

# Requirements for hybrid laboratories in Manufacturing Engineering

José Divitt Velosa-García <sup>a</sup>, Fernando José Castillo-García <sup>b</sup>, Eva Espíldora <sup>b</sup> & Luis Cobo <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad EAN, Bogotá, Colombia. [jvelosa@universidadean.edu.co](mailto:jvelosa@universidadean.edu.co), [lacobo@universidadean.edu.co](mailto:lacobo@universidadean.edu.co)

<sup>b</sup> Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Castilla-La Mancha, España. [fernando.castillo@uclm.es](mailto:fernando.castillo@uclm.es), [Eva.Espildora@uclm.es](mailto:Eva.Espildora@uclm.es)

Received: December 10<sup>th</sup>, 2016. Received in revised form: August 23<sup>th</sup>, 2017. Accepted: September 19<sup>th</sup>, 2017

## Abstract

The article presents a proposal for a combination of laboratories in engineering, called hybrid laboratories (LH, for its acronym in Spanish), that is, a mixture of face-to-face (HO), virtual local (LV) and remote (LR) laboratories. To exemplify this proposal was developed a module for teaching processes in manufacturing (CNC machining). From this study we propose the generic characteristics of design, structure and the way of incorporation in a general system. The laboratory experiences are developed through a methodology supported by the tool 'Deployment of the Quality Function (QFD)'. The characteristics found in these LH laboratories are the basis for a possible general, replicable and scalable modular structure in a flexible laboratory practice development system.

**Keywords:** On-line laboratory characteristics; Hybrid laboratories; Education for manufacturing.

# Requerimientos para laboratorios híbridos en Ingeniería de Manufactura

## Resumen

El artículo presenta una propuesta de combinación de laboratorios en ingeniería, denominada laboratorios híbridos (LH), esto es, una mezcla de laboratorios presenciales (HO), virtuales local (LV) y remotos (LR). Para ejemplificarlos esta propuesta se desarrolló un módulo para la enseñanza de procesos en manufactura (mecanizado CNC). A partir de este estudio se proponen las características genéricas de diseño, estructura y la forma de incorporación en un sistema general. Las experiencias de laboratorio se desarrollan por medio de una metodología apoyada en la herramienta 'Despliegue de la Función Calidad (QFD en inglés)'. Las características encontradas de estos laboratorios LH, son la base para una posible estructura modular general, replicable y escalable, en un sistema flexible de desarrollo de prácticas de laboratorio.

**Palabras clave:** características de laboratorios On-line; Laboratorios híbridos; Educación para manufactura.

## 1. Introducción

La tecnología incorporada en la maquinaria industrial ha venido avanzando rápidamente y necesita de profesionales con habilidades y conocimientos especializados que puedan sacar los mejores beneficios de su implementación [1]. Particularmente en ingeniería los procesos de enseñanza deben ir acompañados de prácticas de laboratorio pertinente a esas habilidades [2].

El avance tecnológico de los últimos años hace posible pensar que nuevas metodologías de formación pueden aprovechar el uso de los diferentes tipos de laboratorios para realizar prácticas de manufactura. Sin embargo la selección

de un tipo de laboratorio estará determinada por las características y las posibilidades que brinda a los actores involucrados en su uso.

El objetivo del artículo es enseñar una metodología flexible para el desarrollo de laboratorios LH, conforme a las necesidades de los actores involucrados y potencializar su uso. Las carencias de la literatura tanto en este tipo de experiencias como en el área propuesta, hace que la investigación, sea un punto de partida para otros estudios. Para ello, se presenta el resultado de un prototipo de laboratorio modular CNC. Inicialmente se hace una breve síntesis de los tipos de laboratorio basado en el lugar donde se hace la experimentación. Luego para convertir los requerimientos de los actores en especificaciones se hace uso de

QFD de forma sistemática. Para finalmente, describir las consideraciones en diferentes aspectos de un sistema modular LH.

## 2. Tipos de laboratorios en ingeniería

Existen diferentes formas de clasificar los laboratorios para ingeniería, ya sea desde su área de formación [3], tecnologías involucradas; convencionales, asistidas por computador [4], y objetivo educacional [5,6].

Sin embargo la clasificación más adoptada por diferentes autores, [7] es la que relaciona los lugares donde se realiza la experimentación y el lugar donde se encuentra el experimentador.

Para evidenciar la caracterización de los diferentes tipos de laboratorios, se ha tomado el trabajo desarrollado en la Universidad Castilla LaMancha (UCLM) de España y La Universidad EAN en Colombia. El ejercicio se concentró en el proceso de mecanizado CNC, ya que por las características puede ser abordado desde diferentes niveles de desarrollo. Además los procesos han sido acompañados con la experimentación de estudiantes de ambas instituciones; para la UCLM ingenieros Industriales y la EAN con ingenieros de Producción.

El tema central es el diseño y ejecución de programas de mecanizado CNC g-code, utilizando estrategias de diseño de procesos CAD/CAM. Las experiencias se desarrollaron simultáneamente en un periodo académico con los dos grupos ubicados en localizaciones geográficas diferentes, horarios diferentes y docentes diferentes.

Según el profesor Dormido [8] podemos clasificar en cuatro entornos diferentes los laboratorios básicos: **Acceso local-recurso real:** en este caso tanto el equipo como el usuario se encuentran en el mismo espacio físico de trabajo. También es conocido como *Hands-On, Fase-to- Fase*, convencional o simplemente presencial.

En la Fig. 1, se muestra una estación típica de enseñanza CNC. Los usuarios tienen todo el control directamente desde el PC, y su intención es principalmente la formación en el proceso de mecanizado.

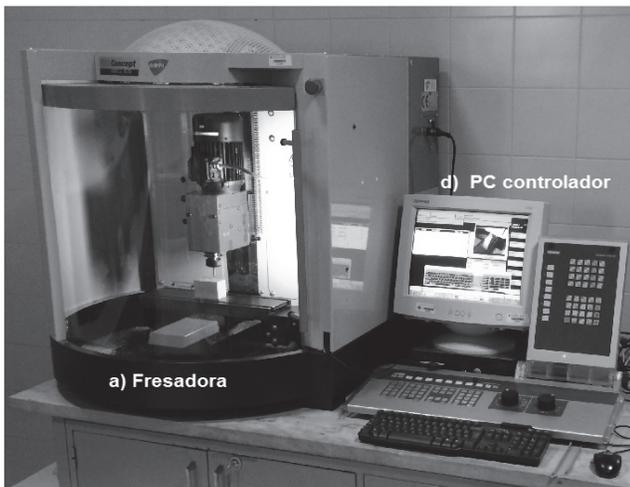


Figura 1. Máquina Fresadora en la estación Hans-On a. Máquina Fresadora b. PC. Controlador conectado a la fresa por RJ45

Fuente: Los autores

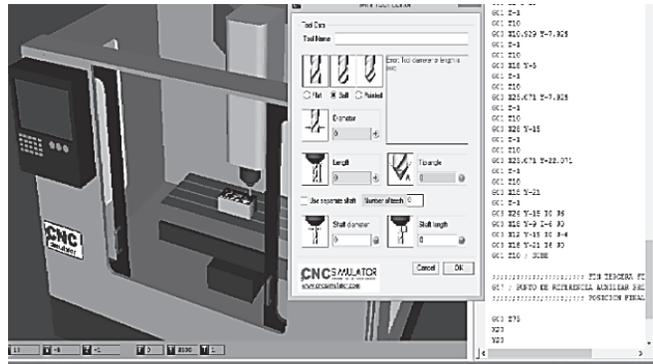


Figura 2. Software de simulación CNC Simulator ®. En este tipo de programa se puede reproducir tanto el código utilizado, la parametrización de piezas y parte.

