



Universidad de Castilla-La Mancha



Universidad EAN

Tesis Doctoral

**DISEÑO DE LABORATORIOS HÍBRIDOS PARA LA ENSEÑANZA
DE INGENIERÍA DE MANUFACTURA**

Autor:

José Divitt Edward Velosa García

Directores:

PhD Luis Armando Cobo Campo

Co - Directores:

PhD Fernando José Castillo García Y

PhD Antonio González Rodríguez

Doctorado en Ciencias y Tecnologías Aplicadas a la Ingeniería Industrial
Universidad de Castilla-La Mancha

Doctorado en Ingeniería de Procesos
Universidad EAN

Agradecimientos

A la Universidad EAN y la Universidad de Castilla-La Mancha en especial al Dr. Octavio Armas. A mi director PhD. Luis Cobo y Co-director PhD Fernando Castillo por sus orientaciones y valiosos comentarios que contribuyeron a la elaboración de esta investigación. A los profesores y estudiantes de las Universidades EAN y UCLM, quienes participaron en las actividades y proporcionaron amablemente la información para el desarrollo de la investigación.

A mi familia que me me dio la energía para continuar y a Martalu por todo apoyo, comprensión y tiempo.

Abreviaturas

ABET	Accreditation Board for Engineering and Technology
BYOD	Bring Your Own Device
B-Learning	Blended Learning
CAD	Computer-aided design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer-aided manufacturing
CDIO	Concebir-Diseñar-Implementar-Operar.
CNC	Control numérico por computadora
D-SMART	Modelo de diseño de laboratorios
F2F	Fase to Fase
Flipped-Lab	Alternar laboratorio virtual y presencial
HO	Laboratorio presencial
IIoT	Internet Industrial de las Cosas
LaaS	Laboratories as a Service
LH	Laboratorio Híbrido
LMS	Learning Management System
LR	Laboratorio Remoto
LV (VL)	Laboratorio Virtual
LVL	Laboratorio Virtual Local
LVN	Laboratorio Virtual en la Nube
M2M	Machine to machine, 'máquina a máquina'
MEN	Ministerio de Educación Nacional de Colombia
MOOCs	Massive Online Open Courses
QFD	Quality Function Deployment
RIG	Plataforma de experimentación
SMART	Sistema Modular de Acceso Rápido temporal
SMART LAB	Experimentos para móviles
STEM	Science, Technology, Engineering y Mathematics
TAM(MAT)	Technology Acceptance Model
TPACK	Technological Pedagogical Content Knowledge
TRILAB	Modelo de laboratorio Virtual y Hands-on o Remoto y Hands-on
UE	Unidad de estudio
VISIR	Virtual Instrument Systems in Reality

VNC

Visitor and Community Network

Definiciones Importantes

Diseño en Ingeniería: El diseño de ingeniería 'es el proceso de diseñar un sistema, componente o proceso para satisfacer las necesidades deseadas. - Es un proceso de toma de decisiones (a menudo iterativo), en el que las ciencias de la ingeniería y las matemáticas se aplican para convertir los recursos de manera óptima para alcanzar un objetivo establecido.- Entre los elementos fundamentales del proceso de diseño se encuentran el establecimiento de objetivos y criterios, síntesis, análisis, construcción, pruebas y evaluación' . (Accreditation Board for Engineering and Technology Inc y ABET, 2016)

Laboratorio en Ingeniería: Es un 'espacio de construcción de conocimientos y metodologías científicas donde se discute la relevancia de los trabajos a desarrollar, la problemática en la que se insertan, la formulación de hipótesis y modelos, el diseño de experimentos, el análisis e interpretación de datos y resultados y la elaboración crítica de síntesis y conclusiones. Todos estos aspectos son fundamentales para formar un ingeniero capaz de generar nuevas tecnologías y/o adaptar las existentes a diferentes contextos'. (Pesa, 2014)

Formación en Ingeniería: Es un campo de la ingeniería que 'corresponde al modo en que se lleva a cabo la enseñanza de conocimientos y principios relacionados con la práctica profesional de la Ingeniería, la cual es impartida en los niveles de pregrado y posgrado'. (Parra y Cabrera, 2014) La enseñanza de la ingeniería . . . debe responder a las exigencias del contexto, aspecto este que demanda una organización del proceso docente educativo centrado en el estudiante, desarrollado de manera interactiva y colaborativa y que le permita adquirir un aprendizaje para toda la vida (Capote León, Rizo Rabelo, y Bravo López, 2016)

Resumen

La educación en Ciencia e Ingeniería está experimentando un gran reto ante la necesidad de adaptar sus procesos de aprendizaje a las posibilidades que brinda las nuevas tecnologías, las TIC's y modelos de educación modernos centrado en competencias. Una de las áreas y recursos educativos sensibles de la formación está evidenciada en la experimentación, particularmente en el uso de laboratorios técnicos, que actualmente presentan ciertas restricciones para adaptarse a los cambios y ser pertinentes con la formación.

Estas restricciones se ven reflejadas en diferentes aspectos; en el campo técnico, están relacionadas con la posibilidad de vincular los laboratorios tradicionales y sus prácticas a experiencias más cercanas a los estudiantes, a sus modos de interactuar y al contexto donde se encuentran tanto los equipos, los docentes y los mismos estudiantes. En el campo formativo las restricciones más importantes están enfocadas en mejorar la efectividad de las experiencias y alcanzar un aprendizaje significativo acorde con las necesidades de su profesión actual y futura.

La adaptación y flexibilidad de nuevas tecnologías aplicadas al uso de equipos de laboratorio, unido a modelos de formación abierto, colaborativo y distribuido, han hecho factible que las restricciones anteriores puedan ser superadas gracias al desarrollo de estrategias de experimentación surgidas por la integración de los diferentes tipos de laboratorios (presenciales, remotos y virtuales). La combinación sistémica de los elementos de los diferentes tipos de laboratorio componen una experiencia de laboratorio denominada laboratorio híbrido.

Esta tesis aborda un trabajo de investigación centrado en el desarrollo de un modelo para el diseño de laboratorios híbridos en el campo de la ingeniería de manufactura, con el fin de mejorar la eficacia del proceso de formación y la eficiencia del uso de los recursos, tanto en su proceso formativo como en su infraestructura¹. Como propósito de la investigación se diseñaron e implementaron diferentes de tipos de laboratorios híbridos, con el objetivo de incorporar los diferentes aspectos que describen una experiencia en laboratorio. torio.

Este proyecto de investigación se ha realizado en el marco del convenio entre la Universidad EAN (Bogotá – Colombia) y la Universidad de Castilla-la Mancha UCLM (Toledo-España), en el campo del uso de la ciencia y las tecnologías aplicadas a la Ingeniería Industrial y de manufactura. *STEM science, technology, engineering y mathematics*.

