

Recibido 13 Septiembre 2019. Aceptado 26 Noviembre 2019. Publicado 20 Diciembre 2019.

ISSN 2448-7775

Diseño de Planta Fotovoltaica en un Entorno de Realidad Virtual

RICARDO CERVANTES GARCÍA, JUAN M. CANO FIGUEROA, J. MIGUEL GONZÁLEZ LÓPEZ*, FERNANDO RODRÍGUEZ HARO, MARCO PÉREZ GONZÁLEZ, JESÚS CERVANTES GARCÍA, H. DANIEL DÍAZ RODRÍGUEZ.

Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Electromecánica.

rcervantes7@uocol.mx

Jgonzalez71@uocol.mx (*Autor de correspondencia)

ferharo@uocol.mx

jcano@uocol.mx

mbarreto7@uocol.mx

RESUMEN Este artículo describe el desarrollo de un entorno virtual de una instalación fotovoltaica de 200kWp en la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima. El usuario podrá interactuar con el sistema en un entorno inmerso mostrando todo lo necesario para llevar a cabo un proyecto; las características del equipamiento son desplegadas mientras el usuario esta interactuando utilizando lentes de realidad virtual. En el desarrollo del mundo ficticio se utilizaron las herramientas de diseño Google Sketchup, SolidWorks y Blender. Los objetos creados en estas herramientas son exportados a Unity para darle una apariencia de ser reales. Este software es propuesto ante la falta de financiamiento y equipo para que los estudiantes puedan realizar prácticas de instalaciones fotovoltaicas a gran escala. La eficacia de la herramienta propuesta es evaluada por medio de una encuesta, los resultados ilustran que la realidad virtual son una alternativa de enseñanza.

PALABRAS CLAVE— Planta fotovoltaica, realidad virtual.

I. INTRODUCCIÓN

Las energías renovables han tenido un desarrollo relevante a nivel mundial, de acuerdo con la Secretaria de Energía [1] en la última década la capacidad instalada con tecnología solar creció anualmente en promedio 36.6% en México, solo por debajo de la hidráulica y eólica. Este documento prevé un crecimiento promedio anual de 21.1% de la capacidad de generación solar fotovoltaica a instalar de 2017 a 2031 con un incremento de una tasa media anual de 29.3%. La rápida expansión de estas tecnologías se debe principalmente a los avances tecnológicos que reducen los costos y mejorar la eficiencia, y a diferentes políticas que apoyan a estas tecnologías.

Las políticas en México establecen como objetivos mínimos en la generación de energía limpia del 30% para el 2021 y 35% en 2024 [2]. Desde 2017 la manufactura de módulos fotovoltaicos en México registró una tasa promedio de utilización de 81% en 2015. México tenía una capacidad de manufactura de paneles solares para generar 1,727.5 MW

alrededor del 2% de la capacidad de manufactura a nivel mundial. Así, incentivando proyectos especialmente en el norte del país.

En México, la energía solar es un recurso abundante, Gutiérrez [3] cuantificó la radiación solar incidente a lo largo de México a través de un método propuesto que permite la cuantificación de la influencia del grado de perturbación en ambas irradiaciones, directa y difusa. La irradiación media en México ha sido estimada en alrededor de $5.5\text{kWhm}^{-2}\text{d}^{-1}$ [4].

En la literatura se puede encontrar con procedimientos que describen el modelado de los paneles solares con propósitos educativos [5]. Por otro lado, el análisis de desempeño en plantas fotovoltaicas instaladas en diferentes partes del mundo se ha llevado a cabo en el pasado. Mohandas [6] presenta resultados prácticos con respecto al efecto de la temperatura, humedad y polvo en el rendimiento de las tecnologías fotovoltaicas de capa fina. En [7] se calcula la exactitud de TRNSYS, Archelios, Polysun, PVSyst, PV*SOL y PVGIS en comparación con una instalación conectada a la red de

19.8kWp. Shetwi [8] diseña una planta fotovoltaica a gran escala conectada a la red de Malasia modelada en MATLAB/SimuLink con potencia nominal máxima de 1.5MW. Aunque estas propuestas encontradas en la literatura sirven como material de apoyo, no discuten el costo inicial de un proyecto o los detalles que conlleva realizar una instalación.