Fuente: Los autores

**Acceso local - recurso simulado:** este tipo de arreglo del proceso de mecanizado lo simula un software que se instala en el computador del usuario. Esto facilita la verificación de características y acelera los tiempos de instrucción.

En la Fig. 2, se observa el panel principal del software y la parametrización con los datos reales de máquina. Una de las ventajas de este método es que el código es análogo al utilizado en a máquina real evitando reconfiguraciones.

**Acceso remoto - recurso simulado:** con el avance de las Tecnologías de Información y Comunicación TIC's es posible realizar simulaciones en servidores ubicados en la Internet. La Fig. 3, muestra el ambiente de trabajo para la generación del código g-code y la simulación de su recorrido, en un aplicativo online, <http://www.microtechstelladata.com/OnlineTools.aspx>

El usuario puede acceder al programa independiente del lugar donde se encuentre, solo requiere una conexión a internet y un navegador estándar. No requiere descargar aplicativos ni software especializado.

**Acceso remoto - recurso real:** este tipo de laboratorio combina el uso de interfaz del computador con el uso real de un equipo. El usuario debe tener un medio de conexión remota al equipo, siendo lo más común la Internet, luego de constatar el nivel de seguridad y facilitar las instrucciones el equipo puede ser operado. La Fig. 4, muestra la disposición de la pantalla del lado del usuario al tele-operar.

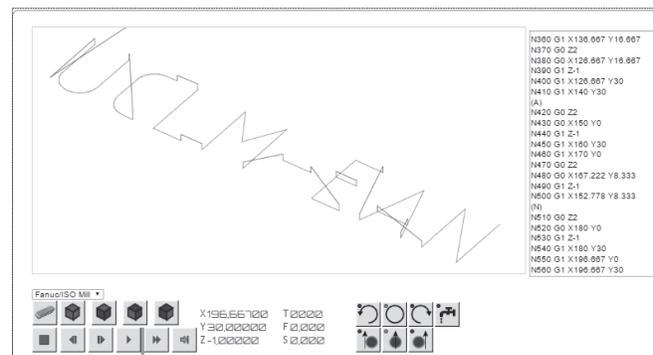


Figura 3. Software de simulación On-line MicroTech StellaData ®. Se muestra tanto el código anteriormente generado como los movimientos e instrucciones misceláneas importantes.

Fuente: Los autores



Figura 4. Acceso remoto al software de la máquina utilizando un software VNC libre.

Fuente: Los autores

Para facilitar el uso del equipo CNC, es necesario realizar varias operaciones de autenticación, verificación de recorridos y acceso. Se utilizan dos cámaras; una WEB y una IP de respaldo, para mejorar la percepción y seguridad.

Cada uno de los cuatro tipos de laboratorios básicos tiene ventajas particulares. Sin embargo la combinación de estrategias, recursos, equipos y recursos potencializa los procesos de formación, para ello es necesario realizar una unión o mezcla de forma coherente.

### 2.1. Definición de laboratorio híbrido

Los laboratorios híbridos pueden tener varias motivaciones para su conformación. Primero: con el fin de ayudar al proceso de aprendizaje en el diseño, esto es ir desde la teoría hasta la experimentación real. Segundo: la necesidad de apoyar las modalidades de formación presencial y virtual frente a las competencias que requiere cada profesión sin necesidad de tener que adquirir más equipos. Tercero: brindar servicios a otras instituciones o actores facilitando equipos de alto costo para que fueran alquilados por un periodo de tiempo y finalmente con el desarrollo de las TIC's aumentar la inmersión y las experiencias para los procesos de formación a los diferentes modos de aprendizaje

Existen diferentes definiciones de laboratorios híbridos. Algunas de ellas buscan con la implementación de los laboratorios híbridos brindar a los estudiantes un ambiente muy cercano o el mismo con los equipos y sistemas que se trabaja industrialmente, con el fin que las competencias sean acordes con el contexto tecnológico existente [3].

Un laboratorio híbrido es un laboratorio que combina laboratorio virtual y tecnologías de laboratorio remoto [9]. Los laboratorios de tipo mixto engloban una combinación de los laboratorios para experimentación física presencial y de los laboratorios de tipo virtual [10]. Laboratorios On-line híbridos proporcionan ambos experimentos remotos en modelos reales electromecánicas (sistemas físicos) en el laboratorio remoto, así como los modelos de simulación de estos sistemas físicos en los laboratorios virtuales [3].

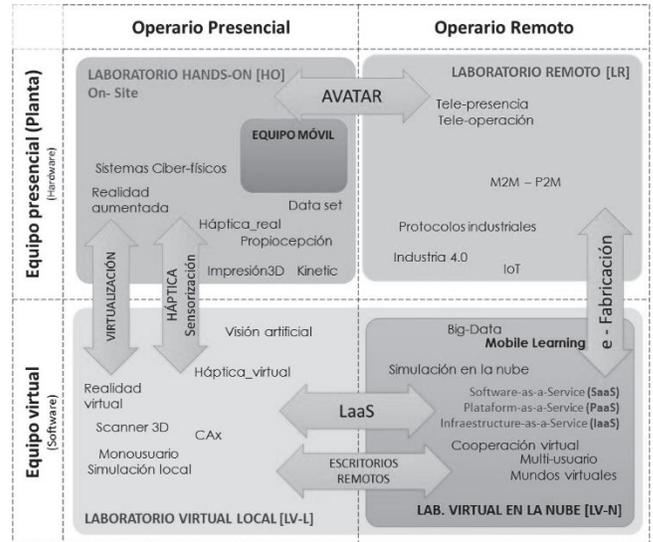


Figura 5. Panorama General de los diferentes tipos de laboratorios. Incluidos las tipologías híbridas.

Fuente: Los autores

Basado en ello se puede decir que existen dos tipos de concepción de un laboratorio híbrido; la primera es la posibilidad que el usuario o el gestor del laboratorio pueda hacer la elección del tipo de experiencia que quiere hacer bajo ciertas características y el segundo define al laboratorio híbrido como la combinación de recursos, estrategias y sistemas buscando sinergias y eficiencia de los recursos. La Fig. 5 muestra un la clasificación y elementos que pueden ser combinados para desarrollar LH.