¹El título dado al documento 'Diseño de laboratorios híbridos para la enseñanza de ingeniería de manufactura'

El proyecto se desarrolló en dos momentos; el primero en una estancia doctoral en la Universidad de Castilla-La Mancha, Campus de Toledo (España), el cual tenía como objetivo fundamental de desarrollar y diseño de la estructura lógica y física para la propuesta de laboratorios. Para ello se contó, además del equipamiento de la UCLM, con un grupo de estudiantes de con Grados en Ingeniería de la rama industrial que participaron en una experiencia de laboratorio de manufactura con tecnología CNC. La segunda parte se desarrolló en la Universidad EAN (Colombia), donde se desplegó en un grupo de estudiantes de Ingeniería de Producción varias experiencias, tanto en laboratorios convencionales como en laboratorios híbridos propuestos.

El informe muestra las características de un sistema Híbrido de Laboratorios LH, que apoya el proceso de formación de los ingenieros de manufactura en el área STEM. Con este fin, se ha realizado diferentes experiencias de laboratorio aplicadas en Unidades de Estudio UE, que tienen en su estrategia pedagógica con un componente obligatorio de experimentación. Los módulos de actividades experimentales desarrollados son denominados módulos SMART. Estas experiencias tienen el objetivo de evaluar la efectividad de los laboratorios híbridos en proceso de formación en ingeniería de manufactura. Los paradigmas esenciales para el desarrollo de la propuesta son:

- Utilizar los recursos existentes tanto el software como su hardware de los equipos propios y disponibles.
- Evitar al máximo el acondicionamiento fijo de las estaciones de laboratorio para cada tipo de uso.
- Aprovechar la modularidad de los equipos que intervienen en una experiencia de laboratorio.
- Emplear software libre y abierto para el desarrollo de aplicaciones y sistemas de interfaz.
- Operar equipos pertinentes y actuales de la Industria de la manufactura.

En la investigación se utiliza del proceso de control de lazo cerrado como alineamiento evaluativo, para desarrollo de prácticas de laboratorio. Se analiza desde las variables de entrada hasta las variables de salida y control, soportándose en la relación existente entre ellas. La investigación propone la utilización de laboratorios o experiencias definidas en las unidades de estudio con un enfoque claramente formativo. Finalmente, se propone una metodología para construir laboratorios híbridos en la formación en ingeniería de manufactura denominada D-SMART. Esta metodología combina varios elementos de diseño de los diferentes tipos de laboratorios convencionales para realizar las prácticas de las unidades de estudio y la creación entornos innovadores, que permitan a los estudiantes tener un rol más activo y creativo en las prácticas de laboratorio.

Luego de hacer la experimentación con los laboratorios híbridos, las contribuciones han sido clasificadas en tres aspectos: en lo técnico, administrativo y pedagógico.

En lo técnico se han podido implementar la arquitectura de laboratorio híbrido, en casos reales y probarlos con estudiantes de manufactura con pequeños cambios en los equipos disponibles. Se han determinado los riesgos técnicos para cada laboratorio, diseñado protocolos de implementación y se ha medido la aceptación tecnológica en los estudiantes de cada uno de los tipos de laboratorio híbrido implementado. En el aspecto administrativo se ha podido integrar las prácticas híbridas en el sistema general de laboratorios que tiene la universidad. Con ayuda de la estructura lógica para cada laboratorio se ha propuesto un procedimiento con el fin de poder acceder al laboratorio, controlar su acceso y hacer seguimiento. En el aspecto pedagógico se han establecido mecanismos de medición de la efectividad en los estudiantes con el uso de los laboratorios. Se definió la participación de otros actores como docentes, auxiliares y soporte TIC's. Y finalmente se determina una propuesta metodológica para que sea replicada en el diseño de experiencias de laboratorio en ingeniería.

Palabras Clave: Laboratorios Híbridos, Sistema SMART, STEM, TIC

Abstract

Education in Science and Engineering is experiencing a great challenge in the face of the need to adapt their learning processes to the possibilities offered by new technologies, ICTs and modern education models focused on competencies. One of the areas and sensitive educational resources of the training is evidenced in the experimentation, particularly in the use of technical laboratories, which present certain restrictions to adapt to the changes and be pertinent to the training.

These restrictions are reflected in different aspects; In the technical field, they are related to the possibility of linking traditional laboratories and their practices to experiences closer to the students, to their ways of interacting and to the context where the teams, teachers and students are located. In the training field the most important restrictions are focused on improving the effectiveness of the experiences and achieving a meaningful learning according to the needs of their current and future profession.

The adaptation and flexibility of new technologies applied to the use of laboratory equipment, together with open, collaborative and distributed training models, have made it possible that the previous restraints can be overcome thanks to the development of experiential strategies arising from the integration of the different types of laboratories (face-to-face, remote and virtual). The systemic combination of the elements of the different types of laboratory compose a laboratory experience called a hybrid laboratory. This thesis addresses a research work focused on the development of a model for the design and implementation of hybrid laboratories in the laboratory field of manufacturing engineering, in order to improve the effectiveness of the training process and the efficiency of the use of resources, both in its training process and in its infrastructure. This research project has been carried out within the framework of the agreement between the EAN University (Bogotá - Colombia) and the University of Castilla-la Mancha UCLM (Toledo - Spain), in the field of the use of science and applied technologies to Industrial and Manufacturing Engineering. STEM science, technology, engineering and mathematics.

The project was developed in two moments; the first in a doctoral stay at the University of Castilla-la Mancha, Toledo Headquarters, which had the fundamental objective of developing and designing the logical and physical structure for the proposed laboratories. To this end, in addition to the equipment of the UCLM with a group of Industrial Engineering students, who

participated in a laboratory experience with CNC technology, the second part was developed at the EAN university in Colombia, where it was deployed in a group of Production Engineering students several experiences both in conventional laboratories and in the proposed hybrid laboratories.

The report shows the characteristics of a Hybrid System of LH Laboratories, which supports the training process of manufacturing engineers in the STEM area. To this end, different laboratory experiences have been carried out in EU Study Units, which have a compulsory component of experimentation in their pedagogical strategy. The modules of experimental activities developed are called SMART modules. These experiences aim to evaluate the effectiveness of hybrid laboratories in the process of training in manufacturing engineering. The essential paradigms for the development of the proposal are:

- Use the existing resources, both the software and its hardware, of the own and available equipment.
- Avoid the fixed conditioning of laboratory stations for each type of use as much as possible.
- Take advantage of the modularity of the equipment involved in a laboratory experience.
- Employ free and open software for the development of applications and interface systems.
- Operate relevant and current equipment of the Manufacturing Industry.

In the research, the closed loop control process was used as an evaluative guideline for the development of laboratory practices. It is analyzed from the input variables to the output and control variables, supporting the existing relationship between them. The research proposes the use of laboratories or defined experiences in the study units with a clearly formative focus. Finally, a methodology is proposed to build hybrid laboratories in manufacturing engineering training called D-SMART. This methodology combines several design elements from the different types of conventional laboratories to perform the practices of the study units and the creation of innovative environments that allow students to have a more active and creative role in laboratory practices.

After doing the experimentation with the hybrid laboratories, the contributions have been classified in three aspects: technically, administratively and pedagogically.

