Paya L., Gil A., Ubeda D. (2009). Experiencia en la integración de un laboratorio remoto de control para prácticas docentes a través de internet. e-ABC elearning sin límites. III Jornadas Internacionales UPM sobre innovación educativa y convergencia 2009.

[24] Alamo J. D., Brooks L., McLean C., Hardison J., Mishuris G., Chang V. & Hui L. (2002). The MIT microelectronics WebLab: A web-enabled remote

laboratory for microelectronic device characterization, *Proc. of World Congress on Networked Learning in a Global Environment*, Berlin, Germany.

[25] San Cristobal E., García-Zubia J., Orduna P., Castro M., Emaldi M., & Lopez-de Ipina D. (2012). Modelling remote laboratories integrations in e-learning tools through remote laboratories federation protocols, *Proc. of the IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, Seattle, USA.

[26] Larrinaga F., Markiegi U., & Arenaza-Nuño I. (2014) MRLab: Laboratorios remotos sobre dispositivos reales para la experimentación, *Conference: XI Congreso TAAE Tecnologías, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica Bilbao (Spain)*

[27] Huang S., Wu K., Jeong H., Wang C. & Chen D., (2020). PyLog: An algorithm-centric python-based FPGA programming and synthesis flow. *IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTERS*.

[28] Skhiri R., Fresse V., Jamont J., Suffran B., & Malek J. (2019). From FPGA to support cloud to cloud of FPGA: State of the Art, *Hindawi International Journal of Reconfigurable Computing Volume 2019*, Article ID 8085461, 17.

[29] Aldahwan N. S. & Ramzan M. S. (2022). Descriptive Literature Review and Classification of Community Cloud Computing Research, *Hindawi Scientific Programming*, ID 8194140, 2-12.

[30] Lima N., Viegas C. & García-Peñalvo F. J. (2019). Different didactical approaches using a remote Lab: Identification of impact factors, *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (IEEE RITA)*, 14(3), 76-86. doi: 10.1109/RITA.2019.2942256.

[31] Vargas J., Cuero J. & Torres C. (2020). Laboratorios remotos e IOT una oportunidad para la formación en ciencias e ingeniería en tiempos del COVID19: Caso de Estudio en Ingeniería de Control, *Revista espacios* 41 (42), Especial COVID-19

[32] Orduña, P., Irurzun, J., Rodriguez-Gil, L., Garcia-Zubia, J., Gazzola, F., & López-de-Ipiña, D. (2011). Adding new features to new and existing remote experiments through their Integration in WebLabDeusto. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 7(S2), 33–39. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v7iS2.1774>

[33] Garcia-Zubia J., Orduña P., Angulo I., Hernandez U., Dziabenko O., Lopez-Ipiña D. & Rodriguez-Gil L. (2011). Application and User Perceptions of Using the WebLab-Deusto-PLD in Technical Education, 41st ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference.

[34] Akerlind, T. (2018). Agile IT Infrastructure Transformation A Case Study of a Nordic Incumbent Telco, *Business*.

[35] Thesinga T., Feldmanna C. & Burchardt M. (2021). Agile versus waterfall project management: decision model for selecting the appropriate approach to a project, *Procedia Computer Science* 181 (2021), 746–756.

