

# Maqueta interactiva I4.0 como medio para la enseñanza-aprendizaje del uso de sistemas ciber-físicos para la Industria 4.0

## Interactive model I4.0 as a way for teaching-learning the use of cyber-physical systems for Industry 4.0

G. Cuaya-Simbro <sup>a,\*</sup>, J. A. Zaragoza-Ramírez <sup>a</sup>, U.Y. Covarrubias-Cruz <sup>a</sup>, J. Martínez-Rodríguez <sup>a</sup>, E. Ruiz-Hernández <sup>a</sup>, K. Gutiérrez-Fragoso <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo, Apan, Hidalgo, México.

### Resumen

La Industria 4.0 está cambiando la producción global, y esto demanda que los futuros profesionistas conozcan y dominen las tecnologías habilitadoras de ésta. Es por ello que las universidades necesitan generar los mecanismos de enseñanza-aprendizaje para que los estudiantes adquieran habilidades que demandarán los nuevos puestos de trabajo y que les permitan ser competitivos. Los sistemas ciber-físicos son los grandes protagonistas de la Industria 4.0, éstos conjuntan muchas tecnologías, y cuentan con una infraestructura física que funciona al combinarse con una parte digital. En este trabajo se muestra el desarrollo de un sistema ciber-físico como medio de enseñanza-aprendizaje para propiciar que los estudiantes generen las capacidades requeridas por la Industria 4.0. La maqueta I4.0, mejora el proceso de ubicación e identificación de lugares en una institución, pero, por otra parte, permite al estudiante experimentar con tecnologías como computación en la nube, internet de las cosas y recorridos virtuales, de una manera práctica, modificando o agregando nueva funcionalidad a la maqueta. Finalmente, se describen un conjunto de prácticas, como una propuesta a utilizarse en el proceso de enseñanza por parte de los docentes, las cuales pueden permitir a los estudiantes asimilar los conceptos y tecnologías de Industria 4.0, a través del desarrollo de las mismas.

### Palabras Clave:

Industria 4.0, Sistemas ciber-físicos, iModel, métodos de enseñanza-aprendizaje, Internet de las cosas, computación en la nube, recorridos virtuales

### Abstract

Industry 4.0 is modifying global production, and it demands that professionals know and manage its enabling technologies. For this reason, universities need to generate teaching-learning mechanisms so that students acquire skills that new jobs will demand and that allow them to be competitive. Cyber-physical systems are the main characters of Industry 4.0, they also combine many technologies, and have a physical infrastructure that works when combined with a digital part. This work shows the development of a cyber-physical system as a teaching-learning medium to encourage students to generate the capacities required by Industry 4.0. The I4.0 model, improving the process of location and identification of places in an institution, but, on the other hand, allows the students to experiment with technologies such as cloud computing, internet of things and virtual tours, in a practical way, modifying or adding new functionality to the model. Finally, a set of practices is described, as a proposal used in the teaching process by teachers, which can allow students to assimilate the concepts and technologies of Industry 4.0, through their development.

### Keywords:

Industry 4.0, Cyber-physical systems, iModel, teaching-learning methods, Internet of things, cloud computing, virtual tours

## 1. Introducción

La cuarta revolución industrial, o Industria 4.0 o I4.0, requiere una transformación dinámica de cómo se realizan todos los aspectos de negocio y producción. Una nueva ola de tecnología global está cambiando la producción global, por lo que es necesario que los futuros trabajadores estén altamente

capacitados en las tecnologías emergentes. En un futuro cercano, no solo se debe de ser capaz de desarrollar la tecnología, sino también saber cómo utilizarla y aplicarla. Es por ello que las escuelas deben reinventarse rápidamente. Necesitan adaptarse a las exigencias de la I4.0 y ofrecer a sus estudiantes tantas oportunidades como sea posible creando los entornos adecuados para que los mismos estén preparados para los futuros trabajos.

\*Autor para la correspondencia: [gcuaya@itesa.edu.mx](mailto:gcuaya@itesa.edu.mx)

Correo electrónico: [gcuaya@itesa.edu.mx](mailto:gcuaya@itesa.edu.mx) (German Cuaya-Simbro), [15030603@itesa.edu.mx](mailto:15030603@itesa.edu.mx) (Jaime Alberto Zaragoza Ramírez), [19030371@itesa.edu.mx](mailto:19030371@itesa.edu.mx) (Uri Yael Covarrubias Cruz), [19030348@itesa.edu.mx](mailto:19030348@itesa.edu.mx) (Jacobo Martínez Rodríguez), [eruz@itesa.edu.mx](mailto:eruz@itesa.edu.mx) (Elías Ruiz Hernández), [kgutierrez@itesa.edu.mx](mailto:kgutierrez@itesa.edu.mx) (Karina Gutiérrez Frago)

El problema en el futuro no será la falta de empleo, sino la escasez de habilidades que demandarán los nuevos puestos de trabajo.

Es por lo anterior, que los estudiantes deben comprender cómo pueden correlacionar, usar y aplicar diferentes conocimientos y tecnologías digitales en contextos diversificados, para desarrollar o crear “algo” que se conecte con el mundo real. Ese “algo” se conoce como un sistema ciber-físico, el cual integra capacidades de computación, almacenamiento y comunicación junto con capacidades de seguimiento y/o control de objetos en el mundo físico. Los sistemas ciber-físicos están, normalmente, conectados entre sí y a su vez conectados con el mundo virtual. Desafortunadamente en las Instituciones de Educación Superior (IES), aún no se cuenta con los mecanismos y medios adecuados y suficientes para propiciar que sus estudiantes adquieran este tipo de habilidades.

Lo anterior lleva a las instituciones a la siguiente pregunta, ¿cómo los estudiantes pueden adquirir dichas habilidades?, en principio en este trabajo proponemos que los estudiantes necesitan trabajar en un marco de proyectos de desarrollo de sistemas ciber-físicos y posteriormente practicar con dichos sistemas de un modo autodidacta o con guía de profesores capacitados en el tema, promoviendo con ello una enseñanza centrada a generar las capacidades requeridas en la actualidad para ingresar a laborar en industrias que están o se están migrando a ambientes de producción basados en la I4.0.