The technicians have been able to implement the hybrid laboratory architecture, in real cases and test them with manufacturing students with small changes in the available equipment. The technical risks for each laboratory have been determined, implementation protocols designed and the technological acceptance in the students of each type of hybrid laboratory implemented has been measured. In the administrative aspect, hybrid practices have been

integrated into the general laboratory system of the university. With the help of the logical structure for each laboratory, a procedure has been proposed in order to access the laboratory, control its access and monitor. In the pedagogical aspect, mechanisms for measuring effectiveness in students with the use of laboratories have been established. The participation of other actors was defined as teachers, auxiliaries and ICT support. And finally a methodological proposal is determined to be replicated in the design of engineering laboratory experiences.

Keywords: Hybrid Laboratories, SMART System, STEM, TIC

Índice general

Referencias	1
1. Introducción	1
1.1. Introducción	2
1.2. Motivación	5
1.3. Planteamiento del Problema	6
1.4. Descripción	7
1.5. Objetivos	8
1.6. Metodología de investigación	9
1.7. Estructura de la tesis	10
1.8. Principales contribuciones	11
1.8.1. Principales contribuciones	11
1.8.2. Publicaciones Académicas	12
1.9. Dificultades y limitaciones	15
1.10. Conclusiones del Capítulo 1	16
2. Aplicación de laboratorios en STEM – situación actual	17
2.1. Aplicación de laboratorios en STEM – situación actual	18
2.2. Definición de laboratorio	20
2.3. Usos de laboratorios	23
2.3.1. Enfoque y objetivos de los laboratorios en Formación	26
2.3.2. Otros enfoques	29
2.4. Principales especificaciones técnicas de los laboratorios	30
2.4.1. Competencias en Ingeniería	32
2.4.1.1. ABET y los laboratorios en Ingeniería	34
2.4.2. Competencias Genéricas en Ingeniería	35
2.4.2.1. Competencias Genéricas ABET	35
2.4.2.2. Tuning– AHELO	36
2.4.2.3. EUR-ACE	37
2.4.2.4. Comparación de competencias genéricas del Ingeniero	37
2.5. Características de los Modelos Pedagógicos en STEM	40

2.5.1.	Algunos modelos pedagógicos de formación en ingeniería aplicada en STEM	43
2.5.1.1.	Para la autonomía: Flipped Classrom /Aprendizaje abierto / MOOCS	44
2.5.1.2.	Para la cooperación: Uso de ambientes de experimentación/-Mundos virtuales/Gamificación	45
2.5.1.3.	Aprendizaje Personalizado: Aprendizaje significativo / <i>Blended Learning</i>	46
2.5.2.	Apoyo a la investigación: Aprendizaje basado problemas/retos/en proyectos/laboratorios	46
2.5.3.	Actores en un laboratorio	47
2.5.3.1.	Estudiante	49
2.5.3.2.	Docente	49
2.5.3.3.	Auxiliares o <i>Technical Staff</i>	51
2.5.3.4.	Relación entre actores	52
2.5.4.	Componentes de una práctica de laboratorio en ingeniería	53
2.6.	Estado del Arte en Clasificación de Laboratorios	56
2.6.1.	Tipologías de laboratorios en ingeniería según la presencialidad	56
2.6.2.	Laboratorios Hands-On HO	58
2.6.3.	Laboratorios Virtuales Local LVL	60
2.6.4.	Laboratorios Virtuales Nube LVN	65
2.6.5.	Laboratorios Remotos LR	69
2.6.6.	Laboratorios Híbridos LH	74
2.6.7.	Requerimientos y criterios del LH	82
2.7.	Estructuras Física, Lógica y de Gestión de un laboratorio	85
2.7.1.	Estructura Física	88
2.7.2.	Estructura Lógica	93
2.7.3.	Estructura administrativa - Sistema de Gestión	94
2.7.3.1.	Modos de operación	95
2.8.	Evaluación de las prácticas de laboratorio en Ingeniería	96
2.9.	Laboratorios en Ingeniería de Manufactura - revisión literaria	97
2.9.1.	Formación en Ingeniería de Manufactura	98
2.9.2.	Competencias ABET para Ingeniería de Manufactura	100
2.10.	Conclusiones Capítulo 2	102
3.	Sistema SMART para Laboratorios híbridos	103
3.1.	Hacia un modelo D–SMART para el diseño de laboratorios	104
3.2.	Metodologías de diseño de laboratorios en ingeniería	106
3.3.	Modelo de diseño de laboratorios D–SMART	110
3.3.1.	Aplicación de los laboratorios híbridos en la formación de Ingeniería de Manufactura	113
3.3.2.	Tipo de estudio y metodología	114
3.3.3.	Dimensiones y variables	117

3.4.	Validación de Variables	122
3.5.	Prueba Piloto aplicada a estudiantes	125
3.5.1.	Definición estructura Física prueba piloto	126
3.5.2.	Definición estructura Lógica prueba piloto	130
3.5.3.	Definición de estructura administrativa prueba piloto	137
3.6.	Práctica en Prueba Piloto de Laboratorios Híbridos	141
3.6.1.	Características de la población	142
3.6.2.	Pruebas desarrolladas	143
3.6.3.	Análisis de usabilidad, utilidad en laboratorios híbridos	150
3.6.3.1.	Resultados Iniciales	150
3.6.3.2.	Utilidad percibida UP de los laboratorios	152
3.6.3.3.	Percepción de la facilidad de uso laboratorios virtuales	152
3.6.3.4.	Percepción de la facilidad de uso laboratorio PRESENCIAL	153
3.6.3.5.	Conclusiones del estudio piloto	154
3.7.	Uso LH en prácticas de Ingeniería de Manufactura	155
3.7.1.	Características de la práctica en ingeniería de manufactura	156
3.7.2.	Características de la práctica en Ingeniería de Manufactura	157
3.7.3.	Análisis pre y pos asignaturas con laboratorios	159
3.7.3.1.	Rol del estudiante preferido en una práctica de laboratorio	161
3.7.3.2.	Tipo de laboratorio preferido en una práctica de laboratorio	163
3.7.3.3.	Actitud hacia la experimentación	165
3.8.	Aplicación de prácticas en laboratorios híbridos LH1 a LH6	168
3.8.1.	Objetivos de la experimentación: Convencionales Vs Híbridos	168
3.8.2.	Competencias a desarrollar para Ingeniería de Manufactura	169
3.8.2.1.	Competencias generales del ingeniero a evaluar con los laboratorios	169
3.8.2.2.	Competencias específicas del Ingeniero de Manufactura a evaluar con los laboratorios	169
3.8.3.	Objetivos educacionales y variables de verificación	170
3.8.4.	Descripción de la actividad experimental con laboratorios	170
3.8.4.1.	Fase 1	171
3.8.4.2.	Fase 2	172
3.8.4.3.	Fase 3	173
3.8.4.4.	Fase 4	174
3.9.	Experimentación con laboratorios híbridos H1-H6	175
3.9.1.	Tamaño muestral	176
3.9.2.	Laboratorios convencionales (Control)	177
3.10.	Laboratorios experimentales (híbridos)	178
3.10.1.	LH1: Presencial (Hands-On) y Laboratorios Virtual Local	179
3.10.2.	LH2: Laboratorio Virtual Local en la Laboratorio en la Nube	180
3.10.3.	LH3: Laboratorio Remoto y laboratorio en la Nube	182
3.10.4.	LH4: Laboratorio Presencial (Hands-On) y Laboratorio remoto	184
3.10.5.	LH5: laboratorio Presencial y laboratorio virtual en la nube	185