- [36] Brezočnik L. (2016). Comparison of agile methods: Scrum, Kanban, and Scrumban, Conference: Proceedings of the 19th International Multiconference Information Society - IS 2016: Collaboration, software and services in information society, Ljubljana, Slovenia.
- [37] Guna Permana P. A. (2015). Scrum method implementation in a software development project management, (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 6(9).
- [38] Šimíčková J., Bugarová K. & Mošková E. (2021). Specifics of the agile approach and methods in project management and its use in transport, transportation, Research Procedia 55 (2021) 1436–1443.
- [39] Mena Mamani N., García-Peñalvo F. J., Conde M. Á. & Gonçalves J. (2021). A systematic mapping about simulators and remote laboratories using hardware in the loop and robotic: Developing STEM/STEAM skills in pre-university education, Proceedings of the 2021 International Symposium on Computers in Education (SIIE) IEEE, 2021. doi: 10.1109/SIIE53363.2021.9583622.
- [40] Tavassolia S., Brandta M., Qiana M., Areniusa P. & Kianianb B. (2020). Adoption and Diffusion of Disruptive Technologies: The Case of Additive Manufacturing in Medical Technology Industry in Australia, Procedia Manufacturing 43 (2020), 18–24.
- [41] Limpraptono F. Y., Nurcahyo E., Faisol A., Ajiza M., & Sunaryo D. K. (2020) Development Architecture of Remote Laboratory as Learning Solution in Industrial Revolution 4.0 Era, Journal of Industrial and Intelligent Information 8(2).
- [42] Rowe, R.J., Koban, L., Davidoff, A.J. et al. (2018). Efficacy of Online Laboratory Science Courses. J Form Des Learn 2(2018). <https://doi.org/10.1007/s41686-017-0014-0>, 56–67.
- [43] Abriata L. A. (2022). How Technologies Assisted Science Learning at Home During the COVID-19 Pandemic, DNA AND CELL BIOLOGY 41(1), Mary Ann Liebert, Inc., 19–24 DOI: 10.1089/dna.2021.0497
- [44] Herrero-Villareal D., Arguedas-Matarrita C. & Gutiérrez-Soto E. (2020) Remote laboratories: Educational resources for remote experimentation in times of pandemic from the students' point of view, Revista de enseñanza de la física, 32 (2020), 181-189 ISSN 2451-6007
- [45] Lavayssière C., Larroque B. & Luthon F. (2022). Laborem Box: A scalable and open source platform to design remote lab experiments in electronics, HardwareX 11 (2022)
- [46] Alzeer I. M. & Abushams M. F. (2021). Online Remote Smart Grid Lab, Design Engineering 8(2021) ISSN: 0011-9342, 15810- 15822
- [47] Reid D. P., BurrIDGE J., Lowe D.B., & Drysdale T.D. (2022). Open-source remote laboratory experiments for controls engineering education, International Journal of Mechanical Engineering Education 1–21. DOI: 10.1177/03064190221081451
- [48] Gunasekara M. A., Thathsara D., Maddumapatabandi K. & Gamage A. A. (2021). Remote Lab Activities in a Digital Age: Insights into Current Practices and Future Potentials, Journal of Education, Innovation, and Communication (JEICOM) 3(1), DOI: <https://doi.org/10.34097/jecom3-1-june21-4>
- [49] Trentsiosa P., Wolfa M. & Frerichb S. (2020). Remote Lab meets Virtual Reality – Enabling immersive access to high tech laboratories from afar, Procedia Manufacturing 43 (2020) 25–31
- [50] Migue M. R. (2020). A Change in the 21st Century: Realizing the Effect of Replacing Actual Laboratories with Virtual Laboratories, International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN: 2319- 7064 SJIF (2020): 7.803
- [51] Grout I. (2017). Remote Laboratories as a Means to Widen Participation in STEM Education, Educ. Sci. 2017, 7, 85; doi:10.3390/educsci7040085
- [52] Monzo C., Cobo G., Morán J.A., Santamaría E. & García-Solórzano D. (2021) Remote Laboratory for Online Engineering Education: The RLAB-UOC-FPGA Case Study. Electronics 2021, 10(1072). <https://doi.org/10.3390/electronics10091072>
- [53] Feisel, L. & Rosa, A. (2005). The role of the laboratory in undergraduate engineering education. Journal of Engineering Education, 94(1), 121-130.
- [54] Bohus C., Crowl L., Aktan B, & Shor M. (1996). Running Control Engineering Experiments Over the Internet. Proceedings of the IFAC World Congress, San Francisco, California, G(1196), 25-33.
- [55] Henry J. (2001), Web-Based Laboratories: Technical and Pedagogical Considerations, AIChE Annual Meeting, Reno, NV, 12-22.
- [56] Samuelsen D. & Graven H. (2016). Remote Laboratories in Engineering Education — an Overview of Implementation and Feasibility. 14th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Engineering Innovations for Global Sustainability”, 20-22 July 2016, San José, Costa Rica. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.050>
- [57] Migue M. (2020), A Change in the 21st Century: Realizing the Effect of Replacing Actual Laboratories with Virtual Laboratories, International Journal of Science and Research (IJSR) 10(10), 1198-1202. DOI: 10.21275/SR211021082037
- [58] Daud M. & Razali Z. (2016), UniMAP e-Lab for Electrical Engineering Technology: Future Online Laboratory Classes. MATEC Web of Conferences 7 01008 (2016). DOI: 10.1051/mateconf/20167801008
- [59] Alves G., Fidalgo A., Marques A. & Viegas C. (2016). Spreading remote lab usage A System – A Community – A Federation, International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education 2016.
- [60] Chen X., Song G. & Zhang Y. (2010). Virtual and Remote Laboratory Development: A Review, Earth and

Space 2010: Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments 2010 ASCE

[61] Heradio R. de la Torre L. & Dormido S. (2016). Virtual and remote labs in control education: A survey. *Annual Reviews in Control* 42, 1-10.