La maqueta interactiva I4.0 es un proyecto enfocado al desarrollo de un sistema ciber-físico para la experimentación de diferentes tecnologías como, cómputo en la nube, internet de las cosas, realidad virtual, entre otros, dicha maqueta es un aporte a la institución debido a que generalmente no se cuenta con este tipo de sistemas para actividades de enseñanza-aprendizaje, que permitan la interacción del software con un prototipo físico de una maqueta, en donde dicha maqueta tiene una aplicación real, dado que permite de manera práctica a un usuario final identificar de manera más precisa ubicaciones de interés dentro de las instalaciones del plantel, así como conocer a los responsables de cada área. Finalmente, el sistema ciber-físico desarrollado, podrá ser utilizado posteriormente para que estudiantes relacionados al área de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TICs) puedan practicar con él, modificando y configurando el funcionamiento de la maqueta, promoviendo con ello la generación de las competencias necesarias para trabajar en ambientes propios de la I4.0.

## 2. Antecedentes

Una aplicación atractiva y sencilla de sistemas ciber-físicos, fuera de la industria, es el uso de modelos a escala interactivos (iModel) para recorridos en museos o la muestra interactiva de edificios, una característica clave de estos modelos es su flexibilidad, tanto en términos de tamaño como en la información y análisis que puede mostrar. El iModel se puede conectar a un proyector o pantalla táctil, mejorando el efecto multimedia al mostrar, fotomontajes, imágenes panorámicas interactivas, animaciones y gráficos de información relevante. Lo anterior puede ser extrapolado a un iModel para el recorrido de instalaciones en alguna institución, en nuestro caso específico una institución educativa, integrando tecnologías de la I4.0. Cabe señalar, que la forma común en la que se dan a conocer las instalaciones, sigue siendo mediante recorridos guiados por una persona o a través de la descripción verbal del personal de vigilancia, lo cual presenta un problema cuando se requiere localizar un lugar específico dentro de la institución, pues bien sería necesario que alguna persona lleve al visitante al lugar deseado o indicarle a dicha persona de manera verbal como llegar a éste, lo cual es complicado y en ocasiones ineficiente.

Existen trabajos basados completamente en un sistema digital, para recorridos virtuales o identificación de áreas específicas en algún edificio o zona urbana, entre los que se pueden mencionar los siguientes: maqueta virtual de Barcelona (Montañés, 2011), en donde la empresa Barcelona Media y el Museo de Historia de Barcelona, instalaron en un mercado un panel táctil con una demo la cual mostraba una vista aérea de la ciudad y permitía conocer algunas de sus construcciones góticas, permitía experimentar la caminata por las calles e incluso entrar a muchos de los edificios presentados. También podemos mencionar a Interprika (Pool CEO, 2019), que es una empresa mexicana que elabora recorridos y maquetas virtuales, entre otras soluciones de realidad virtual, generalmente orientadas a la industria inmobiliaria para promocionar las viviendas ofertadas, haciendo trabajos siempre de forma personalizada para cada cliente donde, por ejemplo, si se tiene ya terminada la obra, se puede realizar un escaneo 3D completo del área para que sea posible moverse digitalmente en ella, o también se puede simplemente tomar imágenes 360° de las habitaciones, en otro caso, si la casa está por edificarse, se puede elaborar un modelado 3D que simule cómo se vería cuando ésta sea construida. Los trabajos mencionados son diferentes al uso de sistemas ciber-físicos, debido a que no incorporan un prototipo físico con el que pueda haber una interacción con el sistema digital, es decir, no hay una interacción entre hardware y software a través del uso de una interfaz de usuario final.

Por otra parte, se han reportado el desarrollo de maquetas virtuales a través de sistemas ciber-físicos, como el modelo a escala de la ciudad de Cardiff (Wynne-Owen, 2014), elaborado por la empresa Modelmaker Ltd a en 2014, con un tamaño de 5.5 x 6.5 metros y que cuenta con una pantalla táctil para interactuar con más de treinta zonas iluminables, de las cuales se muestra la información de cada zona en la pantalla; el proyecto fue elaborado para promover la ciudad ante posibles inversionistas. De igual manera, el iModel de Unique AT (2015), combina las maquetas tradicionales con pantallas de luces LED para añadir interactividad, éstas son controladas por tablets incorporadas o alguna propia del usuario, mediante las cuales también se puede ver información sobre el modelo e imágenes 360° del sitio representado. Los trabajos citados, son ejemplos de aplicación de sistemas ciber-físicos, pero no están enfocados a la enseñanza-aprendizaje de la construcción y uso de los mismos, por lo que los consideramos como sistemas cerrados, es decir, no es posible modificar su funcionamiento por los usuarios.

Finalmente, existen trabajos que reportan el uso de sistemas ciber-físicos para la enseñanza-aprendizaje, como Festo Didactic SE (2015) con sus plataformas de enseñanza ciber-físicas con contenidos didácticos, las cuales representan estaciones de una planta de producción, con esto permiten enseñar sobre temas de sistemas de control industrial avanzados, comunicación de datos, conceptos avanzados de manufactura y optimización basada en datos de la fabricación, pero dicho sistema no fue desarrollado para estudiantes de IES, sino para capacitación especializada del personal empresas, además que es complicado acceder al mismo debido a la ubicación de éste.

También se puede mencionar el trabajo de Holgado-Terriza (2016) el cual habla sobre el diseño de maquetas físicas didácticas que permiten desarrollar experiencias docentes fomentando el aprendizaje activo del alumno. En este sentido la maqueta doméstica da la oportunidad de enfrentarse a los problemas prácticos del manejo de dispositivos reales, los problemas derivados del diseño, implementación y depuración de un sistema completo integrando los aspectos de hardware y software. Sin embargo, este trabajo deja fuera el uso de una tecnología primordial, cloud computing, para experimentar un concepto completo del uso de sistemas ciber-físicos. Finalmente, una

diferencia con el trabajo desarrollado por nosotros es que la maqueta I4.0 además de ser un medio de enseñanza-aprendizaje, también presenta una aplicación práctica, debido a que permite mejorar el proceso de ubicación e identificación de lugares y personas dentro de la institución para los visitantes de la misma.