### 3. Configuración de algunos tipos laboratorios híbridos

La mezcla de componentes en un laboratorio híbrido es una estrategia ideal para potencializar lo mejor de cada uno, adaptarse a los diferentes usos y necesidades, y en especial, canalizar las diferentes experiencias que se han realizado previamente para dar continuidad al proceso de buenas prácticas. Sin embargo esto implica un reto ya que no todas las tecnologías son compatibles o se pueden llevar a este tipo de ambientes. Se espera que con los desarrollos derivados de la mejora de las redes de comunicación, los dispositivos móviles y el desarrollo de *Cloud Computing* estas dificultades sean más fáciles de sortear.

Del trabajo realizado por Zutin [9], se menciona dos tipologías básicas de laboratorios híbridos; las locales y los Online, Zapata [11] complementa este trabajo involucrando el componente móvil y caracteriza ocho diferentes tipos de combinaciones. La propuesta es la combinación directa entre laboratorios de los cuatro tipos básicos y así generar seis tipologías estándar.

**H1: laboratorio HO con recursos remotos:** este tipo de laboratorio es conceptualmente un laboratorio remoto pero utiliza recursos físicos para complementar acciones que no facilita directamente la estación Hands-On

La estructura AVATAR\_a brinda los recursos que no siempre tiene la estación que se está controlando directamente, por ejemplo; visión ampliada, sensores periféricos o iluminación. La Fig. 6, presenta la localización del Avatar\_a y la estación CNC.



Figura 6: Laboratorio H1. Contiene adicional al remoto la estructura a) AVATAR\_a que brinda servicios adicionales a la estación de Laboratorio remoto. b). La máquina tele-operada y c) El equipo de control.  
Fuente: Los autores

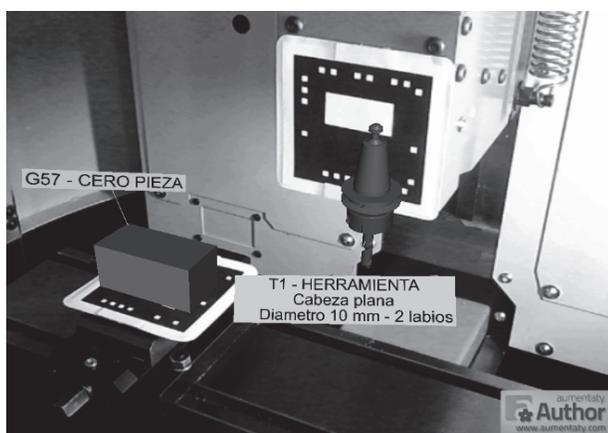


Figura 7: Vista principal del software de Realidad Aumentada en un proceso de simulación utilizando marcas sobre elementos de movimiento sobre la máquina real.  
Fuente: Los autores

## H2: Laboratorio HO con recursos virtuales Locales.

Este tipo de laboratorio utiliza recursos físicos Hands-On pero se apoya en servicios de simulación local. La Universidad Nacional de Singapur ha desarrollado varias prácticas con apoyo de la Realidad Aumentada RA en un sistema modular CAD/CAM [12]. Adicionalmente existen otras aplicaciones en procesos de entrenamiento en manufactura [13], que utilizan avatares físicos y/o virtuales.

Para el caso práctico en la UCLM se utilizó un software comercial para la realidad aumentada, la representación geométrica del husillo porta pinzas y el bloque de material a trabajar en CAD. Se desarrolló de la escena RA desde el módulo AVATAR\_a pro medio de la cámara WEB. La Fig.7, muestra la información básica para la verificación de la programación del recorrido de la herramienta.

La ventaja de esta simulación es que se puede visualizar por medio del AVATAR\_a la experiencia sin necesidad de afectar la integridad del equipo que controla la máquina CNC.

Otras posibilidades de este tipo de laboratorio híbrido es incorporar dispositivos hápticos, para validar procesos de recorridos CNC desde el CAD o desde del CAM.[14,15].

**H3:** Laboratorio virtual simulado ubicado en una máquina virtual en un servidor en la nube. Es también conocido como escritorio remoto, en donde el software se instala virtualmente. Este tipo de aplicación es derivada del concepto SaaS Software como un Servicio (del inglés: Software as a Service, SaaS) es un modelo de acceso al software donde los datos, el soporte y el ejecutor se almacenan en servidores en la nube.

**H4:** Experiencia remota con servicios en la nube; actividades de trabajo colaborativo que derivan en actividades individuales y viceversa. Un ejemplo es mostrado por [16] en el cual en un solo bus de intercomunicaciones conecta una sola plataforma de manufactura con acceso desde la estación remota de clientes en diferentes etapas del proceso. Otro caso exitoso de diseño, análisis de ingeniería y manufactura es desarrollado con una perspectiva de escalabilidad y reducción de costos [17].

Otros ejemplos comerciales de servicios en la nube son: Autodesk®, Solidworks®, ANSYS®, Simens SolidEDGE® que van desde la edición, virtualización, renderización optimización y almacenamiento desde cualquier lugar (incluidos los Smartphone) y en cualquier momento.

**H5:** Actividad de acceso remoto, que puede solicitar recursos virtuales locales como un instrumento virtual o una simulación en el equipo de soporte presencial. La Fig. 8, muestra el ambiente de simulación del lado del equipo real CNC antes de hacer la operación.

Debido a características no previstas en las simulación local, la simulación remota con el control de la máquina utilizando parámetros propios de máquina es más confiable.

**H6:** Actividad presencial Hands-On, derivada de actividad en la nube que solicita recursos o información para la manufactura fruto de un trabajo colaborativo. Plataformas CNC online propias como WebTurning [18], STEP-XML [19,20] son ejemplo de este tipo de estrategia de manufactura en mecanizado CNC donde la integración de operaciones se ejecuta en la nube pero se lleva a la realidad con ayuda de un operario.

En la literatura se encuentran referentes el uso de combinación de laboratorios y recursos en una sola estrategia de aprendizaje. Además se estudia el impacto de los diferentes

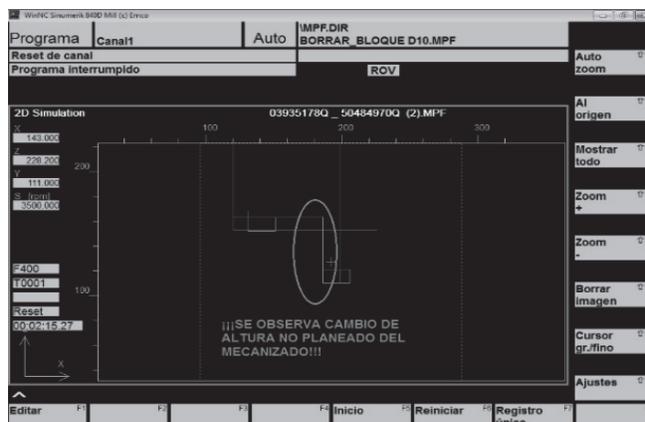


Figura 8. Simulación de recorridos en el software WinNC® Sinumerik® para la detección de errores antes de hacer un recorrido en vacío en la máquina CNC  
Fuente: Los autores

laboratorios y su grado de efectividad por diferentes métodos; la encuesta, la calificación de curso y herramientas combinadas. Sin embargo son pocos los autores que aportan procedimentalmente al desarrollar laboratorios híbridos como un proceso integral desde la misma concepción del laboratorio hasta su evaluación y disposición final. Algunos trabajos parten de requerimientos y su diseño técnico [21]. Maite desarrolla su propuesta desde un laboratorio existente, en una propuesta detallada de un laboratorio *Hands-On* a un laboratorio remoto, para prácticas en dispositivos en estado sólido [22] y otras experiencias trabajan los objetivos educacionales en el campo de las ciencias básicas [23].