La enseñanza debe complementarse con equipos educativos en los laboratorios, pero el alto precio de estos denota un desafío, ya que los fondos financieros están restringidos para adquirirlos y los existentes deben mantenerse en buenas condiciones, por lo que es imposible comprar equipos educativos. Por lo tanto, las herramientas emergentes, como la realidad virtual, los laboratorios de Internet y la aplicación de dispositivos móviles, pueden permitir lograr nuevas formas de implementar la capacitación y el aprendizaje. Recientemente, se han desarrollado algunos proyectos de realidad virtual, por ejemplo [9] presenta el diseño y construcción de una turbina de viento de 5kW, además de un simulador de realidad virtual. Mientras que [10] incorpora un entrenador de ensamblaje automotriz con realidad virtual. [11] propone un sistema para proveer al usuario información para mejorar la experiencia de compra en tiendas comerciales. Dorozhkin [12] combina la simulación, manufactura interactiva y realidad virtual inmersa para un mejor entendimiento operativo. El grupo ACCIONA ha incorporado realidad virtual como una parte esencial en la forma de hacer negocios en el campo de la energía.

Por lo tanto, este artículo presenta el diseño virtual del programa propuesto que provee una visión técnica considerando los detalles de cómo debe ser instalado una planta solar, incluyendo los accesorios, la instalación eléctrica, el sistema de montaje y las protecciones eléctricas; esto es realizado con la ayuda de SolidWorks, SketchUp y Unity. El usuario es capaz de realizar un recorrido virtual por las instalaciones para verificar que todos los detalles técnicos han sido considerados en el diseño y llevarse a cabo en la instalación. El caso de estudio planea instalar un sistema fotovoltaico en la Facultad de Ingeniería Electromecánica en el estado de Colima, México.

II. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA INCORPORAR EL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA REALIDAD VIRTUAL

La metodología propuesta se muestra en la Fig. 1. En general, el dimensionamiento de un sistema de conexión a la red se basa en la factura de consumo de energía. Estos gráficos generalmente se obtienen del análisis de la factura de electricidad que se puede usar en la realidad virtual para aclarar cómo se logra una reducción en la facturación debido a la contribución de la energía de los sistemas fotovoltaicos. De este análisis se obtiene la capacidad necesaria para instalar un

sistema fotovoltaico. El siguiente paso es construir los modelos 3D de diferentes edificios, pasillos, objetos, árboles que son necesarios para mostrar las posibles pérdidas que afectan al sistema por las sombras. Existen diferentes herramientas, como SketchUp, Blender y algunas otras, cada una tiene sus ventajas y desventajas en comparación con ellas. En este proyecto, SketchUp se utiliza para modelar los edificios, ya que cuenta con un complemento para sistemas fotovoltaicos y con Google SketchUp tiene una ubicación geográfica y permite diseñar programas de dibujo en 3D con incorporación de sistemas solares haciendo un estudio para evitar sombras.

En este caso, el mundo virtual desarrollado en 3D (VW) es implementado con la ayuda de Unity [13] una multiplataforma de código abierto, un servidor de aplicaciones 3D multiusuario que permite proporcionar características físicas como textura y detalle a los objetos 3D una vez que los archivos de Sketchup se guardan / exportan como extensión .obj en para ser utilizado en la UNITY. El uso del espacio virtual proporciona una experiencia realista que le da al usuario la sensación de poder inspeccionar / visitar de manera virtual, lo que permite caminar entre los edificios con una instalación solar fotovoltaica.

A. DESARROLLO DEL MUNDO VIRTUAL

Para una explicación específica, la Facultad de Electromecánica de la Universidad de Colima, México, se considera como un estudio de caso, se ubica en la latitud 19.1239 y longitud -104.4001. El diseño se considera en los edificios del campus que pertenecen a la facultad. Por lo tanto; cada edificio está dimensionado de acuerdo con su capacidad instalada evitando sombras.

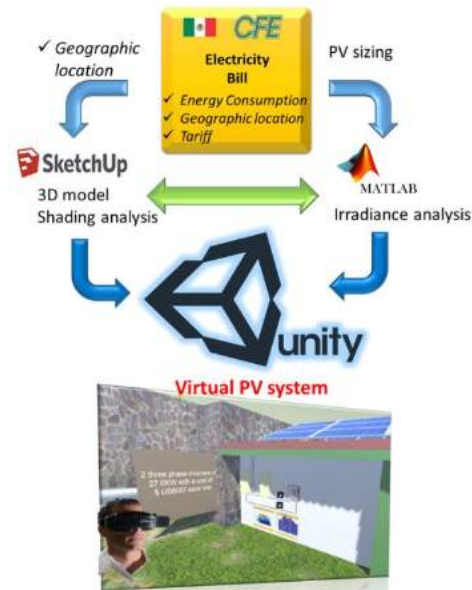


Fig. 1. Desarrollo del entorno virtual.