### 3. Marco teórico

Como se ha mencionado, la Industria 4.0 o I4.0 es una nueva tendencia que consiste en la digitalización de los procesos y servicios de las empresas mediante el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TICs), generando así una mayor automatización en la fabricación de productos o al brindar un servicio. El objetivo de esta revolución es combinar técnicas de producción con tecnologías inteligentes, como son, blockchain, la nube (cloud), robótica, simulaciones, materiales avanzados, realidad virtual/realidad aumentada, Big Data, ciberseguridad, Inteligencia Artificial, software como servicio, manufactura aditiva, etc. en las empresas. Esto supone un cambio de paradigma en la forma en la que se manejan los negocios, siendo el acceso a la información una pieza importante en este desarrollo por medio de la integración de lo físico con lo digital, aplicando el término en inglés *physical-to-digital-to-physical*, que indica el camino que recorren los datos de un punto al otro y de regreso al inicio, pero transformados ahora en información con la que se dan las indicaciones necesarias para mejorar continuamente la productividad. (ISOTools, 2018).

A continuación, se describen algunas de las tecnologías habilitadoras de la I4.0, que estarán integradas en el desarrollo de la maqueta I4.0:

**Sistemas ciber-físicos (CPS):** Son los grandes protagonistas de la Industria 4.0, tecnológicamente hablando, los cuales suponen una integración de muchas tecnologías, ya que una de sus principales características es contar con una infraestructura física que funciona al combinarse con una digital que, además, se encuentran interconectadas con otras plataformas. Éstos funcionan mediante una constante comunicación de las dos partes que los conforman, al enviar al hardware los datos sobre el proceso que esté realizando hacia el software, el cual los almacena en un servidor para su posterior análisis, siendo todo esto, en conjunto, lo que finalmente brinda la cualidad de automatización de los procesos (Campos, 2018).

**Internet de las cosas (IoT):** Este es un elemento estrechamente relacionado con los CPS, ya que supone la comunicación entre plataformas mediante redes, y como menciona el IBSG (Internet Business Solutions Group) de CISCO, en la actualidad existen más objetos con acceso a internet que habitantes en el mundo (Evans, 2011). En la práctica consiste en interconectar cualquier aparato cotidiano con lo que se encuentre en su entorno a través de internet o una red local, recibiendo datos por medio de sensores para convertirlos en información y compartir ésta con el resto de dispositivos, pudiendo entonces efectuar así una respuesta inteligente a la situación en la que se encuentre cada uno de ellos, de forma completamente autónoma. (Rivera, 2015). Se considera que un sistema de IoT representan la integración de cuatro componentes principales: sensores/dispositivos, conectividad, procesamiento de datos y una interfaz de usuario. En el caso de la maqueta I4.0, el sistema de IoT implementado se compone de: Pantalla táctil como el sensor y leds como actuadores, comunicación alámbrica de los sensores y actuadores de la maqueta a través de los puertos de E/S de la Raspberry y las tarjetas Arduino, la Raspberry como unidad de procesamiento principal, y la página web como la interfaz de usuario del sistema IoT.

**Cloud Computing:** Uno de los componentes utilizados por los CPS es el cómputo en la nube, el cual conlleva una relación entre lo físico y lo virtual, en (Rivera 2015) se explica que esto implica concentrar todo el contenido informático de uno o más clientes en algún servidor externo, el cual se puede nombrar como la nube, siendo únicamente el hardware de éste el que se encarga de manejar y almacenar las cosas, lo que por otro lado significa que el acceso a ella se daría exclusivamente de manera remota a través del software. Esto trae consigo notables cambios en la forma en la que se interactúa con los sistemas computacionales, ya que el no guardar la información de manera local no sólo provoca tener mayor espacio libre en las computadoras, sino que también permite acceder a ella desde cualquier lugar y dispositivo, de igual forma brinda la posibilidad de compartirla con otros usuarios e incluso ejecutar aplicaciones almacenadas en estos servidores. En el caso de la maqueta se hace uso de una nube privada, de la cual se utilizan los recursos de un servidor, administrado por el departamento de sistemas de la institución, principalmente procesamiento para ejecutar los recorridos virtuales y las consultas a la base de datos, así como almacenamiento, espacio en disco, para guardar la información del sistema y servicios de redes, para hacer uso de la plataforma digital de la maqueta I4.0 en cualquier lugar fuera de la institución.

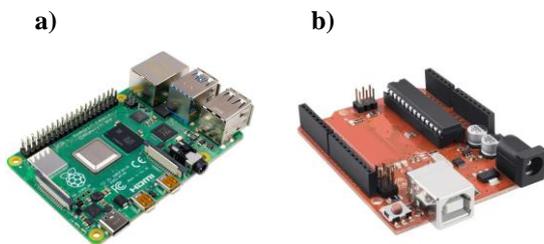
**Recorridos virtuales:** Otro de los principales conceptos sobre los que se basa el proyecto, es sin duda los recorridos virtuales, los cuales han sido impulsados por tecnologías como la realidad virtual o la realidad aumentada, pero no es únicamente mediante éstas que es posible realizar uno, ya que, en esencia, se trata de recrear de manera digital algún sitio con el propósito de explorarlo con libertad, por lo que incluso se podrían presentar en un video y cumplir con el objetivo. Este tipo de recorridos, pueden ser modelados en 3D simulando un lugar ya existente o próximo a ser construido, utilizando imágenes reales 360°, en las que únicamente se muestra información sobre las instalaciones, y finalmente, aquellas en las que además de visualizar se tiene la posibilidad de interactuar con el modelo, ya sea física y digitalmente, brindando así una experiencia más inmersiva, (Berrio, 2020).

### 4. Materiales

Este proyecto consta de 2 partes principales, una física y otra digital. La primera hace referencia a la maqueta física y componentes electrónicos que la conforman, ésta tiene por objetivo mostrar en un modelo a escala cómo se observan diferentes edificios de una institución educativa, para que sean identificables con facilidad por las personas que visitan a la institución, además de mostrar el camino a seguir para llegar al sitio que se desea visitar. De manera general los materiales utilizados para la construcción de esta parte física son:

- 1 Raspberry Pi 3 como unidad de procesamiento de datos, específicamente intercambio de información con las tarjetas Arduino para control de los leds de la maqueta, además de permitir el uso de un navegador web para interactuar con la plataforma en la nube de la maqueta I4.0, Figura 1 a).
- 3 Arduino UNO, Figura 1 b), los cuales son programados con la lógica de encendido y apagado de los leds correspondientes a las áreas que controlan en cada uno de los edificios de la maqueta.
- 1 pantalla táctil conectada a la Raspberry para que el usuario pueda intercambiar información con el sistema físico además de permitirle navegar por el sitio web.