#### 4. Características generales para el diseño de LH

El proceso de diseño y desarrollo tiene diversos aspectos a tener en cuenta, pero esta debe hacerse de forma ordenada y sistemática desde la concepción misma de la experiencia de laboratorio hasta su posible evaluación. En cada momento se generan requerimientos que se han de convertir en especificaciones de los componentes y características generales de las estructuras. Para la integración de los requerimientos, se optó como herramienta en ingeniería, por la cascada de matrices de Despliegue de la Función de Calidad (o QFD). La Fig. 9, se muestra los principales campos de trabajo de la QFD. La primera matriz, la casa de calidad (HOQ por sus siglas inglesas) describe las especificaciones de diseño, la segunda el diseño del producto (laboratorio) en sí, la tercera la incorporación de los sistemas (diseño del proceso) y la cuarta la propuesta de implementación y calidad. Las ventajas de esta metodología en etapas tempranas, está en dar mayor calidad en el diseño, incorporación de muchos requerimientos, menor costo, disminución en el tiempo de implementación, y utilizar el benchmarking como medio de comparación con otras propuestas [24]. Cada salida de especificaciones de una matriz es la entrada de requerimientos de la próxima como se observa en la Fig.10.

La parte fundamental de la cascada de matrices está en el desarrollo de ponderaciones de especificaciones y relacionamientos entre variables. Para ello se utiliza una matriz con seis campos.

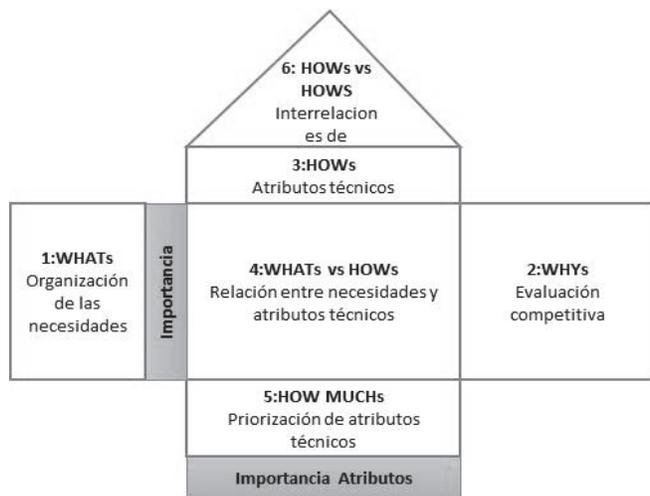


Figura 9. La matriz QFD, agrupada en un mismo grafo; áreas, matrices y vectores que facilitan la integración de principios de diseño conceptual. Fuente: Los autores

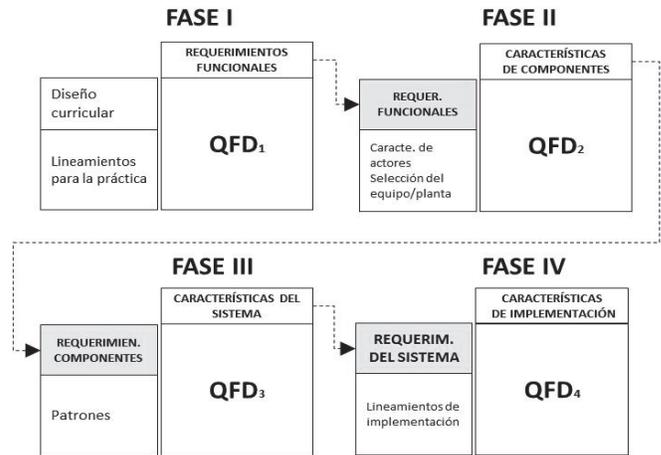


Figura 10. Conexión entre Matrices QFD. Fuente: Los autores

Tabla 1. Elementos QFD1

	Fuente de requerimientos	Producto
Diseño curricular	Referentes de formación en el área [SME]	• Objetivos el laboratorio
	Acreditación de programas [ABET]	• Actividades esperados
	Estrategias pedagógicas	• Perfil de usuarios
Lineamientos para la práctica	Uso	
	Acreditadores	

Fuente: Los autores

Cada una de las cuatro fases incorpora requerimientos que va consolidando una propuesta robusta e integrada para la concepción del laboratorio y tres estructuras básicas; lógicas, físicas y administrativas.

Las salidas de una QFD se convierten en parte de insumo de la siguiente y al integrar todas las salidas se caracteriza la tipología de laboratorio que se necesita, teniendo en cuenta los actores, y los recursos disponibles.

#### 4.1. QFD1: Diseño de especificaciones

La primera matriz corresponde a la consolidación del modelo, objetivo del laboratorio y sus usos. Las fuentes de los requerimientos se concentran en las necesidades curriculares y los lineamientos de la práctica.

Las características de diseño curricular deben ser coherentes con las temáticas que debería conocer un ingeniero de manufactura y que se quieren trabajar puntualmente; para manufactura la *Society of Manufacturing Engineers* (SME); ha acotado los temas a: Matemáticas, Ciencias Aplicadas y de Ingeniería y materiales, Diseño Producto/ Proceso y su desarrollo, Aplicación de procesos de fabricación y operación, Sistema de producción y Diseño de equipo y Desarrollo, Sistemas automatizados y de control, Calidad y Mejora Continua, Administración de manufactura y Efectividad personal. También se contempla en esta etapa; las competencias y habilidades profesionales, del saber hacer. Como referente en ingeniería están las declaradas por *Accreditation Board for Engineering and Technology* (ABET) en sus competencias

Tabla 2.  
Elementos QFD<sub>2</sub>.

Fuente de Requerimientos	Producto
Requerimientos Funcionales	
<b>Características de actores</b>	Requerimientos de los actores • Estructura Lógica • Estructura Física
<b>Selección del equipo o planta</b>	Requerimientos de los componentes Requerimientos del conjunto

Fuente: Los autores

genéricas a-k. Para hacer un vínculo entre estos dos primeros componentes es útil la especificación de las estrategias de aprendizaje. Y por último; la definición del uso (monitoreo, investigación, fabricación y formación) y las disposiciones que deben tener los recursos educacionales frente a las instituciones certificadoras.