La Fig. 2 ilustra el diseño 3D, el usuario puede caminar en las instalaciones para ver los detalles considerados, lo que permite interactuar con los objetos haciendo clic en las partes específicas, como el panel solar, para obtener la información de las características y el costo. El objetivo es comprender mejor una instalación de forma técnica en la que los estudiantes puedan realizar una visita industrial a una granja solar de forma virtual para lograr un mejor entendimiento.

La Fig. 3 ilustra el equipo utilizado para la propuesta, se trata de los lentes de realidad virtual Oculus rift con controles touch, y una computadora de escritorio tipo Gammer con una tarjeta gráfica gtx 1050 ti 4Gb.

La Fig. 4 muestra la trayectoria del sol en uno de los edificios donde se puede colocar la instalación para verificar el sistema fotovoltaico en caso de que se vea afectado por las sombras, lo que ilustra la consideración de las pérdidas de sombra. Para obtener una trayectoria solar real, se utiliza una Aplicación móvil de trayectoria solar para ayudar a descubrir dónde está el sol, o dónde estará; luego se reproduce en Unity. Se puede obtener información adicional, por ejemplo, el usuario puede ir a verificar la instalación y obtener información sobre el sistema en cada edificio. La Fig. 5 ilustra la vista del usuario en un edificio donde se pueden observar las características del panel solar, así como la inversión en costo total de los paneles solares en ese edificio.

La cantidad necesaria de material para el sistema de montaje se muestra en la Fig. 6, en la que se incluyen los rieles, pernos y accesorios necesarios, así como el costo del sistema de montaje en ese edificio. El propósito es ilustrar que cada detalle individual está integrado en el proyecto.



Fig. 2. Diseño de entorno virtual de instalación fotovoltaica 3D de 200kW.



Fig. 3. Hardware utilizado Oculus rift

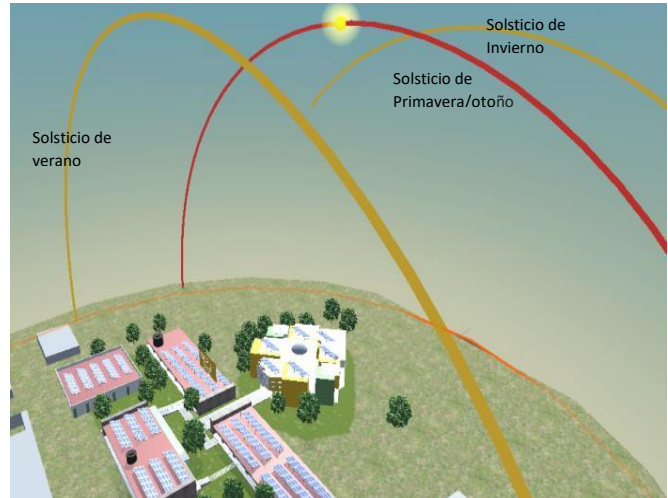


Fig. 4. Franja solar anual en forma virtual.



Fig. 5. Interactuando en un edificio.



Fig. 6. Interactuando con el sistema de montaje, mostrando detalles técnicos y accesorios.

La Fig. 7 ilustra la instalación eléctrica desde el cableado, tubería, accesorios, hasta los inversores con sus protecciones. El costo de las inversiones iniciales también se describe de forma virtual. Toda la parte de la instalación se considera hasta este punto; sin embargo, es necesario ilustrar la generación de energía que tendrá la instalación. Hay programas que ayudan a obtener esta información; sin embargo, el modelado es una técnica que ayuda a visualizar y comprender profundamente el comportamiento del sistema con gran detalle, por esta razón y como parte de enseñanza de sistemas fotovoltaicos a continuación se ilustra de forma breve el modelado hecho en Simulink. Los resultados de estas simulaciones son exportados a Unity 3D para integrarlos en el mundo virtual.

B. MODELADO DE PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA EN SIMULINK.

La Fig. 8 muestra la simulación realizada en Simulink como ejemplo de un sistema fotovoltaico de 3kW [14], esta simulación es hecha para validar los resultados con un sistema real instalado de 3kW con sistema de monitoreo, la Fig. 9 ilustra la comparación del modelado en Simulink con el sistema real de monitoreo. La matriz fotovoltaica ilustrada en la Fig. 8 como "PV Array", se basa en el circuito equivalente de una célula solar, representada por una fuente de corriente en derivación con un diodo, e incluye los efectos de la temperatura y la radiación solar. Mientras que el inversor se modela utilizando un módulo IGBT de puente completo monofásico controlado. Una vez validados los resultados se realizan las simulaciones para la planta de generación de 200kW, los resultados son mostrados también en la Fig. 7 en la cual se ilustra la producción anual por día y por mes.