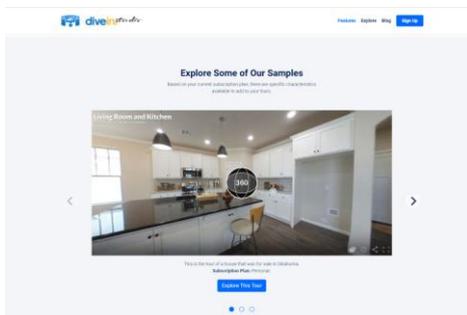
- Leds para iluminar en la maqueta cada área de los edificios, así como los caminos a seguir para llegar a un edificio específico.
- Cables USB para conectar la interfaz táctil de la pantalla a la Raspberry, al igual que para conectarle a esta última los Arduino.
- Madera para la construcción de la maqueta, los edificios y la cubierta de la pantalla.
- SketchUp versión 20.0.363 para modelar el diseño que tendrá la maqueta física.
- Selenium 3.0 como plugin para la Raspberry, con fin de que ésta pueda controlar un navegador web y obtener datos del mismo, haciendo uso también de un WebDriver. para la correcta instalación, es necesario instalar chromedriver, obtenido del proyecto electron de GITHUB, versión 10.4.2 para chromium versión 86.



**Figura 1: a) Tarjeta Raspberry Pi 3, b) Tarjeta Arduino UNO.**

Por otro lado, se tiene la parte digital, donde se muestra de manera virtual, detalles de las áreas, edificios, y personas de la institución, a través del uso de recorridos virtuales y una plataforma en la nube, los cuales fueron construidos como se indica a continuación:

- Recorrido virtual: se utilizaron las aplicaciones GCam y Street View para tomar una imagen normal y otra 360° por cada área mostrada en el sitio web, además de algunos otros sitios que sirvieran como nodos, finalmente se hizo uso de la plataforma DiveIn Studio para unir todas las fotografías y formar así el recorrido virtual, En la Figura 2, se observa la página principal del sitio en donde se es posible crear un usuario, para así poder crear un nuevo proyecto y subir las imágenes 360°.



**Figura 2: DiveIn Studio.**

- Plataforma en la nube: como se ha mencionado, se utilizan los recursos de una nube privada, la cual proporciona principalmente servicios de hospedaje de la página web, base de datos, almacenamiento,

ciberseguridad, entre otros, esto a través de una máquina virtual (servidor) con las siguientes características: Procesador Marvell 2.0 GHz, 4 GB en RAM, 100 GB de almacenamiento, la cual fue proporcionada por el departamento de sistemas de la institución.

- Tecnologías para el desarrollo de la plataforma web: para el desarrollo del portal web, se describe a continuación que tecnologías fueron utilizadas y para que se utilizaron:

*JavaScript 1.7:* es un lenguaje de secuencias de comandos que sirvió para la creación y modificación de elementos dinámicos dentro de la aplicación web, un ejemplo sería la actualización o cambio de los datos de un docente usando la misma página web y solo cambiando los datos que se reciben de la base de datos.

*jQuery 3.5.1:* Es una librería de JavaScript que simplifica el código que se escribe, en otras palabras es como abreviar el código JavaScript para que sea más fácil de leer y simplifique tareas que de otra forma tomarían muchas más líneas de código.

*CSS 2.1:* Es un lenguaje de estilos que permite darle forma a la página, desde los colores que se eligen, hasta la posición de elementos HTML, CSS puede ser controlado también desde JavaScript, permitiendo modificar estilos de la página de acuerdo a eventos o a funciones definidas por el usuario.

*PHP 7:* es un lenguaje que se ejecuta en el servidor, para la página web desarrollada se ocupó para la conexión con la base de datos, esta conexión depende de datos que se mandan a través de JavaScript o en algunos casos usando AJAX, lo cual permite ejecutar llamadas a la base de datos de manera asíncrona mientras el usuario realiza otras tareas.

*Bootstrap 3.1.1:* Es una librería escrita en CSS que nos permite crear diseños híbridos que funcionan desde cualquier navegador web, ya sea móvil o de escritorio, esta librería puede ser modificada de acuerdo a las necesidades del proyecto, pero cuenta con funciones definidas que se pueden ocupar para generar vistas genéricas.

*MySQLi 7:* es una librería de PHP que permite crear una conexión con la base de datos, además, en conjunto con PHP y JavaScript permite generar "query's" que sirven para mostrar información específica en la base de datos que serán después devueltas a PHP y por último a JavaScript para que los datos sean mostrados en pantalla.

*Base de datos:* Para evitar que el tamaño de la base de datos creciera demasiado, se utilizó la estrategia de almacenar las imágenes directamente en el servidor y, en la base de datos, guardar únicamente la ruta correspondiente a cada una de ellas. La versión utilizada de MySQL fue la 5.7.33, y de phpMyAdmin la 4.9.5, de la cual su interfaz se muestra en la Figura 3.

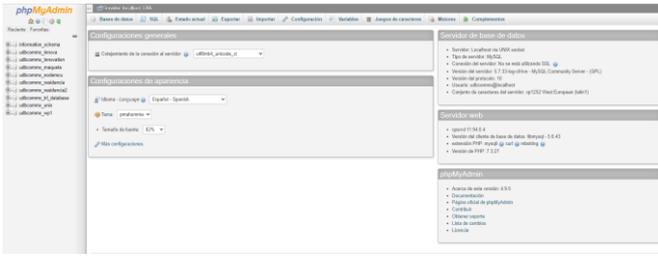


Figura 3: Interfaz de phpMyAdmin.



Figura 5: Imagen 360° fuera de un edificio.

5. Resultados

En esta sección, se describen los resultados obtenidos de la parte digital y física que conforman este proyecto, a partir del uso de los materiales previamente mencionados, además, la conjunción de ambas para formar el sistema ciber-físico y finalmente las partes de la maqueta que pueden ser modificadas para experimentar con las tecnologías de la misma.

Es importante señalar que la maqueta únicamente presenta tres edificios del plantel, con un total de 25 áreas, por lo que, tanto el recorrido virtual como la plataforma en la nube, de igual manera cubren solamente esto.