#### 4.2. QFD2: Diseño de producto - Laboratorio

La segunda matriz toma los requerimientos funcionales de la primera matriz y ahora son incorporados como fuente de requerimientos conjuntamente con las características de actores y elección del equipo o planta. Lo que se obtiene de esta matriz es la estructura lógica y física de los módulos de laboratorios LH.

Para la especificación del diseño de componentes es importante tener en cuenta los requerimientos de los actores, especialmente de los estudiantes. Se debe especificar: la modalidad de formación (presencial, virtual, *b-learning*) y los estilos de aprendizaje pertinentes. Como característica global de grupo se involucra; los conocimientos previos y el nivel de formación requerido.

Los requerimientos particulares de los componentes son muy variados, pero se pueden agrupar en dos; Los requerimientos de los componentes desde el punto de vista tecnológico (económico y fácil de adquirir, control del tiempo de reacción, seguro no generar error, multiplataforma, plug-and-play, autónomo, interconectable - estandarizado, confiable, multitarea y programable). Y los requerimientos del laboratorio híbrido desde el punto de vista de la estrategia del proceso del diseño (confortable, seguro, modular y ajustable, reutilizable, datos confiables, versátil y bajo consumo de recursos, cumplir con normativas de seguridad, fácil de usar, reconfigurable y estable, no intrusivo, multiusuario, fácil de hacer mantenimiento).

Como un conjunto de componentes también deberá: brindar respuesta rápida, mantener una buena resolución, contar con una alta fiabilidad y fácilmente de configurar.

#### 4.3. QFD3: Diseño de sistema - Calidad (proceso)

La tercera matriz toma las características de los componentes como requerimientos del sistema y se le adicionan los Patrones de referencia; normativas, Ambiente de Aprendizaje, nivel de desarrollo tecnológico y tecnología disponible y del sistema. Esta matriz se obtiene las características del sistema que soporta los módulos de laboratorio LH.

Tabla 3.  
Elementos QFD<sub>3</sub>.

Fuente de Requerimientos	Producto
Requerimientos De Componentes	
<b>Patrones</b>	Normativas y Referentes Ambiente de Aprendizaje Requerimiento del Sistema • Estructura Administrativa

Fuente: Los autores

Tabla 4.  
Elementos QFD<sub>4</sub>.

Fuente de Requerimientos	Producto
Requerimientos Del sistema	
<b>Líneas de implementación</b>	Recursos Adaptación Planes • Parametrización sistema de acceso y reservas. • Valoración de recursos • Programación de sistemas de apoyo

Fuente: Los autores

El objetivo de esta matriz es generar una estructura administrativa para los laboratorios LH y que pueda incorporarse el módulo LH u otro tipo de laboratorio sin inconvenientes. Si la elección de un laboratorio es de tipo *Hands-On* los subsistemas de esta estructura deben permitir desarrollarse sin inconvenientes con otros tipos de laboratorios que trabajen de forma simultánea con el mismo equipo.

#### 4.4. QFD4: Diseño de implementación

La cuarta y última matriz tiene como objetivo preparar la incorporación de un nuevo módulo desarrollado al sistema existente. Para ello se maneja como un proyecto de implementación. Particularmente el manejo de recursos (tiempo y costo) y personas es fundamental en la etapa de implementación ya que la incorporación tardía de un módulo de LH, o la falta de capacitación de los laboratoristas puede generar ineficiencias en el uso de los laboratorios. Los requerimientos de esta etapa se enfocan en la gestión de recursos, actividades de adaptación y los planes de apoyo a la implementación.

Al igual que la puesta en funcionamiento de un producto es ideal hacer ejercicios previos de operación, verificar errores e incorporación de ayudas adicionales.

### 5. Estructura de los laboratorios LH en ingeniería de manufactura

El uso en laboratorios para la manufactura, tienen algunas características que se ven reflejadas tanto en la concepción como en las estructuras que lo componen. Entre las más importantes se puede señalar:

- Involucra muchas variables inciertas o desconocidas.
- El uso de los equipos es costoso al igual que sus insumos.
- Los riesgos de accidente son altos
- La experimentación hace parte de un proceso integral
- Requiere de conocimientos técnicos para el uso de equipos especializados.
- Los equipos requieren de un tiempo de alistamiento y un

tiempo después de la actividad.

- Muchas de las magnitudes a controlar no son parte integral del equipo.
- Su uso está fuertemente ligado al proceso de diseño del producto.
- Cada práctica puede tener un número grande de variables.
- No todos los procesos son factibles de acceder de forma remota (tiempo, precisión, seguridad).
- La simulación puede perder un poco de realismo.
- La adquisición del conocimiento de una práctica requiere de un proceso estructurado de experimentación.

Derivado del proceso de las matrices QFD y para poder sortear algunas de estas dificultades se incorporan adicional a la concepción del laboratorio, tres estructuras integradas (lógica, física y administrativa) en un módulo funcional para ser anexado en el sistema universal de laboratorios internos o externos federados. La Fig. 11, muestra las etapas de desarrollo de estas tres estructuras. A este módulo se ha denominado SMAT (Sistema Modular de Acceso Rápido Temporal).

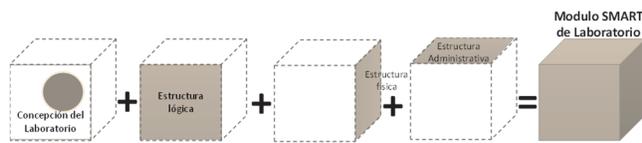


Figura 11: Conexión entre Matrices QFD.  
Fuente: Los autores

Antes de iniciar una propuesta de LH, se analizan tres elementos claves de diseño: relación de formación y recursos disponibles, la relación costo - beneficio y la efectividad en el cumplimiento de los objetivos [25]. Este último debe ser integrado a la creación de comunidad interna y externa a la institución. Además, se pueden considerar otros aspectos al momento de definir las especificaciones para diseñar, implementar y gestionar laboratorios híbridos, sin embargo es recomendable seguir una estructura estandarizada, por diferentes razones:

- Operar equipos con las características de propias automatización
- Desarrollo de sistemas de Integración entre equipos
- Posibilidad de hacer un trabajo cooperativo interno o externo
- Compartir recursos entre laboratorios

### 5.1. Consideraciones de la concepción del laboratorio

El uso de un laboratorio independiente del tipo debe cumplir eficazmente para lo que ha sido diseñado. Para ello desde la concepción debe someterse a procesos de evaluación y pertinencia. El laboratorio pedagógicamente puede tener tres enfoques:

**Conceptual:** comprender cuál puede ser su uso, hechos, datos y conceptos (leyes o teoremas), en el caso de mecanizado; fuerzas de corte, desgaste de herramientas, acabado superficial, etc.