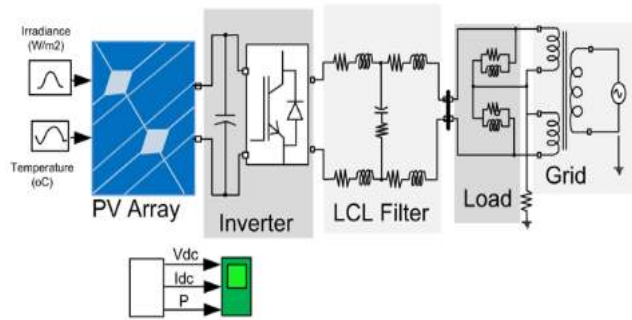


Fig. 8. Modelado de planta fotovoltaica.

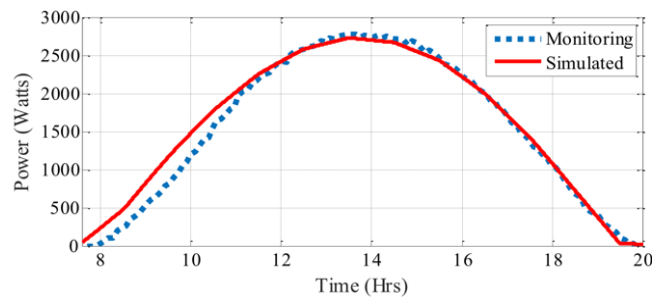


Fig. 9. Validación del modelado para generación de energía

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La evaluación del software se realiza a través de una encuesta implementada, Tabla I, aplicada a los estudiantes de ciencias de la computación y electromecánicos de la Facultad de Electromecánica de la Universidad de Colima. Se les pidió que hicieran una prueba en el mundo virtual.

La respuesta a Q1 ilustra que prácticamente todos están de acuerdo con respecto a una presentación de realidad virtual, ya que les resulta mucho más comprensible y claro cómo sería una instalación. La mayoría está de acuerdo en que la inversión requerida para instalar un sistema de este tipo se presenta muy explícitamente en la realidad virtual; el hecho de que el usuario pueda interactuar de forma virtual con la instalación e incluso mostrar el costo de los accesorios lo hace muy ilustrativo. De manera similar, para Q3, en relación con la parte técnica, todos los detalles se ilustran desde el sistema de montaje, el cableado del panel solar y la instalación eléctrica. Por lo tanto, todos están de acuerdo con la claridad sobre la planificación técnica de la instalación del sistema fotovoltaico. En Q4, algunos de los encuestados mencionaron que no está del todo claro cómo se logra el ahorro en la factura, se manifiesta un poco de confusión al analizar los resultados en forma de barras presentadas en la Fig. 7. Sin embargo, el 95% de los encuestados declaró que es comprensible cómo el sistema consigue ahorrar energía.

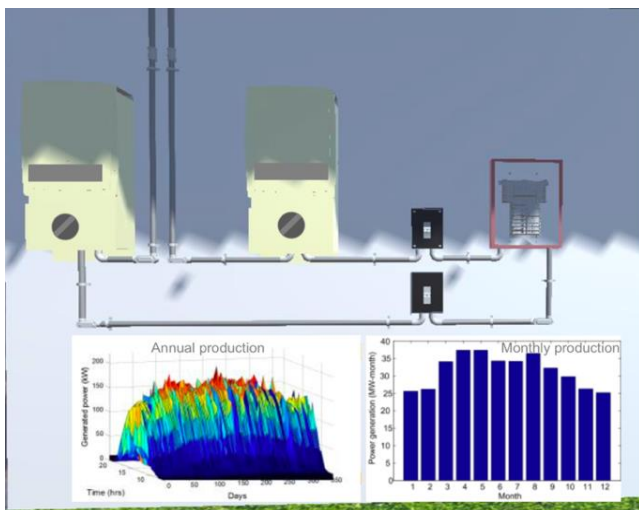
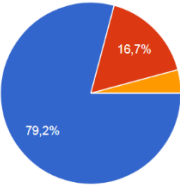
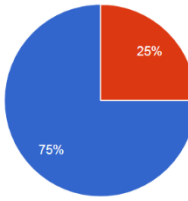
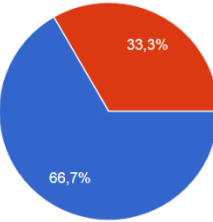
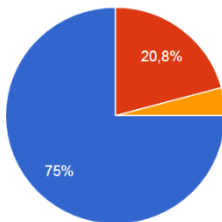
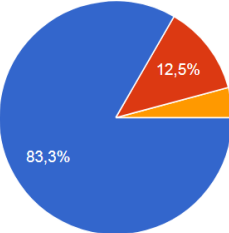
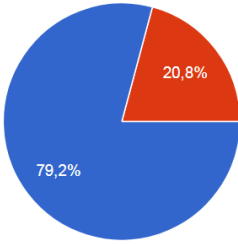