5.1. Parte digital

Recorrido Virtual

Para los recorridos virtuales, se tomaron 25 fotografías de las áreas ubicadas en el edificio A, C y el polideportivo de la institución, además, fueron tomadas imágenes 360°, la cuales se construyeron haciendo 31 capturas contiguas con la cámara, lo que permite observar un área con mayor detalle y así, mejorar la experiencia del usuario. De igual forma se realizaron otras 20 fotografías, también en 360°, para los pasillos y entradas a los edificios, con el fin de poder identificar con facilidad las ubicaciones de los sitios presentados. Posteriormente, en la plataforma DiveIn Studio se creó un nuevo recorrido virtual y se le cargaron todas las imágenes 360°, conectando éstas mediante nodos para poder navegar a través de ellas. Las Figuras 4 y 5 muestran ejemplos de las imágenes construidas.



Figura 4: Imagen 360° de un área dentro de un edificio.

Plataforma en la nube

Para la elaboración de la plataforma en la nube, se diseñó y desarrolló un sitio web, junto con una base de datos, los cuales están hospedados en el host de la institución y es posible acceder a éste mediante el siguiente enlace: <http://maqueta-i40.itesa.edu.mx/>

La base de datos se construyó mediante el modelo relacional, elaborando un total de 7 tablas, tal como se ve en la Figura 6, las cuales se nombraron como edificios, áreas, carreras, personas, docentes, tipo\_carrera y puesto, siendo estas dos últimas complementarias, la primera para carreras y la segunda tanto para la tabla de personas1 como para la tabla de docentes.

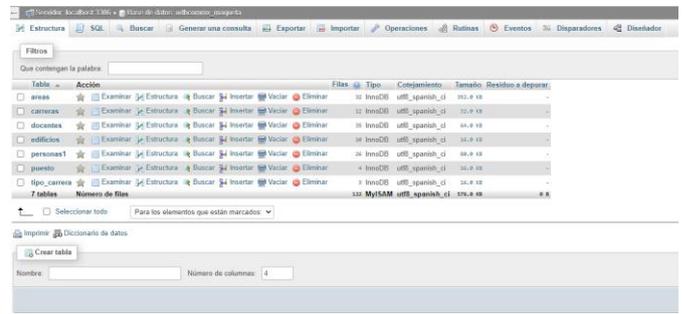


Figura 6: Tablas de la base de datos.

Posteriormente, se estableció la integridad referencial para facilitar el manejo de la base de datos, de forma que, al momento de modificar o realizar consultas, se realice de forma consistente y eficiente. La Figura 7 muestra el diagrama relacional, construido.

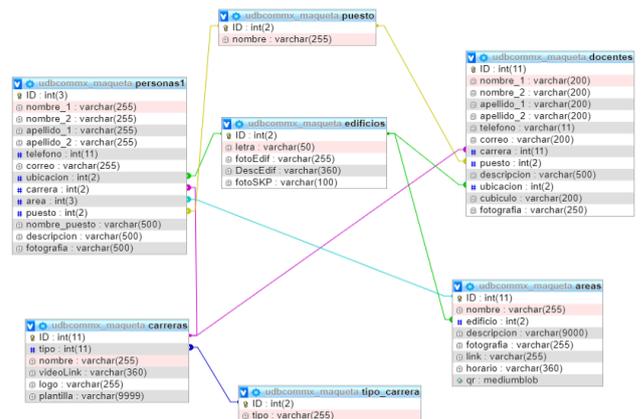


Figura 7: Diagrama relacional.

El sitio web desarrollado contiene varias páginas que, a través de consultas realizadas a la base de datos, dan a conocer al usuario información sobre el plantel. Estas secciones se describen a continuación.

**Página de inicio:** Aquí se muestran datos generales sobre el proyecto, como el responsable, los participantes, la convocatoria y los detalles del mismo. De igual manera, contiene un carrusel con información adicional. Por último, por medio de una barra superior, podemos navegar por el sitio web y hacer búsquedas por área, carrera o edificio. Todo esto se observa en la Figura 8.



**Figura 8: Página de inicio.**

**Búsqueda por áreas:** Por medio de ésta, es posible buscar, usando una barra lateral desplegable, cada área que se encuentre en los edificios y obtener como resultado la información del área, el encargado, el horario de atención, y una fotografía del lugar, en donde al dar click en la fotografía, se accede al recorrido virtual, mostrando una imagen 360° de la ubicación, con el fin de tener una perspectiva de ésta en primera persona. La Figura 9 muestra el área de dirección general como resultado de este tipo de búsqueda.



**Figura 9: Búsqueda por áreas.**

**Búsqueda por carreras:** Si lo que se requiere es realizar una búsqueda de las carreras de la institución, en esta página, Figura 10, nuevamente mediante el uso de una barra lateral, se mostrará la lista completa de los programas educativos y al seleccionar alguno, se despliegan sus datos, como su personal y docentes, además de un video informativo sobre el mismo.



**Figura 10: Búsqueda por carreras.**

**Búsqueda por edificios:** En esta sección del portal se puede ver información acerca de cada uno de los edificios que componen el plantel, teniendo por el momento solo datos del edificio A y C, mostrando el primero de éstos en la figura 11. Al seleccionar un elemento de la lista desplegable, se muestra una imagen del edificio, modelado en la maqueta, y las áreas que se

encuentran ahí, además, de igual forma que en la página de áreas, se presenta un recorrido virtual del edificio por la parte exterior.



**Figura 11: Búsqueda por edificios.**

**Búsqueda por nombre:** De forma adicional a las búsquedas descritas antes, es posible también hacer una búsqueda avanzada por medio del recuadro “Buscar por nombre”, con el cual se puede obtener la información de una persona específica. En la Figura 12 se observa cómo, al escribir una parte del nombre, se enlistan posibles opciones de manera automática.