**Procedimental:** determinación de acciones ordenadas, orientadas a la consecución de una meta. Un ejemplo es la correcta determinación del proceso de ejecución de un mecanizado CNC partiendo desde el CAD

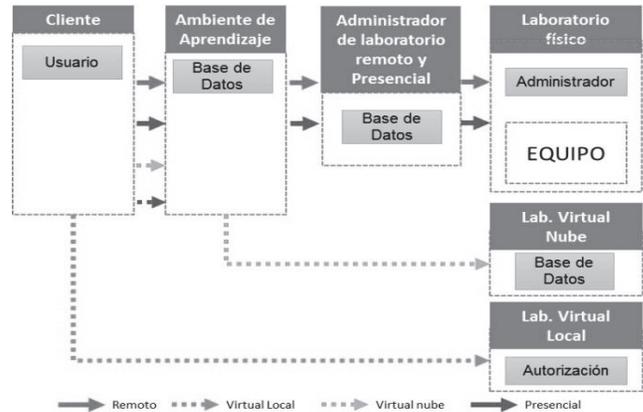


Figura 12: Modelo de la estructura lógica.  
Fuente: Los autores

**Actitudinal:** Son actividades que determinan tendencias, o disposiciones adquiridas y duraderas, La actitud puede involucrar componentes: Cognitivos, afectivos y conductuales. Un caso de ello es mejorar el grado positivo de percepción de programación para la programación CNC.

### 5.2. Consideraciones de la estructura lógica

El objetivo de tener una estructura lógica estandarizada es la de facilitar el diseño; de protocolos, identificación de roles, asignación de actividades y responsabilidades, facilitar la elaboración de objetos y organizar los componentes del laboratorio.

Zapata y Larrondo [11] proponen una estructura para laboratorios remotos basada en la arquitectura de Laboratorio como un servicio (en inglés LaaS), la propuesta está elaborada en cuatro capas; cliente, ambiente de aprendizaje, administrador de laboratorio y laboratorio físico.

La Fig. 12, muestra una propuesta para los laboratorios LH basada en el trabajo de Zapata pero para todas las posibles modalidades de laboratorios. Algunos elementos comunes de la estructura lógica son: I/O Sensores y actuadores (Del equipo o externos), Visión estática o de cambio de posición a disposición del usuario, Sistema bi-direccional de comunicación en tiempo real; chat, micrófono y parlante, Acceso a la red Internet - Intranet, Sistema de cooperación entre usuarios (chat- video-audio).

### 5.3. Consideraciones de la estructura física

El objetivo de la estructura física es poder dar el acceso a la experiencia en el laboratorio de una forma fácil y accesible. La estructura física de un laboratorio puede tener diferentes elementos: Equipo (Máquina, Planta, Instalación), Visualización de resultados (comportamiento de la prueba), Un servidor de laboratorio -Controlador (Software del equipo, controladores programables, IV, panel, etc.), Almacenamiento y transmisión de datos, Sistema de seguridad tacita y/o activa y acceso a una fuente de energía.

### 5.4. Consideraciones de la estructura administrativa

La estructura administrativa cumple una función de cooperación, autenticación, seguridad y seguimiento. Los sistemas que se reconocen en esta estructura están: Sistema de control de acceso a la plataforma y al equipo (plataforma y comunicaciones), Sistema de reservas o colas y comunicación de su administración (*Scheduling*), Sistema de Gestión de Contenidos (Repositorio y divulgación), Sistemas de evaluación y eficacia del laboratorio.

### 6. Operación y evaluación de LH

La operación de un laboratorio debe seguir el ciclo de vida de un producto, se mejora su rendimiento en la medida de lo posible por medio de la evaluación permanente y cuando entre en desuso es necesario sacarlo del sistema. Por ello el uso del laboratorio y su sistema se deben mantener indicadores y métodos constantemente operando con el fin de mejorar y sortear falencias y riesgos. Se reconocen cuatro dimensiones a evaluar:

**Usabilidad-Idoneidad-Pertenecia:** algunas herramientas que se utilizan para evaluar este aspecto son; el Modelo de Aceptación Tecnológica (MAT) [26], y el CDIO Conceive, Design, Implement and Operate (concebir o crear, diseñar, implementar y operar).

**Evaluación estudiante - desarrollo cognitivo:** algunos modelos como el aprendizaje experiencial de Kolb[27] y 4MAT de Bernice McCarthy[28] tienen sus propias pautas de evaluación en el trabajo de laboratorio, sin embargo modelos más sencillos como los de mejoramiento de competencias de ABET [29] y [5] han evidenciado resultados eficaces de evaluación.

**Eficacia - Learning Analytics** Una de las grandes propuestas para los próximos años está en el uso de grandes cantidades de información (Big Data) con el fin de brindar un apoyo más personalizado al usuario y adaptarse a las necesidades del contexto de forma rápida [30].

#### 6.1. Requerimientos en una aplicación experimental

Ya que en manufactura se deben desarrollar competencias que evidencien el uso del proceso de diseño en ingeniería y en especial en manufactura se trabajó con las temáticas pertinentes del diseño de procesos. Para ello se seleccionó dos muestras de estudiantes de las universidades; Castilla de la Mancha de España y la Universidad EAN de Colombia. Las características se muestran en la Tabla 5

Los requerimientos de cada fase de la aplicación de la QFD se convierten a especificaciones por la aplicación de la metodología de ponderación de componentes de los requerimientos por parte de los expertos y decisores de las experiencias de laboratorio. Para cada fase se presenta su procedimiento:

**Fase I:**

- Defina y priorice las necesidades de los interesados en los laboratorios (estudiante, docente, auxiliar, administrador)
- Analizar oportunidades competitivas, frente a otros tipos de laboratorios.

Tabla 5. Característica de las poblaciones experimentales.

	Universidad UCLM	Universidad EAN
País	España	Colombia
Modalidades	Presencial	Virtual
Titulación	Ingeniería Electrónica, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Industrial	Ingeniería de Producción
Unidad de estudio	a)Sistemas de Fabricación y Organización Industrial	a)Gestión de Materiales b)Análisis de Procesos Físicos
Número de estudiantes	99	22
Laboratorios realizados	CNC	CNC,
Tipos de laboratorio Básicos	HO: <i>Hands-On</i> LVL: Virtual Local	LR: Laboratorio remoto LVL: Laboratorio Virtual Local HO: <i>Hands-On</i>

Fuente: Los autores

- Planear un módulo para responder a las necesidades y oportunidades
- Establecer valores críticos y criterios objetivos.

**Fase II:**

- Identifique los componentes críticos (sensores y actuadores) y su ensamble (coherencia y adaptación)
- Descienda de las características críticas del módulo LH
- Traducir las características y los valores objetivos de los componentes críticos.

**Fase III**

- Determine procesos críticos y flujo de proceso del laboratorio
- Desarrolle los requisitos del equipo que va hacer el LH
- Establezca parámetros críticos del proceso de formación y los elementos de seguridad (OH)

**Fase IV**

- Determine la lógica de los componentes clave y las características del proceso formativo
- Establecer métodos y parámetros de control de proceso formativo
- Establecer métodos y parámetros de inspección y prueba del proceso formativo.