Fig. 7. Detalles de la instalación eléctrica, vista virtual del usuario.

TABLA I. EVALUACION DE SOFTWARE MEDIANTE ENCUESTA

Parámetros	Valores 1
<p>Q1 La forma de realizar el recorrido virtual es adecuada?</p> 	<p>Q2 La inversión inicial requerida para todos los equipos y accesorios esta clara en el mundo virtual??</p> 
<p>Q3 Le quedan claros todos los aspectos técnicos de una instalación fotovoltaica?</p> 	<p>Q4 ¿El ahorro de energía son comprensibles con la instalación?</p> 
<p>Q5 ¿El mundo virtual es similar a las instalaciones de la facultad?</p> 	<p>Q6 ¿Se parecen los objetos virtuales a la realidad?</p> 
<ul style="list-style-type: none"> ● Strongly agree ● Agree ● Disagree ● Strongly disagree 	

Respecto al mundo virtual, en Q5, el 95.8% de los encuestados está de acuerdo en que el entorno virtual exhibido tiene mucha similitud con la representatividad en términos de las instalaciones en la Facultad y cómo se planea el sistema fotovoltaico. En Q6 todos declaran estar de acuerdo con la similitud de los objetos. Específicamente, los usuarios consideran más el enfoque en la textura del inversor, pero no lo suficiente como para generar confusión en la planificación técnica.

IV. CONCLUSIONES

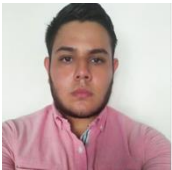
Se ha desarrollado un entorno virtual para la incorporación de una instalación fotovoltaica de 200kW con propósitos educativos. El entorno virtual fue desarrollado con la ayuda de Sketchup and Unity; Sketchup facilita el dimensionamiento de la capacidad instalada para edificios utilizando un dimensionamiento 3D, los diseños de estos se exportaron a Unity para crear el entorno virtual y dar un acabado a la textura de los objetos programados. El resultado de la encuesta indica que la planificación de los sistemas fotovoltaicos en un entorno virtual puede ser una mejor manera de presentar proyectos, ya que; proporcionan información clara sobre los problemas técnicos de cómo puede ser una instalación, así como una certeza sobre la inversión inicial requerida, ya que incluso se pueden incluir los detalles más pequeños, como los accesorios. Este tipo de entorno virtual también se puede utilizar como un sistema de enseñanza.

REFERENCIAS

- [1] S. d. Energia, "Prospectiva de Energias Renovables 2017-2031," 2018. [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/284342/Prospectiva_de_Energ_as_Renovables_2017.pdf.
- [2] J. S. Suarez, "Secretaria de economia. La Industria solar fotovoltaica y fototermica en Mexico.," 2018. [Online]. Available: <https://www.promexico.mx/documentos/biblioteca/industria-solar.pdf>.
- [3] A. Gutiérrez Trashorras, "Attenuation processes of solar radiation. Application to the quantification of direct and diffuse solar irradiances on horizontal surfaces in Mexico by means of an overall atmospheric transmittance.," *ELSEVIER Renewable and Sustainable Energy Reviews.*, vol. 1, no. 81, pp. 93-106, 2018.
- [4] I. D. I. Electricas, "Sistema de Informacion Geografica para las energias renovables en Mexico. (Instituto de Investigaciones Electricas)," 2019. [Online]. Available: <http://sag01.iie.org.mx/evaluarer/SIGER.html>.
- [5] Y. Mahmoud and E. El-Saadany, "Accuracy Improvement of the Ideal PV Model," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 909-911, 2015.
- [6] B. Mohandes, L. El Chaar and L. Lamnot, "Application Study of 500 W Photovoltaic (PV) System.," *Springer, Applied Solar Energy*, vol. 4, no. 45, pp. 242-247, 2009.
- [7] J. Petros Axaopoulos, "Accuracy analysis of software for the estimation and planning of photovoltaic installations.," *Springer, International Journal of Energy and Environmental Engineering*, vol. 1, no. 5, pp. 1-7, 2014.
- [8] A. Al Sheti. and Z. Sujod, "Modeling and design of photovoltaic power plant connected to the MV side of Malaysian grid with TNB technical regulation compatibility.," *Springer Electrical Engineering*, vol. 100, no. 4, pp. 2407-2419, 2018.
- [9] M. H. López, "CEMIE-Eólico.," 2018. [Online]. Available: <http://cemiee.iie.org.mx/Proyectos/Proyecto-P08>.
- [10] S. Borci, G. Lawson. and B. Burgues, "Effectiveness of a multidevice 3D virtual environment application to train car service maintenance procedures.," *Springer, Virtual Reality*, vol. 20, no. 1, pp. 41-55, 2016.