3.10.6. LH6: Laboratorio Remoto y laboratorio y virtual Local –	186
3.11. Análisis de resultados y Validación	188
3.11.1. Efectividad en prácticas reales con laboratorios (convencionales / híbridos)	188
3.11.2. Competencias en prácticas reales con laboratorios (convencionales / híbridos)	193
3.11.2.1. Competencias Genéricas	193
3.11.2.2. Competencias Especifica en Ingeniería de Manufactura	195
3.11.3. Actitud hacia la tecnología en prácticas reales con laboratorios	197
3.11.4. Los docentes a frente a las prácticas de laboratorio	201
3.11.5. Auxiliares y las prácticas de laboratorio	205
3.12. Conclusiones Capítulo 3	206
4. Conclusiones	209
4.1. Análisis del cumplimiento de objetivos.	210
4.2. Principales Conclusiones	212
4.2.1. Desarrollo de un sistema general de laboratorios híbridos	212
4.3. Tendencias y trabajos futuros	218
5. Bibliografía	223
.	223
A. Encuesta de Estudiantes - Laboratorios en Ingeniería	243

Índice de tablas

2.1. Modelos pedagógicos aplicados en ingeniería	27
2.2. Definición de competencias en ingeniería	33
2.3. Objetivos educacionales y los laboratorios virtuales	36
2.4. Objetivos buscados en el uso de los laboratorios en ingeniería	38
2.5. Elementos de la competencia genérica en laboratorio	39
2.6. Algunas teorías pedagógicas y laboratorios STEM	41
2.7. Nivel de autonomía para diversos tipos de actividad en el laboratorio	45
2.8. Ejemplos <i>Learning-by-doing</i>	45
2.9. Ventajas del PBL, CBL y RBL	48
2.10. Rol de los estudiantes en una experiencia de laboratorio	49
2.11. Rol de los docentes en una experiencia de laboratorio	51
2.12. Relación de los actores presentes en una práctica de laboratorio	53
2.13. Tipos de laboratorio según la ubicación del usuario y el equipo	57
2.14. Características de un laboratorio HO	59
2.15. Ejemplos de software virtual aplicado a la manufactura en LVL	62
2.16. Características de un laboratorio LVL	63
2.17. Ejemplos de software virtual On-line aplicado a la manufactura en LVN	68
2.18. Características de un laboratorio LVN	69
2.19. Workflow estándar de un laboratorio remoto	71
2.20. Ejemplos de software virtual aplicado a la manufactura en LR	72
2.21. Características de un Laboratorio Remoto LR	73
2.22. Ejemplos de laboratorio LH “ <i>Flipped</i> ”	76
2.23. Efectividad de algunos laboratorios híbridos tipo <i>Flipped</i>	77
2.24. Ejemplos de laboratorio LH “ <i>LaaS</i> ”	78
2.25. Configuración de laboratorios híbrido por demanda	79
2.26. Ejemplos de laboratorio LH “ <i>Colaborativos</i> ”	80
2.27. Comparación de las diferentes propiedades de los laboratorios	83
2.28. Estándares aplicados a los laboratorios en Ingeniería	88
2.29. Péndulo Charpy manual	90
2.30. Taladro fresador convencional	91
2.31. Centro de mecanizado fresador CNC	92
2.32. Modos de operación de en un laboratorio	95

2.33. Prácticas comunes desarrolladas en Ingeniería de Manufactura	101
3.1. Factores agrupadas en la dimensión UE	118
3.2. Factores agrupados en la dimensión Competencias en ingeniería	118
3.3. Factores agrupados en la dimensión estrategias STEM	119
3.4. Factores agrupados en la dimensión característica del estudiante	120
3.5. Factores agrupados en la dimensión selección del equipo/plantan	120
3.6. Factores agrupados en la dimensión Patrones	121
3.7. Factores agrupados en la dimensión Lineamientos de implementacion	121
3.8. Validación de variables con trabajos referentes	123
3.9. Elementos de la estructura lógica utilizados	131
3.10. Procedimiento de conexión	132
3.11. Características de la muestra	143
3.12. Elementos y características de las tecnologías utilizadas	149
3.13. Clasificación de las variables descriptoras y las preguntas asociadas	150
3.14. Resultados del instrumento aplicado a los dos grupos	151
3.15. Valores de las respuestas por variable descriptora	152
3.16. Resumen de la prueba piloto	155
3.17. Características de caso de estudio	156
3.18. Característica de la muestra inicial	160
3.19. Comparación entre los roles preferidos y los no preferidos	161
3.20. Comparación entre tipos de laboratorio	163
3.21. Variables dependientes	170
3.22. Tamaño de muestra–experiencias de laboratorio	177
3.23. Laboratorios Hands-On - OH estudiados	177
3.24. Laboratorios Virtuales Locales – LVL estudiados	178
3.25. Laboratorios Remotos LR estudiados	178
3.26. Combinación de laboratorios utilizados	179
3.27. Escenario LH1 – Proceso Mecanizado CNC	180
3.28. Escenario LH2 Diseño de sistemas de fabricación	182
3.29. Escenario LH3 Simulación de operaciones	182
3.30. Escenario LH3 Fabricación de productos mecanizado CNC	184
3.31. Escenario LH4 diseño del proceso de ensamble	185
3.32. Escenario LH5 diseño del proceso de ensamble	187
3.33. Escenario LH6 prueba de materiales	188
3.34. Prueba de normalidad de los datos	189
3.35. Estadísticos de contraste Nota Convencionales e Híbridos Flipped	190
3.36. Estadísticos de contraste Nota LH Flipped y LaaS	190
3.37. Estadísticos de contraste Nota Convencionales y laboratorios LaaS	191
3.38. Variables utilizadas para la medición de la competencia	194
3.39. Estadísticos de contraste laboratorios LaaS Vs otros laboratorios	195
3.40. Estadísticos de contraste laboratorios LaaS Vs otros laboratorios	196
3.41. Variables del modelo TAM indagadas en la investigación	198

3.42. Dimensiones del modelo MAT de laboratorios convencionales y LaaS	200
3.43. Estadístico convencionales vs híbridos LaaS	202
3.44. Características de los docentes	202
3.45. Características de los auxiliares y técnicos de laboratorio	205