Una primera aplicación del módulo LH en las Universidades UCLM y EAN dio como resultado requerimientos especificase contenidos en la Tabla 6.

Tabla 6. Requerimientos básicos utilizados en la generación de los LH

Fase	UCLM	EAN
<b>I</b>	- Tema- Mecanizado CNC - Laboratorio H0 y LR -Objetivo: Diseño de procesos	- Tema- Mecanizado CNC - Laboratorio LR y LV -Objetivo: Diseño de procesos
<b>II</b>	- Profundizar en caracterización del mecanizado. - Indicadores: tiempo de mecanizado, minimizar fallas de código	- Profundizar en caracterización del mecanizado. - Indicadores: tiempo de mecanizado, minimizar fallas de código
<b>III</b>	- Compilación del código del simulador a la máquina. - Equipo con simulador incorporado	- Compilación del código del simulador a la máquina. - Equipo asistido por computador
<b>IV</b>	- Inspección visual de recorridos - Alarma de maquina	- Inspección visual de recorridos - Alarma de máquina

Fuente: Los autores

Tabla 7.

Variables descriptoras dela encuesta MAT.

Variable descriptora	Valor - Media
Laboratorio	7,82
Comprensión teórica	8,15
La práctica teórica es más fácil	8,50
Facilidad de la interfaz	8,11
Realismo	8,03
Autosuficiencia	5,86
Tiempo suficiente	8,37
Instrucciones	8,32
Facilidad de acceso	8,11

**Fuente: Los autores**

Algunas variables de evaluación relevantes del uso del LH en proceso de formación, fueron obtenidas del módulo propuesto por medio de la aplicación de un cuestionario basado en el Modelo de Aceptación Tecnológica (MAT), para ambas poblaciones. La Tabla 7 muestra el resultado de variables descriptoras con  $p < 0.05$ . Donde se resalta que la variable descriptora que obtuvo el más alto valor es 'La práctica teórica es más fácil' y la más baja Autosuficiencia.

## 7. Conclusión

La creación de laboratorios híbridos, más que brindar la posibilidad de elegir en cual tipo se quiere desarrollar una práctica, brinda la posibilidad de integrar; buenas prácticas de otros laboratorios, incorporar estrategias de aprendizaje, uso eficiente de los recursos, facilidad en su uso y gestión de su ciclo de vida.

Ya que un laboratorio LH combina un gran número de características de cada tipo de laboratorio: presenciales (HO), virtuales (LV) y remotos (LR) es recomendable que se aborde por fases que van sumando características y facilitan su incorporación en sistemas modulares y estrategias de servicios (Laas)

Sin embargo existen algunos retos que se espera que los laboratorios LH puedan ayudar a sortear; Uno de ellos es la posibilidad de compartir laboratorios ya que su estructura modular facilita la interoperabilidad de todo el sistema en cualquier tipología.

Como sistema, es altamente escalable ya que su estructura modular permite organizar los recursos en diferentes formas sin necesidad de tener un recurso para cada tipo. Además las tipologías de LH son factibles de federar para poderlos compartir.

La experiencia obtenida en el uso de LH en la Universidad Castilla LaMancha y EAN, han generado nuevos interrogantes para que sean investigados con mayor detalle, por ejemplo en la efectividad formativa, la usabilidad y su costo.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias al apoyo de la Universidad Castilla LaMancha y la Universidad EAN y a los estudiantes de Ingeniería Industrial y Producción de ambas instituciones.

## Referencias

- [1] Popović, B., Popović, N., Mijić, D., Stankovski, S. and Ostojić, G., Remote control of laboratory equipment for basic electronics courses:

- A LabVIEW-based implementation, *Comput. Appl. Eng. Educ.*, pp. 110-120, 2011. DOI: 10.1002/cae.20531
- [2] Ashby, J.E., The effectiveness of collaborative technologies in remote lab delivery systems, *Proc. - Front. Educ. Conf. FIE*, pp. 7-12, 2008. DOI: 10.1109/FIE.2008.4720394
- [3] Henke, K., Ostendorff, S., Wuttke, H.D., Vietzke, T. and Lutze, C., Fields of applications for hybrid online labs, *Int. J. Online Eng.*, 9(SPL3), pp. 20-30, 2013. DOI: 10.3991/ijoe.v9iS3.2542
- [4] Muriel, J. and Giraldo, E., Adecuación tecnológica de un torno Compact 5 CNC a través de un PC, *Inf. Técnico*, 74, pp. 7-13, 2010.
- [5] Elawady, Y.H. and Tolba, A.S., Educational objectives of different laboratory types: A -, *Int. J. Comput. Sci. Inf. Secur.*, 6(2), pp. 89-96, 2009.
- [6] Benmohamed, H., Leleve, A. and Prevot, P., Generic framework for remote laboratory integration, *Inf. Technol. Based High. Educ. Training*, 2005. ITHET 2005. 6th Int. Conf., p. T2B, 2005. DOI: 10.1109/ITHET.2005.1560229
- [7] Vargas, H., Dormido, R. and Duro, N., Creación de laboratorios virtuales y remotos usando Easy Java Simulations y Labview. 'El sistema Heatflow como un caso de estudio, XXVII Jornadas de Automática, pp. 1182-1188, 2006.
- [8] Dormido, S., Compartiendo recursos de experimentación a través de Internet: La experiencia automatL@bs, *Rev. 100cias@uned*, pp. 365-382, 2008.
- [9] Zutin, D.G., Auer, M.E., Maier, C. and Niederstatter, M., Lab2go— A repository to locate educational online laboratories, *Educ. Eng. (EDUCON)*, 2010 IEEE, pp. 1741-1746, 2010. DOI: 10.1109/EDUCON.2010.5492412
- [10] Borge-Diez, D., Laboratorio remoto de eficiencia energética integrado en redes de generación distribuida, Tesis Dr., Universidad de Valladolid, Valladolid, España, 2012.
- [11] Zapata, L. and Larrondo-Petrie, M.M., Models of remote laboratories and collaborative roles for learning environments, February, pp. 408-414, 2016. DOI: 10.1109/REV.2016.7444517
- [12] Yew, A.W.W.S., Ong, K. and Nee, A.Y.C., Towards a griddable distributed manufacturing system with augmented reality interfaces, *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, 39, pp. 43-55, 2016. DOI: 10.1016/j.rcim.2015.12.002
- [13] Osterlund, J. and Lawrence, B., Virtual reality: Avatars in human spaceflight training, *Acta Astronaut.*, 71, pp. 139-150, 2012. DOI: 10.1016/j.actaastro.2011.08.011
- [14] Fletcher, C., Ritchie, J., Lim, T. and Sung, R., The development of an integrated haptic VR machining environment for the automatic generation of process plans, *Comput. Ind.*, 64(8), pp. 1045-1060, 2013. DOI: 10.1016/j.compind.2013.07.005
- [15] Zhu, W. and Lee, Y.S., Five-axis pencil-cut planning and virtual prototyping with 5-DOF haptic interface, *CAD Comput. Aided Des.*, 36(13), pp. 1295-1307, 2004. DOI: 10.1016/j.cad.2004.01.013
- [16] Xu, X., From cloud computing to cloud manufacturing, *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, 28(1), pp. 75-86, 2012. DOI: 10.1016/j.rcim.2011.07.002
- [17] Wu, D., Terpenney, J. and Gentsch, W., Cloud-Based Design, engineering analysis, and manufacturing: A Cost-Benefit analysis, *Procedia Manuf.*, 1, pp. 64-76, 2015. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.09.061
- [18] Álvares A.J. and Ferreira, J.C.E., WebTurning: Teleoperation of a CNC turning center through the Internet, *J. Mater. Process. Technol.*, 179(1-3), pp. 251-259, 2006. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2006.03.096
- [19] Newman, S.T., Nassehi, A., Xu, X.W., Rosso, R.S.U., Wang, L., Yusof, Y., Ali, L., Liu, R., Zheng, L.Y., Kumar, S., Vichare, P. and Dhokia, V., Strategic advantages of interoperability for global manufacturing using CNC technology, *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, 24(6), pp. 699-708, 2008. DOI: 10.1016/j.rcim.2008.03.002
- [20] Nyanga, L., Van Der Merwe, A.F., Matope, S. and Dewa, M.T., A web based manufacturability agent framework for an E-manufacturing system, *Procedia CIRP*, 28, pp. 167-172, 2015. DOI: 10.1016/j.procir.2015.04.029
- [21] Calvo, I., Marcos, M., Orive, D. and Sarachaga, I., A methodology based on distributed object-oriented technologies for providing remote access to industrial plants, *Control Eng. Pract.*, 14(8), pp. 975-990, 2006. DOI: 10.1016/j.conengprac.2005.05.008
- [22] Maiti, A. and Tripathy, B., Remote laboratories: Design of experiments and their web implementation, *Educ. Technol. Soc.*,