**Figura 12: Búsqueda avanzada.**

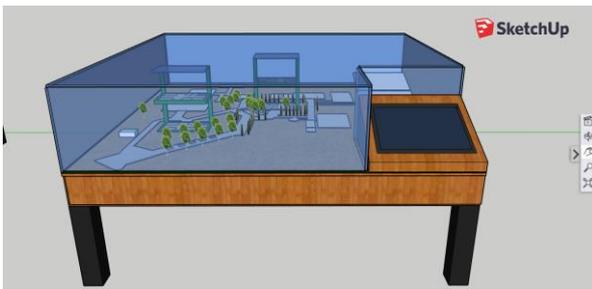
5.2. Parte física

Modelado de la maqueta

La maqueta fue elaborada a partir de un modelo realizado en SketchUp; la primera versión de éste, que se observa en la Figura 13, fue hecho tomando como apoyo Google Maps con el fin de sacar un plano del área del plantel, de forma que fuera posible calcar a escala la distribución de los edificios, para posteriormente llevarlo a una construcción 3D. Posteriormente, se agregó al diseño la mesa junto con el panel táctil, además, se modificaron la apariencia de los edificios a mostrar y se añadieron detalles estéticos, tal como se muestra en la Figura 14.



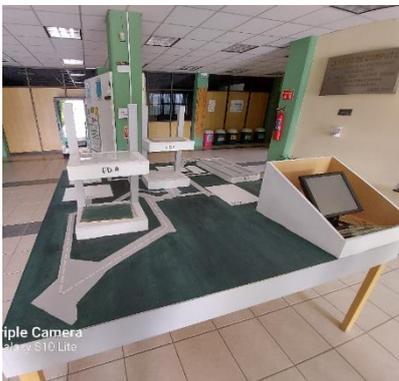
**Figura 13: Primera versión del plano en SketchUp.**



**Figura 14: Diseño final en SketchUp.**

### *Construcción física de la maqueta*

La construcción física de la maqueta se muestra en la Figura 15, donde se observa la elaboración de una mesa de madera, en la que se ubican 2 edificios, más lo que corresponde al polideportivo, además de contar con un compartimiento para la pantalla táctil.



**Figura 15: Maqueta física construida.**

La visualización de un edificio en la maqueta se presenta en la Figura 16, el propósito de su diseño es permitir observar el interior del primer piso como en el segundo, de forma que, pueda observarse la iluminación de un área específica en alguno de los pisos del edificio al momento de ser consultado desde el portal web.

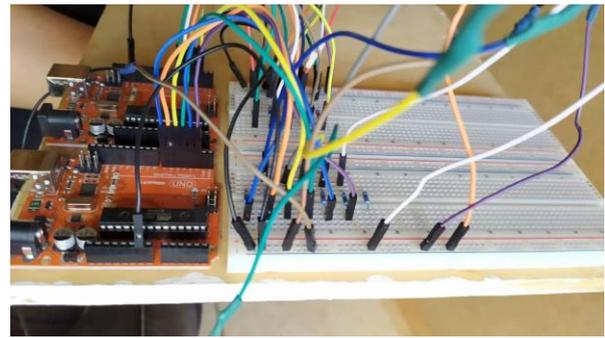


**Figura 16: Edificio en la maqueta.**

### *Componentes electrónicos de la maqueta*

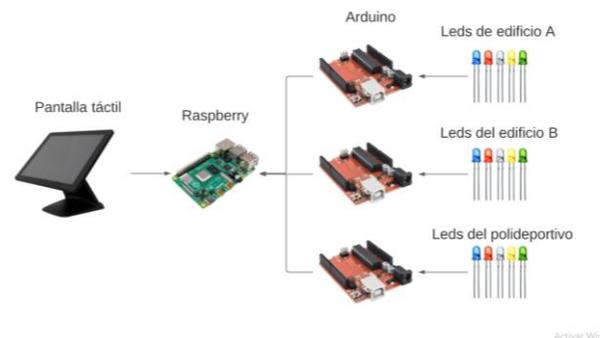
Se construyó un circuito que interconecta todos los materiales electrónicos, siendo la Raspberry el componente digital principal que permite interactuar con la maqueta física y el portal web, por lo que, tanto la pantalla como los Arduino están conectados a ésta. Finalmente, se instalaron 25 leds en los edificios de la maqueta,

uno por cada área, y estos se conectaron a los Arduino, tal como se ve en la Figura 17.



**Figura 17: Conexiones entre Arduinos y LEDs.**

La Figura 18 muestra un diagrama de las interconexiones de los componentes electrónicos de la maqueta, como se observa el panel táctil se conecta a la Raspberry, por medio de un cable VGA y otro USB, esto con el fin de mostrar en pantalla la plataforma digital; de igual manera se conectaron, a través cables USB, tres Arduino programados a la Raspberry, teniendo cada uno como objetivo, controlar el encendido y apagado de las luces de un solo edificio, todos los leds de un mismo edificio se conectan a un solo Arduino, y cada led fue colocado en cada una de las ubicaciones de las áreas de un edificio, de modo que, al encender algún led, se muestra al usuario su localización en la maqueta.



**Figura 18: Diagrama de la interconexión electrónica de la maqueta.**

En resumen, el funcionamiento del circuito es el siguiente: primero, por medio de la pantalla táctil, el usuario escoge un área que desea conocer, la Raspberry envía la información al Arduino asignado al edificio del área seleccionada y, por último, éste enciende el led correspondiente en la maqueta física.

### *5.3. Sistema Ciber-físico (Interacción parte física y digital)*

A continuación, se describe el modo en que interactúan la parte física y la parte lógica, lo que da lugar al sistema ciber-físico construido.

Como se ha comentado existe una conexión USB entre la Raspberry y los Arduinos de la parte física de la maqueta, por medio de dicha conexión se puede ordenar que un Arduino encienda o apague un LED, cabe señalar que cada arduino controla un edificio específico de la maqueta (Edificio A, Edificio C o Auditorio), y que en cada edificio se tienen diferentes áreas, cada una de ellas se iluminara por medio de un led.

El código de programación de un Arduino permite controlar que LEDs se encienden y cuáles no, a través del envío de señales de encendido o apagado en los pines de salida del Arduino, cabe

señalar que para establecer la interacción e intercambio de información entre la Raspberry y el Arduino se envían caracteres desde la Raspberry, donde un carácter representa un área específica que quiere ser encendida en la maqueta. El arduino recibe dicho carácter, identifica a que led corresponde y enciende dicho led físicamente en la maqueta. La Figura 19 muestra el código que permite realizar esta acción.

```
void encender_led(String input) {
  if(input == "A"){
    if(HIGH == digitalRead(2)){
      digitalWrite(2, LOW);
    }else{
      digitalWrite(2, HIGH);
    }
  }
}
```

**Figura 19: Fragmento del código para encender el led que ilumina un área en el edificio A.**

Por otro lado, desde la pantalla táctil se puede interactuar con un navegador web, que esta previamente instalado como parte del sistema operativo de la Raspberry, para ingresar a la página web de la parte digital de la maqueta.