Índice de figuras

1.1. Metodología utilizada en la investigación	11
2.1. Desarrollo de los laboratorios en STEM	19
2.2. Crecimiento en el número de publicaciones 1998-2018	20
2.3. Áreas de publicación de laboratorios STEM	21
2.4. Definición de “Experiencia” Laboratorio	23
2.5. Práctica integral de laboratorio	24
2.6. Ejemplos de experiencias de laboratorio en ingeniería	25
2.7. Modelos pedagógicos y los laboratorios	28
2.8. Elementos de competencia	34
2.9. Pirámide de Dale	42
2.10. Características de las metodologías STEM	43
2.11. Página principal de Virtual Labs	44
2.12. Ventajas del B-learning	47
2.13. Modelo TPAK	50
2.14. Relación entre los actores que participan en las experiencias de laboratorios	54
2.15. Elementos funcionales en una práctica de laboratorio	55
2.16. Panorama general de la Clasificación según su localización geográfica (estudiante– experimento)	58
2.17. Proceso de experimentación Hands-On en una máquina CNC.	59
2.18. Proceso de experimentación LVL en operaciones	61
2.19. Proceso de experimentación LVN en operaciones de fresado	66
2.20. Proceso de experimentación LR en operaciones prototipado	71
2.21. Arquitecturas laboratorio “ <i>Flipped</i> ”	77
2.22. Configuración de los laboratorios bajo servicio H1–H6	80
2.23. Arquitectura de un laboratorio híbrido colaborativo	82
2.24. Grado de interacción y factores para laboratorios básicos e híbridos	84
2.25. Componentes de la estructuras de un laboratorio LH	85
2.26. Componentes de la estructura lógica según la norma IEEE–SA P1876 Working	87
2.27. Estructura lógica de laboratorios	94
2.28. Aspectos a evaluar en un laboratorio	97
2.29. Ciclo de vida del producto desde la orden a la entrega	98

3.1. Modelo de diseño una práctica de laboratorio convencional HO	107
3.2. Modelo de diseño una práctica de laboratorio remoto LR	108
3.3. Modelo de Nickerson de efectividad	109
3.4. Modelo Pati de efectividad	110
3.5. Modelo Diwakar de efectividad	111
3.6. Modelo Delphi para selección de laboratorios	112
3.7. Estructura SMART de una experiencia de laboratorio	113
3.8. Diseño de las actividades de evaluación.	115
3.9. Desarrollo de la investigación	117
3.10. Flujograma prueba piloto	125
3.11. Estructura final Avatar_a	128
3.12. Cámaras utilizadas en la estructura física	130
3.13. Pantalla de control para acceso al software para tele-operación	133
3.14. Modo de acceso al sistema de tele operación de forma remota	133
3.15. Cursos disponibles de Moodle de los laboratorios utilizados	135
3.16. Flujograma del proceso de acceso al laboratorio de forma remota	136
3.17. Sistemas de reservas	138
3.18. Página WEB para la gestión de conocimiento	139
3.19. Estructura de la página WEB	139
3.20. Estructura del módulo SMART1	140
3.21. Estructura del módulo SMART2	140
3.22. Modelo conceptual de MAT	141
3.23. Visión general de las pruebas	144
3.24. Prueba de impresión 3D en tele-operación	145
3.25. Prueba de mecanizado CNC-tele-operación	146
3.26. Prueba de Tensión-tele presencia.	147
3.27. Prueba de mecanizado CNC-presencial.	148
3.28. Prueba de manufactura utilizando soldadura-presencial	149
3.29. Resultados de utilidad Percibida	152
3.30. Resultados PFU-virtual	153
3.31. Resultados PFU-presencial	153
3.32. Variables descriptoras de los laboratorios remoto y presencial	154
3.33. Evaluación general del modelo MAT	154
3.34. Tipo de nivel tecnológico en las prácticas del caso de estudio	156
3.35. Competencias ABET en las prácticas del caso de estudio	157
3.36. Edad de la población	158
3.37. Comportamiento del semestre que cursa el estudiante	158
3.38. Modalidad de los estudiante del estudio	159
3.39. Rol del estudiante en una experiencia de laboratorio.	161
3.40. Preferencia de rol dependiendo el grupo de edad	162
3.41. Roles preferidos y no Preferidos	162
3.42. Tipos de laboratorios preferidos y no Preferidos	163
3.43. Laboratorios preferidos y no preferidos	164

3.44. Actitud hacia la experimentación	166
3.45. Actitud frente a los laboratorios	167
3.46. Fase 1 Requerimientos y Diseño de laboratorios híbridos.	172
3.47. Fase 2 de implementación de laboratorios híbridos.	173
3.48. Fase 3 La operación.	174
3.49. Fase 3 Evaluación y mejoramiento	175
3.50. Estructura de las prácticas de laboratorio analizadas	176
3.51. Elementos funcionales LH1	179
3.52. Elementos funcionales LH2	181
3.53. Elementos funcionales LH3	183
3.54. Elementos funcionales LH4	184
3.55. Elementos funcionales LH5	186
3.56. Elementos funcionales LH6	187
3.57. Resumen Efectividad	191
3.58. Estilos de aprendizaje y calificación de los laboratorios presentados	192
3.59. Calificación del curso y calificación individual del laboratorio	193
3.60. Competencia genérica en experimentación	194
3.61. Competencias específicas en experimentación	196
3.62. Competencias específicas en experiencias de laboratorio pre y pos test.	196
3.63. Nota final del curso y el tipo de laboratorio	197
3.64. Dimensiones TAM en las experiencias de laboratorio.	199
3.65. Rol docente y efectividad del laboratorio.	201
3.66. Aspectos al momento de diseñar y utilizar laboratorios	203
3.67. Metodologías preferidas por los docentes para LH	203
3.68. Valoración dado a los modos de operación por los docentes	204
3.69. Características de los laboratorios LH por los auxiliares	206
4.1. MD1 Estructura pedagógica	214
4.2. MD2 Estructura física	215
4.3. MD3 Estructura lógica	216
4.4. MD4 Implementación	216
4.5. Productos de cada etapa	217
4.6. Fase de experimentación	217
4.7. Estructura del sistema de evaluación y mejoramiento	218
4.8. Montaje de la experiencia SMART en metalografía	220
A.1. Anexo A	245
A.2. Anexo B	246
A.3. Anexo C1	247
A.4. Anexo C2	248
A.5. Anexo C3	249
A.6. Anexo D	250
A.7. Anexo E1	251

A.8. Anexo E2 252

Capítulo 1

Introducción

Una visión general del trabajo documental de la investigación se proporciona en este capítulo. Dado que esta tesis contribuye a la literatura sobre educación en Ingeniería de Manufactura, se proporciona una breve introducción a la investigación educativa en ingeniería y sus características específicas. Esto es seguido por delinear el alcance de la tesis, que se refiere a la educación apoyada en las practicas en el laboratorio. Además, en este capítulo se presenta la motivación y el contexto del trabajo para el desarrollo de la tesis.

A continuación, se presenta un corto preámbulo de las características del proyecto, una breve descripción de la brecha de investigación en el campo y los objetivos de la tesis. Luego una sección que presenta las metodologías que se han utilizado y la forma en que se ha abordado la investigación. Posteriormente, se proporciona una sección sobre la estructura general de la tesis y el contenido de los capítulos individuales. Adicional se muestran los resultados principales del proyecto de doctorado, y los aportes de los laboratorios Híbridos en Ingeniería, seguidos de las dificultades y limitaciones del proyecto, y las conclusiones del capítulo.

Índice de contenidos

1.1. Introducción	2
1.2. Motivación	5
1.3. Planteamiento del Problema	6
1.4. Descripción	7
1.5. Objetivos	8
1.6. Metodología de investigación	9
1.7. Estructura de la tesis	10
1.8. Principales contribuciones	11
1.9. Dificultades y limitaciones	15
1.10. Conclusiones del Capítulo 1	16

1.1. Introducción

La manufactura es, sin duda, uno de los componentes estratégicos en el desarrollo tecnológico, económico y de sostenibilidad, que apoya la generación de riqueza y valor de un país (David, Méndez, Manuel, Osorio, y Baracaldo, 2013). Por ello, cualquier esfuerzo en mejorar su desarrollo será de gran utilidad para naciones que requieren mejorar su calidad de vida (Ariza y Amaya, 2008).