- 16(3), pp. 220-233, 2013. DOI: 10.2307/jeductechsoci.16.3.220
- [23] Olympiou, G. and Zacharia, Z.C., Blending physical and virtual manipulatives: An effort to improve students' conceptual understanding through science laboratory experimentation, *Sci. Educ.*, 96(1), pp. 21-47, 2012. DOI: 10.1002/sce.20463
- [24] Olaya, E.S., Cortés, C.J. y Duarte, O.G., Despliegue de la función calidad (QFD): Beneficios y limitaciones detectados en su aplicación al diseño de prótesis mioeléctrica de mano, *Ing. e Investig.*, 57(57), pp. 30-38, 2005.
- [25] Zamora-Musa, R., Laboratorios remotos. Análisis, características y desarrollo como alternativa a la práctica en la Facultad de ingeniería, *Rev. Inge-CUC*, 6(6), pp. 281-290, 2010.
- [26] Yong, L., Rivas, L. y Chaparro, J., Modelo de aceptación tecnológica (TAM): Un estudio de la influencia de la cultura nacional y del perfil del usuario en el uso de las TIC, *Innovar*, 26(36), pp. 187-203, 2010.
- [27] Abdulwahed, M., Towards enhancing laboratory education by the development and evaluation of the 'TriLab': A triple access mode (virtual, hands-on and remote) laboratory. Tesis Dr., Universidad Loughborough, Reino Unido UK, 2010.
- [28] Ovez, F.T.D., The effectiveness of 4mat teaching model in overcoming learning difficulties in the perimeter and area of circle and perpendicular cylinder among the seventh year students, *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, 46, pp. 2009-2014, 2012. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.05.419
- [29] Ma, J. and Nickerson, J.V., Hands-on, simulated, and remote laboratories, *ACM Comput. Surv.*, 38(3), p. 7-es, 2006. DOI: 10.1145/1132960.1132961
- [30] Heradio, R., de la Torre, L., Galan, D., Cabrerizo, F. J., Herrera-Viedma, E. and Dormido, S., Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis, *Comput. Educ.*, 98, pp. 14-38, 2016. DOI: 10.1016/j.compedu.2016.03.010

J.D. Velosa-García, es Ing. Mecánico de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Msc. en Ingeniería - Materiales y Procesos de Manufactura. Estudiante de doctorado en Ingeniería de la Universidad EAN, Colombia y de la Universidad Castilla La Mancha, España. Actualmente es profesor titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad EAN. El área de investigación en manufactura y materiales y los modelos pedagógicos aplicados en Ingeniería.  
ORCID: 0000-0002-8265-9532

L. Cobo, es Ing. de Sistemas y Computación de la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. También posee un MSc. en Ingeniería de Sistemas y Computación, es Dr. en Ingeniería de la misma Universidad. Obtuvo un Ph.D. en Génie Informatique de la Université de Montréal, Canadá. Actualmente es profesor titular de la Universidad EAN. El área de investigación está concentrada en la analítica para el internet de las cosas, la analítica de datos educacionales y las redes inalámbricas de sensores.  
ORCID: 0000-0003-3034-101X

F.J. Castillo-García, es Ing. Industrial en 2000 y Dr. Ingeniero Industrial en 2010 por la Universidad de Castilla-La Mancha, España. En la actualidad es profesor contratado Dr en la E.I.I. de Toledo donde imparte asignaturas de área de ingeniería de sistemas y automática. Sus principales líneas de investigación son las aplicaciones control de orden fraccional, el control de robots cuadrúpedos y el diseño mecatrónico de robots paralelos comandados mediante cables. Tiene más de 20 publicaciones en revistas indexadas en JCR y más de 50 contribuciones en congresos nacionales e internacionales. Ha participado en numerosos proyectos de investigación con financiación pública y privada y en la actualidad es Investigador Principal de dos proyectos de I+D del plan nacional de investigación.  
ORCID: 0000-0001-5389-4253

E. Espildora, es Dra. En 2003 de la Universidad de Castilla-La Mancha, España, trabajando en química fullerena bajo la dirección del Prof. F. Langa. Se unió al grupo de Prof. Nazario Martín de la Universidad Complutense de Madrid donde trabajó como investigadora postdoctoral (2008) y fue científica visitante en IMDEA-Nanoscience (2013), trabajando en la preparación de materiales basados en fullereno para aplicaciones fotovoltaicas. Actualmente es profesora asociada de ciencia de materiales y sistemas de manufactura en la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Castilla-La Mancha.  
ORCID: 0000-0001-6003-4497



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN  
FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Ingeniería  
de Sistemas e Informática

Oferta de Posgrados

Especialización en Sistemas  
Especialización en Mercados de Energía  
Maestría en Ingeniería - Ingeniería de Sistemas  
Doctorado en Ingeniería- Sistemas e Informática

Mayor información:

E-mail: [acsei\\_med@unal.edu.co](mailto:acsei_med@unal.edu.co)  
Teléfono: (57-4) 425 5365