[62] Zubia J. & Alves G. (2011). Using Remote Labs in Education, University of Deusto - ISBN 978-84- 9830-398-8

[63] Stankovic S. (2016). Virtual Reality and Virtual Environments in 10 Lectures, 1st ed. London: Morgan & Claypool, 2016.

[64] Milgram P. & Kishino F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays, *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D(12), 1321–1329.

[65] Furht B. (2011). *Handbook of Augmented Reality*. Springer, 2011.

[66] Tessier R. & Bursleson W. (2001). Reconfigurable computing for digital signal processing: A survey. *Journal of VLSI Signal Processing*, 28(1):7–27.

[67] Ramirez-Cortes J., Gomez-Gil P., Alarcon-Aquino V., Martinez-Carballido J. & Morales-Flores E. (2013). FPGA-Based Educational Platform for Real-Time Image Processing Experiments. *Wiley Periodicals, Inc. Comput Appl Eng Educ* 21: 193–201.

[68] Njejimana L., Tétrault M. A., Arpin L., (2012). Design of a Real-time FPGA-based DAQ Architecture for the LabPET II, an APD.-based Scanner Dedicated to Small Animal PET Imaging. 2012 18th IEEE-NPSS Real Time Conference, pp. 1-5, 2012.

[69] Reyes R., Oppus C. & Monje J. (2009). FPGA-based Digital Signal Processing Trainer, CSIE '09: Proceedings of the 2009 WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering. 5(2009), 343–347. <https://doi.org/10.1109/CSIE.2009.799>

[70] Kyriakos A., Papatheofanous E., Bezaitis C. & Reisis D. (2022). Resources and Power Efficient FPGA Accelerators for Real-Time Image Classification. *J. Imaging* 2022, 8, 114. <https://doi.org/10.3390/jimaging804011>

[71] Fearghal Morgan, Seamus Cawley, and David Newell. 2012. Remote FPGA Lab for Enhancing Learning of Digital Systems. *ACM Trans. Reconfigurable Technol. Syst.* 5, 3, Article 18 (October 2012), 13 pages. <https://doi.org/10.1145/2362374.2362382>

[72] Leonardo Mesquita, Fabrício Cesar Gomes Filho, Marco Aurélio Alvarenga Monteiro. “FPGA-based Remote Laboratory for Digital Electronics”, *International Journal of Development Research*, 11, (04), 45870-45875.

[73].Medina-Vázquez, Agustín Santiago, Flores-Castillo, Pablo David, Bonilla-Barragán, Carlos Alberto, Gurrola-Navarro, Marco Antonio, Meda-Campana, María Elena, & Villegas-González, José Martín. (2019). Metodología de bajo costo para implementar circuitos electrónicos integrados, un ejemplo de aplicación. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 20(3), e029. Epub 15 de

octubre de 2019.<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n3.029>

[74].Magyari, A.; Chen, Y. FPGA Remote Laboratory Using IoT Approaches. *Electronics* 2021, 10, 2229. <https://doi.org/10.3390/electronics10182229>

[75].Parra Plaza, J. A., Farfán, A. & Becerra Peña, R. M. (2011). Diseño de circuitos VLSI a partir de VHDL. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/21651>.

[76].Ayodele, K.P., Akinwale, O.B., Kehinde, L.O., Osasona, O.O., Ajayi, E.O., & Akinwunmi, O.O. (2009). Advanced Digital Laboratory: An Fpga Based Remote Laboratory For Teaching Digital Electronics.

### ROLES DE CONTRIBUCIÓN

| Rol                         | Autor (es)                                                                               |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Conceptualización           | Manuel Alejandro Barajas-Bustillos                                                       |
| Metodología                 | Jeovany Rafael Rodríguez Mejía, Mario Macario Ruiz Grijalva                              |
| Administración del proyecto | Arturo Woocay Prieto, Mario Macario Ruiz Grijalva                                        |
| Validación                  | German Quiroz Merino                                                                     |
| Redacción                   | Jeovany Rafael Rodríguez Mejía, Manuel Alejandro Barajas-Bustillos, German Quiroz Merino |



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.