El apoyo en la formación en áreas de STEM ¹, como la ingeniería, es una de las formas estructuradas para mejorar el desempeño en áreas tecnológicas y científicas del sector productivo. Sin embargo, el proceso formativo requiere optimizarse y adaptarse a las situaciones actuales de entorno particular (Gallant, 2007).

La educación en ingeniería de manufactura, tiene características especiales que hace que la teoría y práctica estén cada vez más conectadas y dependientes (Salah y Darmoul, 2018), para que aprovechen los avances recientes en las tecnologías de automatización, información y comunicación. Estas características facilitan; integración, interoperabilidad, modularidad (Chen y cols., s.f.) y la flexibilidad en los entornos de fabricación modernos. La manufactura entra en una nueva era, donde los trabajadores y los ingenieros necesitarán nuevos esquemas de aprendizaje para mantenerse al día con los avances de la tecnología y formarse en las competencias que requieren. Sin embargo, la educación en manufactura no se ha desarrollado al igual que los avances en la tecnología de fabricación, ni con las demandas del mercado laboral (Abele y cols., 2017). La educación en manufactura requiere nuevos enfoques de aprendizaje para:

- Desarrollarse en ambientes realistas tecnificados (Davis y Summers, 2015).
- Utilizar metodologías de aprendizaje cercanas a las prácticas de la industria.
- Aumentar la innovación en manufactura vinculando nuevas estrategias que acerque a los jóvenes al área técnica.
- Desarrollar habilidades blandas ‘Soft skills’(Berglund y Heintz, 2014), para ingenieros el trabajo.

Las instituciones educativas en vista de lo anterior, han trabajado en implementar estrategias de acercamiento entre la industria y la academia. Algunas de estas prácticas son:

- Esquemas de pasantías o prácticas profesionales.
- Apoyo en la creación de plantas de aprendizaje “Learning factory”.

¹El término STEM Science, Technology, Engineering, and Mathematics. Fue presentado por primera vez por la National Science Foundation (NSF) en los años 90. La necesidad de agrupar estas ciencias esta en dar recomendaciones para su fomento.

- Proyectos de investigación con jóvenes investigadores.
- Laboratorios especializados para la “simulación de plantas industriales”.
- Desarrollo de Sistemas Inteligentes de Manufactura (IMS).

Como un componente transversal, a estas prácticas en el proceso de enseñanza en ingeniería, se han establecido ciclos de formación que tiene como elemento imprescindible; experimentación estructurada basada en el estudiante, y el uso de equipos en ambientes “reales” que proporcionan una clara orientación hacia el aprendizaje constructivista. Algunas investigaciones en formación en ingeniería como Kolb (Kolb, 2000) con ‘Experimental Learning, el Learning Style Inventory (LSI)’, CDIO (Alberto, Ríos, y Álvarez, 2012), Aprendizaje Basado en Problemas (ABPr) , Aprendizaje basado en proyectos (ABPy) (Esteban, 2011) y P5BL / Problem-, Project-, Product-, Process-, People-Based Learning™ (Vélez Restrepo, Benjumea Hernández, Castro Peláez, y Ríos Echeverri, 2017), muestran una estructura metodología de pasos y estados conectados y progresivos.

La rápida expansión de Internet y su crecimiento mundial ha significado un impacto en la forma como se desarrollan los diferentes procesos de formación y experimentación en laboratorios (UNESCO, 2000). Diferentes usos, competencias y conocimientos, requieren ahora de herramientas soportadas en las TIC’s para fortalecer variadas disciplinas, por ejemplo: control (Dormido y cols., 2007), electrónica (S. Yang, Chen, y Alty, 2003), robótica (Chaos, Chacón, Lopez-Orozco, y Dormido, 2013), química (Stull, Barrett, y Hegarty, 2013) y biología (Son, Narguizian, Beltz, y Desharnais, 2016) entre otras.

Algunas de ellas, Ing. de Manufactura, Ing. Mecánica, Ing. Procesos e Ing. Industrial, necesita de un gran componente experimental, tanto a nivel teórico como práctico (Mujber, Szecsi, y Hashmi, 2004), en los últimos años esto ha sido profundizado con el uso extendido de tecnologías de punta (Chiang, 2011) y la necesidad de incorporar otros procesos en la formación del ingeniero.

Sin embargo, la tecnología disponible para el desarrollo de recursos educativos en el campo de la experimentación en los procesos de aprendizaje para estas disciplinas presenta ciertas limitantes que impiden alcanzar las competencias (Lopez, Carpeno, y Arriaga, 2014). El origen de muchos paradigmas (Bose, 2013), para el uso ampliado de las experiencias en laboratorios utilizando las tecnologías de información, provienen de la forma como fueron diseñadas y desarrolladas desde una visión presencial.

La formación tradicional (presencial o Hands–On), se ve condicionada por factores que no alcanzan su potencial en la formación de los estudiantes de ciertas áreas técnicas.

Algunos de estos factores son:

- Limitada disponibilidad de horario en el laboratorio (Lowe, 2013)

- Limitado espacio y factores de seguridad industrial en el laboratorio (Henke, Vietzke, Wuttke, y Ostendorff, 2015)
- Sistema de evaluación (auto evaluación y aprendizaje autónomo) (Nickerson, Corter, Esche, y Chassapis, 2007)
- Uso del laboratorio para prácticas de investigación– mayor disposición de tiempo (Grove, Overton, y Boyes, 2013).
- Dificultad de desplazamiento y horario de los estudiantes– educación a distancia (Bochicchio y Longo, 2009)

Otro aspecto, no menos importante, que limita un mayor potencial, es la falta de desarrollo de modelos pedagógicos e investigativos que combinen de forma eficiente componentes de apoyo técnico (vídeo, software, sensores, actuadores, plantas y equipos modulares) aprovechando las ventajas que cada modalidad de laboratorio brinda (presencial, virtual y remoto), (Saliah-Hassane, Correia, y Fonseca, 2013) y (Lopez y cols., 2014).

La Universidad EAN como parte de su proceso de internacionalización y cobertura nacional ha diseñado programas en la modalidad virtual, extendiendo el alcance de los programas presenciales, entre ellos Ingeniería de Producción, Ingeniería de Sistemas y algunos programas de posgrado que actualmente utilizan equipos de laboratorio. Además, estos programas son apoyados con propuestas de *Blended Learning* o *B–Learning*² y *Flipped Classroom (FC)*³ que requieren un acceso más flexible a la experimentación en laboratorios.

Debido a estas situaciones, esta tesis propone una metodología sistemática de diseño de laboratorios híbridos⁴ y convencionales que pueda generar un sistema organizado y coherente con el desarrollo de competencias, escalable, incluyente y efectivo.

La propuesta se basa en la realización de una estructura robusta de un sistema de laboratorios híbridos con componentes presenciales, remotos y virtuales, para brindar la posibilidad de que diferentes actores se apropien de conceptos técnicos y tecnológicos, aprovechando las ventajas de la infraestructura TIC.