Finalmente, a través del uso de Selenium, podemos administrar la información del navegador web de la Raspberry (Chromium), esto es, podemos leer datos de dicho navegador, específicamente, podemos obtener un identificador del enlace o botones dentro de una página web que fueron presionados, es decir, podemos saber qué área se quiere encender en la maqueta al obtener un identificador de dicha área (un carácter) y enviar dicho identificador al Arduino correspondiente para que se encienda el led asociado a dicha área. La Figura 20 muestra el código que permite realizar dicha acción.

```
from selenium import webdriver
import time
import serial

def create_web_driver():
    driver = webdriver.Chrome('/usr/lib/chromium-browser/chromedriver')
    return driver

driver = create_web_driver()
driver.get("http://maqueta.udb-innovatech.com.mx/")
```

**Figura 20: Fragmento del código que permite obtener información de una página web.**

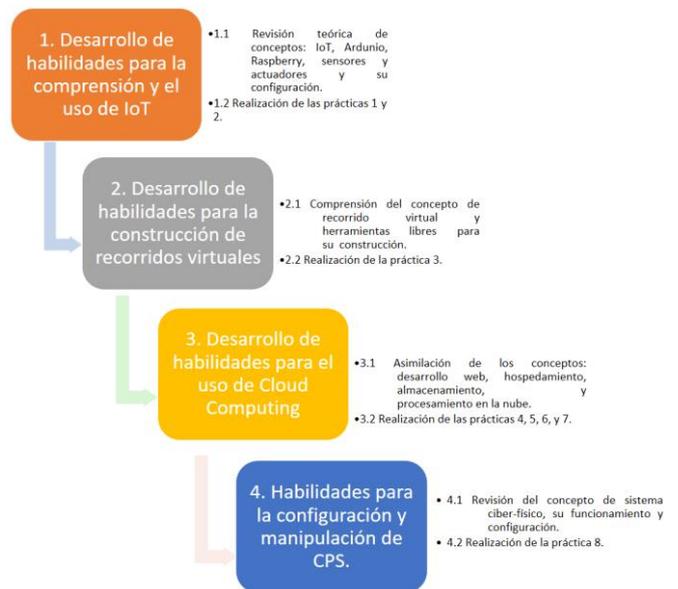
#### 5.4. Estrategias de enseñanza-aprendizaje de sistemas ciber-físicos

Derivado del desarrollo de este proyecto y de acuerdo a las experiencias reportadas por los estudiantes que apoyaron en la elaboración del mismo, así como la experiencia docente del responsable del proyecto, se plantean diferentes prácticas de acompañamiento y refuerzo que pueden complementar el proceso de enseñanza-aprendizaje para el desarrollo y uso de sistemas ciber-físicos. Dichas prácticas forman parte de una metodología (Figura 21) propuesta como medio de enseñanza-aprendizaje de las tecnologías implementadas en un sistema ciber-físico.

A continuación, se listan las prácticas con más detalle:

##### Parte física

Habilidades para el Internet de las Cosas (IoT):



**Figura 21: Metodología propuesta como estrategia de enseñanza aprendizaje.**

Práctica 1:

Construir un nuevo edificio de acuerdo con las características y funcionalidades de los ya existentes en la maqueta, esto incluye, construcción física del edificio, cableado de leds y conexión del mismo con una tarjeta Arduino, así como la configuración de la misma para la comunicación con la tarjeta Raspberry.

Práctica 2:

Cambios a la configuración física de los edificios existentes en la maqueta, como agregar o quitar leds, para considerar nuevas áreas o el cambio de ubicación de las mismas, así como la modificación de la configuración de la tarjeta Arduino que las controla.

Con las prácticas anteriores, los estudiantes obtendrán experiencia en la manipulación y configuración de los componentes físicos de un sistema de IoT.

##### Parte digital

Habilidades para el desarrollo de recorridos virtuales:

Práctica 3:

Crear nuevos recorridos virtuales, los cuales sustituyan a los ya existentes buscando mejorar la experiencia del usuario, para ello se deberán de agregar más imágenes, por medio del software de GCam o utilizando Street View, para posteriormente añadirlas como nodos en el proyecto de DiveIn Studio, o incluso probar otras herramientas similares.

Habilidades para el uso de cloud computing:

Práctica 4:

Construir nuevos módulos en la plataforma en la nube, que correspondan a las áreas de un nuevo edificio, para ello se deberá de modificar tanto la base de datos como agregar nueva programación en PHP y JavaScript.

Práctica 5:

Modificar o extender los tipos de búsqueda ya existentes, de acuerdo algún nuevo requerimiento por parte de la institución y

lo cual implica nuevamente modificar tanto la base de datos como la programación hecha en PHP y JavaScript.

#### Práctica 6:

Incluir nueva información o modificar de la información existente en el portal, como cambio de diseño, información de contacto, etc. lo que involucra la modificación de la programación de en PHP del sistema web.

#### Práctica 7:

Desarrollo de módulos de recolección de información de uso del sistema web, y almacenamiento de dicha información en el servidor que hospeda al sistema para permitir posteriormente exportar la información o incluso analizarla en tiempo real y generar reportes que permitan mejorar la funcionalidad del sistema, esta práctica en específico tiene que ver con el manejo de información transaccional que pueda caer en temas de Big Data.

### *Sistema Ciber-físico*

Habilidades para la configuración y manipulación de CPS.

#### Práctica 8:

Modificar la interacción entre hardware y software, esto implica la modificación de la configuración física y lógica de la tarjeta Raspberry, debido a que es quien coordina el sistema ciber-físico. La modificación de la programación de esta tarjeta permitirá transformar el comportamiento del hardware (sistema de leds) de acuerdo a la interacción que se realice en el software (plataforma en la nube), esto implica la modificación de Selenium, el cual permite administrar el navegador web para obtener datos de él.

Las prácticas propuestas en este trabajo permiten la experimentación y prueba, por parte de los estudiantes, de las tecnologías implementadas en el sistema ciber-físico construido, en lugar de solo conocer de manera teoría en lo que consiste cada una de ellas, promoviendo con ello la generación de las habilidades específicas para la I4.0 que se está demandando hoy en día.