- [11] S. Orts Escolano and D. Gomez, "An augmented reality application for improving shopping experience in large retail stores.," *Springer, Virtual Reality*, 2018.
- [12] D. Dorozhkin, J. Vance and M. Lemessi, "Coupling of interactive manufacturing operations simulation and immersive virtual reality.," *Springer, Virtual Reality*, vol. 16, no. 1, pp. 15-23, 2018.
- [13] Unity, *Software Unity.*, <https://unity3d.com/>, 2019.
- [14] Mathlab, "Mathworks.," 2019. [Online]. Available: https://la.mathworks.com/help/physmod/sps/example_s/single-phase-240-vrms-3500-w-transformerless-grid-connected-pv-array.html.

BIOGRAFÍAS



Ricardo Cervantes García. Estudiante de ingeniería en sistemas computacionales por la Facultad de ingeniería electromecánica de la Universidad de Colima 2015-2019. Su área de interés es el modelado de entornos con realidad virtual y Realidad Aumentada.



Juan M. Cano Figueroa. Estudiante de ingeniería en sistemas computacionales por la Facultad de ingeniería electromecánica de la Universidad de Colima 2015-2019. Su área de interés es el modelado de entornos con realidad virtual y Realidad Aumentada.



JUAN MIGUEL GONZALEZ (S'07 – M'17) recibido en Ingeniería Eléctrica por la Universidad de Colima, Colima, México, en 2004, Maestro y Doctor en ingeniería eléctrica de CINVESTAV, Guadalajara, México, en 2006 y 2010, respectivamente. De 2010 a 2017, ocupó diferentes cargos docentes en la Universidad Tecnológica de Manzanillo, México. De 2008 a 2009, fue un estudiante visitante en la Universidad de Waterloo, Waterloo, ON, Canadá, y realizó un postdoctorado de 2011-2012, trabajando en temas de redes inteligentes. Se unió al Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Colima, en 2017, como profesor a tiempo completo. Sus intereses de investigación incluyen modelado, simulación, control, estabilidad en sistemas de energía y hogares inteligentes, análisis de sistemas eléctricos de potencia, las energías renovables y la enseñanza de tópicos de ingeniería en el ambiente de realidad expandida y realidad virtual.



Fernando Rodríguez Haro. ISC Instituto Tecnológico de Colima (1998), M.Cs. por el Centro de Investigación y de estudios Avanzados (CINVESTAV 2001), Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña (2009). PTC Universidad de Colima (2001-). Áreas de interés: Virtualización, Cloud Computing, Sistemas de gestión de recursos, Realidad Virtual, y Realidad Aumentada.



MARCO PEREZ Maestro en Ciencias por el CINVESTAV (2001). Profesor de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima desde 2000. Sus intereses académicos son el análisis y simulación del control y operación de sistemas eléctricos de potencia. La instrumentación virtual y la programación de herramientas didácticas.



Jesús Cervantes García. Estudiante de ingeniería en sistemas computacionales por la Facultad de ingeniería electromecánica de la Universidad de Colima 2016-2020. Su área de interés es el modelado de entornos con realidad virtual y realidad aumentada.



H. Daniel Díaz Rodríguez. Estudiante de ingeniería en sistemas computacionales por la Facultad de ingeniería electromecánica de la Universidad de Colima 2016-2020. Su área de interés es el modelado de entornos con realidad virtual y realidad aumentada.