Con un sistema de laboratorios híbridos organizado y sistemático se espera:

- Crear nuevas experiencias de laboratorios que sean motivantes y que se adapten a las características del estudiante.
- Incrementar la satisfacción del estudiante en la práctica de laboratorios y mejorar los resultados académicos.

²B-learning : es una propuesta metodológica de combinación del trabajo presencial Fase–to– Fase y del trabajo en línea (combinando Internet y medios digitales).

³Modelo pedagógico que fomenta el trabajo fuera del aula utilizando el tiempo en clase para la experimentación en conjunto con el docente

⁴Experiencia de laboratorio que combina o mezcla recursos y actores de forma armonizada con el fin de cumplir un objetivo educacional.

- Desarrollar laboratorios que preparen a los estudiantes de Ingeniería en un espectro mayor de competencias, por ejemplo el trabajo en equipo, incorporación de tecnología y aprendizaje autónomo.
- Motivar a la investigación y la experimentación más allá de los compromisos académicos con las Unidades de Estudio.
- Promover la cooperación e incrementar el uso de los equipos y sistemas por medio de actividad de experimentación entre diferentes actores del proceso.
- Extender el uso de los recursos de laboratorio a otras instituciones de educación y facilitar el acceso de recursos externos que no se disponen por medio de sistemas confederados de laboratorios.

Para logro de estos desafíos se ha realizado un trabajo de investigación, en diferentes etapas y componentes, que se centra en la sinergia de tecnologías emergentes (la tele—operación, LaaS, la realidad aumentada y virtual, TICs) y equipos tradicionales y avanzados de laboratorio. Se ha obtenido como resultado una metodología para el desarrollo de experiencias que permita la práctica en el ámbito de la ingeniería de manufactura, que ha facilitado la construcción de seis tipos de laboratorios híbridos con el fin de corroborar la pertinencia y evaluar la eficacia frente a los laboratorios convencionales. Además, los resultados aportan a la motivación de otros investigadores en vincular temáticas y actividades que fomenten el uso de las competencias experimentales en la formación del Ingeniero de Manufactura.

1.2. Motivación

El desarrollo de nuevas formas de utilizar los recursos educativos y de enseñar los procesos de manufactura ha de generar una mayor expansión y generación de alternativas para la experimentación. Muchas de ellas se han centrado en desarrollar las mejores estrategias en la operación, dejando un poco de lado efectividad en la formación, y que se genere un procedimiento sistemático, estandarizado y factible. Por la necesidad de brindar acceso (docente – equipo - estudiante) a diferentes experiencias de laboratorio, desde hace poco tiempo, se ha generado el desarrollo de diferentes tipos de laboratorios (Hands—On, remotos y virtuales), de forma aislada y puntual.

La revisión bibliográfica del tema de laboratorios presenciales, remotos y virtuales, se hace evidente que por muchos años se ha trabajado la forma de cómo llevar las experiencias al uso práctico, un autor como Dormido (Heradio, de la Torre, y Dormido, 2016a), ha clasificado los más importantes en virtuales y remotos. Los grandes esfuerzos estaban dirigidos al desarrollo de aplicaciones web, temas de seguridad, programación y aumento de la velocidad de operación, que ahora son superadas (Tawfik, Salzmann, y cols., 2014), por la tecnología y los protocolos desarrollado por algunas entidades. El interés actual se centra en los procesos de escalabilidad, concurrencia y cooperación. El panorama futuro está en la evaluación la eficacia pedagógica que se logra con estos laboratorios. Para muchos autores como Tsihouridis

(2013), Anita Diwakar (2016) y Le (2015) han visto la necesidad de medir la efectividad en de aprendizaje de diversos laboratorios utilizados en la educación en ingeniería y como son usados por docentes y estudiantes

La forma de utilizar los laboratorios en la formación en Ingeniería de Manufactura han cambiado muy poco desde finales del siglo pasado, las actividades con laboratorios especializados se desarrollan en torno a la verificación de principios, la repetición de fenómenos y el seguimiento a estándares, que dejan poco a procesos de experimentación abierta. Las razones van desde el mismo proceso de aprendizaje (objetivos del aprendizaje), riesgos inmersos en el uso de equipos reales hasta elementos de costos y disponibilidad de equipos. Además, se ha buscado la definición de un patrón para el diseño de experiencias de laboratorio y la posibilidad de combinar dentro del proceso de formación, utilizando laboratorios, elementos de las experiencias de laboratorio que se adapten a las necesidades de los actores relacionados en el proceso, para lograr mejores prácticas de aprendizaje y el aumento la efectividad de su aplicación.

Para la industria manufacturera en Colombia, la modernización tecnológica será un objetivo (65,2 %) sobre otros proyectos para recuperar el crecimiento de años anteriores (ANDI, 2017). Entre sus estrategias se ha buscado mecanismos de colaboración conjunta con institutos de educación superior, desarrollando mecanismos como Oficinas de transferencia tecnológica, Programas de educación continuada y Centros de investigación cooperativa y de tecnología (J. López, 2016). Sin embargo, la parte de la infraestructura necesaria, y la transferencia tecnológica requiere de proyectos que le permitan compartir además de recursos, buenas prácticas con las instituciones universitarias.

En respuesta a los problemas mencionados anteriormente, se realizó un estudio sobre la forma de vincular a una práctica de laboratorio en manufactura, las herramientas para combinar y acoplar varios componentes de diferentes tipos de laboratorio. El estudio se enfatiza dos vías:

- Proponer un patrón para el diseño de laboratorios.
- Verificar la efectividad del uso de laboratorios híbridos.

Esto con el fin de determinar los elementos que hacen parte de una práctica de laboratorio y la mejor forma de integrarlos.

1.3. Planteamiento del Problema

La ingeniería tiene un gran componente experimental y de desarrollo de habilidades investigativas que deben ser acordes con las nuevas tendencias mundiales, como son: el teletrabajo, la formación virtual, Industria 4.0, la manufactura virtual y realidad aumentada RA y extendida RE. Es por ello que frente al uso de los diferentes tipos de laboratorios se hace

necesario desarrollar sistemas y plataformas, que de forma eficiente puedan integrar los equipos, ambientes, actores y modalidades de educación, conformes con estas nuevas tendencias y necesidades. En el marco teórico consultado se presentan aplicaciones puntuales que siguen esta tendencia; laboratorios reales, remotos o virtuales, pero muy pocas de forma combinada e integrada en plataformas y sistemas híbridos.

Asimismo, en la literatura no hay muchas referencias, que claramente expongan estudios donde se establezcan de forma sistemática buenas prácticas o normas de aplicación para laboratorios híbridos en manufactura en donde estudiantes hayan hecho uso de las experiencias, limitando el análisis de su efectividad. (Henke, Wuttke, Lutze, 2013). Por ello, este estudio se centra en el análisis de las experiencias realizadas por los estudiantes en los experimentos y el uso de los laboratorios de forma eficiente. Frente a ello se establece la necesidad de estudiar las capacidades que se desarrollan en los laboratorios híbridos con el uso tecnologías de manufactura (Borge Diez, 2012). Basado en lo anterior la pregunta de investigación que se propone es:

¿Cómo son las estructuras (física, lógica y administrativa) que determinan el diseño de un laboratorio híbrido efectivo para la formación de competencias de ingenieros de manufactura?