## 6. Conclusiones

Unos de los principales objetivos del proyecto, era elaborar un sistema ciber-físico para uso didáctico, esto se alcanzó con el desarrollo de la maqueta I4.0, la cual como se ha descrito, contiene un prototipo físico, una parte digital y la comunicación que se da entre ambas partes, la maqueta, permite la interactividad con el usuario final cuando éste manipula la plataforma digital, proporcionando información de la institución tanto virtual como físicamente.

Las tecnologías que integran al sistema ciber-físico construido, son el Internet de las cosas (IoT), el cómputo en la nube y los recorridos virtuales, los cuales forman parte primordial en un sistema ciber-físico, sobre todo el componente de la nube, debido a que este permitirá el uso compartido de la maqueta cuando varios estudiantes tienen que trabajar con ella y la limitación de tiempo en el uso de la herramienta debido a que está accesible vía internet en el momento que se requiera. Finalmente, con el uso del IoT, implementado con tarjetas de desarrollo académicas, sensores y actuadores, es posible extender y modificar el comportamiento del hardware de una manera sencilla por parte de los estudiantes y les permite experimentar con esta tecnología que cada vez se demanda más en la industria.

A partir de una prueba de concepto realizada a través de una encuesta en línea, aplicada a 33 estudiantes, se determinó la

necesidad del desarrollo y uso sistemas ciber-físicos por los estudiantes para familiarizarse con la teoría y más aun con la práctica de diferentes tecnologías que engloba la Industria 4.0. Además, a partir de la experiencia obtenida en el desarrollo de este proyecto se han identificado y propuesto diferentes prácticas que permiten a los estudiantes, por medio de la manipulación de la configuración del sistema ciber-físico, tanto en la parte física como en la digital, aprender sobre las tecnologías previamente mencionadas y prepararse para el ambiente laboral actual. Dichas prácticas se integran en una propuesta de metodología que puede utilizarse como estrategia de enseñanza-aprendizaje para los estudiantes de las IES.

Cabe señalar, que de momento no se han podido realizar pruebas de funcionalidad de la maqueta, y, por ende, tampoco de las prácticas propuestas, debido a que el proyecto se está concluyendo y de momento los únicos que ha podido interactuar con la maqueta han sido los alumnos responsables del desarrollo de la misma, ellos comentan que existe un desconocimiento sobre las tecnologías que envuelven a la Industria 4.0, así como el funcionamiento e implementación de las mismas, y consideran necesario ir agregando a la currícula de los planes educativos de las IES, asignaturas o temas que describan esta nueva revolución industrial y las tecnologías habilitadoras.

Debido a lo anterior y a la contingencia por COVID-19 queda como trabajo futuro, la realización de pruebas funcionales de la maqueta, así como de evaluación de la efectividad de las prácticas propuestas en este trabajo, en asignaturas piloto como: Sistemas programables, Computación en la nube, e Integración de tecnologías de cómputo. Y aún más, el diseño de cursos o temas de algún curso donde se aborde el estudio de sistemas ciber-físicos en los que se utilice la maqueta como un medio para la enseñanza y el aprendizaje.

Finalmente, y de igual modo como trabajo futuro, se considera colocar el diseño conceptual, funcional y los códigos de software del proyecto en un repositorio público de GitHub, para explorar esta perspectiva del Cloud Computing en la gestión y colaboración en equipos de trabajo.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias al financiamiento otorgado por la Convocatoria Proyectos de Desarrollo Científico e Innovación para Estudiantes del Tecnológico Nacional de México para el proyecto “Maqueta interactiva I4.0” con clave: 9514.20-PD.

De igual modo se reconoce el esfuerzo conjunto entre los participantes del proyecto y las autoridades de la institución beneficiada para la elaboración del trabajo durante las limitaciones propiciadas por la contingencia por COVID-19.

## Referencias

- Berrio, S. (23 de enero de 2020). *RECORRIDO VIRTUAL (QUÉ ES)*. Espacio BIM. <https://www.espaciobim.com/recorrido-virtual>
- Campos, D. U. (2018). ¿Qué son los sistemas ciberfísicos? *Universitarios Potosinos*, 224, 36-37.
- Evans, D. (2011). *Internet de las cosas Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo*. Cisco.
- Festo Didactic SE (2015). *Industry 4.0 Qualification for the factory of the future [Industria 4.0 Cualificación para la fábrica del futuro][Folleto]*. Denkendorf, Alemania.
- Holgado-Terriza, J.A. (2016). Diseño de la maqueta domótica para el aprendizaje de sistemas de automatización domótica. *Enseñanza y Aprendizaje de Ingeniería de Computadores*, 6, 103-115.

- ISOTools. (11 de mayo de 2018). *Industria Conectada 4.0 y la automatización*. ISOTools Excellence. <https://www.isotools.org/2018/05/11/industria-conectada-4-0/>
- Montañés, J. A. (26 de marzo de 2011). Nace la maqueta virtual de Barcelona. *El País*. [https://elpais.com/diario/2011/03/27/catalunya/1301191644\\_850215.html](https://elpais.com/diario/2011/03/27/catalunya/1301191644_850215.html)
- Pool CEO. (11 de agosto de 2019). *Startups mexicanas desarrollan soluciones con ayuda de la realidad virtual*. El CEO. <https://elceo.com/tecnologia/startups-mexicanas-que-trabajan-con-realidad-virtual/>
- Rivera, N. (11 de septiembre de 2015). *Explicación sencilla del Cloud Computing e Internet de las Cosas*. Hipertextual. <https://hipertextual.com/2015/09/cloud-computing>
- Unique Advanced Technologies. (9 de julio de 2015). *INTERACTIVE MODEL – IMODEL MEDIA TABLE [MODELO INTERACTIVO - MESA DE MEDIOS IMODEL]*. Unique AT. <https://uniqueat.com/2015/07/09/interactive-scale-model/>
- Wynne-Owen, S. (28 de mayo de 2014). *Our brand new interactive City Model wows visitors [Nuestro nuevo modelo de ciudad interactivo llama la atención de los visitantes]*. Modelmakers UK. <https://www.modelmakers-uk.co.uk/recent-projects/post/Interactive-city-model.aspx>