1.4. Descripción

Resultado de la propuesta de diseño de laboratorios híbridos se propone una serie de prototipos del sistema modular denominado SMART (Sistema Modular de Acceso Rápido Temporal), aplicado a los procesos básicos de la formación en manufactura, soportado en las características propias de los laboratorios para ingeniería:

- **Conceptuales:** Deben tener involucrado los objetivos educacionales, regidos por principios propios del campo de acción o fenómenos que se quieren estudiar.
- **Físicas:** Seguros tanto para las personas como para los equipos, ergonómicos, accesibles
- **Tecnológicas:** Fácilmente controlables, presenta sensores y colector de datos para su análisis.
- **Pedagógicos:** Disponer de ambientes colaborativos.

Para desarrollar estos módulos se estructuró una metodología con el fin de diseñar laboratorios en ingeniería tanto convencionales como híbridos, soportado en componentes modulares, que se relacionan conjuntamente y con elementos funcionales de una práctica o experiencia de laboratorio. El objetivo de la metodología es facilitar la integración de servicios y elementos en una experiencia de laboratorio, que se adapte a los requerimientos del laboratorio y las necesidades de formación. Para Diseñar los módulos SMART, la propuesta metodológica se denominó D-SMART (Diseño de módulos SMART). Ésta a su vez se basa en estándares conocidos y tecnologías ampliamente trabajadas que permite su comunicación, intercambiabilidad, transparente y adaptable. Ya que son muchos los avances y propuestas en el tema de

Laboratorios Hands-On, Virtuales y Remotos, el sistema propuesto debe tener la posibilidad de adaptarse a diferentes desarrollos, instituciones y grado de desarrollo, con el fin de facilitar la vinculación a sistemas más completos (Orduna y cols., 2012). Estas características brindan la posibilidad de intercambiar con otras instituciones recursos, tecnología y en especial conocimientos.

La filosofía de SMART propende por la integración y combinación de los diferentes tipos de laboratorio ya sea en contextos formales e informales, y que esta propuesta sea la plataforma para el desarrollo de nuevas prácticas de laboratorios en diferentes modalidades.

SMART se basa en tres aspectos básicos:

- **Modularidad:** El sistema de Laboratorios debe ser accesible a cualquier modalidad tanto presencial como virtual o la combinación de éstas.
- **Integralidad del equipo:** Los equipos que se emplean en una experiencia de laboratorio deben ser utilizados resguardando su integridad estructural y el control ejecutado desde su software.
- **Bajo costo:** Debido al aumento y la expansión de experiencias de laboratorio su diseño debe ser de bajo costo con el fin de evitar desperdicios e ineficiencias en sus ejecución.

1.5. Objetivos

El objetivo general y los objetivos específicos derivados del proceso de investigación fueron:

Objetivo general:

Diseñar y estructurar un sistema modular para la generación de laboratorios híbridos en las áreas técnicas de Ingeniería de Manufactura.

El Diseño en Ingeniería y en especial la generación de modelos (físicos, matemáticos, procedimentales, etc.) , requiere de un proceso riguroso que nos brinde coherencia y validez. Para resolver el problema de investigación, se propuesto diseñar un sistema modular con una estructura (física y lógica) que determinara el diseño de laboratorios híbridos para la formación de competencias de Ingenieros de Manufactura en procesos de fabricación.

Los objetivos específicos que se adelantaron para el cumplimiento del objetivo General fueron:

- Realizar un análisis sobre los requerimientos técnicos y pedagógicos de los laboratorios para la formación STEM y de Ingeniería de Manufactura.

- Proponer una arquitectura que permita el desarrollo e implementación de forma sistemática de los seis laboratorios híbridos en las cinco áreas específicas de Ingeniería de Manufactura.
- Establecer y desarrollar un módulo estándar para los diferentes niveles de interacción presencial, remota y virtual en las áreas cruciales de la manufactura.
- Corroborar la eficacia del uso de los seis laboratorios híbridos en el desempeño de estudiantes de Ingeniería de Manufactura y la efectividad de la formación.

1.6. Metodología de investigación

El proyecto se desarrolló con el apoyo de actividades constantes en las siguientes fases cronológicas:

- Participación en conferencias, talleres y seminarios.
- Consulta permanente en bases de datos (Science Direct, EBSCO y IEEE).
- Desarrollo de talleres y seminarios con apoyo de las experiencias de laboratorios.
- Apoyo y estancia doctoral en la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Publicación y ponencias en congresos.

Las fases tuvieron diferentes alcances y diferentes metodologías de investigación. De forma general es descriptiva, experimental y aplicada.

De forma particular, se podría especificar para cada fase de la siguiente manera:

- **Fase 1: De campo y descriptiva.** Se tomaron diferentes ejemplos y referentes en el uso laboratorios y aplicación a la formación en ingeniería.
- **Fase 2: De campo y analítica.** Se realizó un inventario de los protocolos y buenas prácticas necesarias para la integración en un sistema general.
- **Fase 3: De laboratorio experimental.** Se conformaron diferentes tipos de laboratorios híbridos para contrastarlos con los convencionales del sistema de laboratorio actual. Esto se evidenciará por el uso de prototipos.
- **Fase 4: De campo explicativo y correlacional.** Basado en los hallazgos y la experiencia de los actores del sistema se establecerán las mejores prácticas y modos de operación para la implementación final del sistema de laboratorios convencionales e híbridos.

1.7. Estructura de la tesis

La estructura de la tesis doctoral se basa en el desarrollo de las actividades cronológicas y permanentes contempladas en el tiempo de la investigación. El documento inicia con la introducción al tema de laboratorios, sus actores y la importancia para la ciencia. En donde se dan los aspectos particulares en el contexto del uso y desarrollo de los laboratorios para las áreas STEM.

El Capítulo 2 - Laboratorios en Ingeniería, se analiza el estado del arte de los diferentes tipos de laboratorio, teniendo en cuenta las modalidades, los tipos de investigación y los referentes tanto metodológicos como aplicados en el campo de la ingeniería. Además, el capítulo concentra su enfoque en la aplicación, tanto para los laboratorios convencionales como los nacientes desarrollos en laboratorios híbridos con enfoque procesos de manufactura y fabricación. Describiendo para esto, los elementos claves que conforman el diseño de laboratorios, su utilización y su importancia para la formación, investigación y fabricación. Otro elemento descrito en el capítulo son los modelos pedagógicos y su vinculación con los laboratorios incluyendo la propuesta de medición de efectividad.

El Capítulo 3- Sistema D–SMART, es el eje central de la propuesta de investigación. En ella, se pone en práctica la metodología de creación de módulos SMART de laboratorios híbridos sobre el cual se articulan las actividades que conllevan a todo un sistema de desarrollo, uso y evaluación de laboratorios. En este mismo capítulo se muestra de forma detallada el diseño, implementación y evaluación de seis diferentes experiencias de laboratorio híbrido LH1 a LH6, buscando sus ventajas y desventajas frente a laboratorios convencionales.

El prototipo híbrido desarrollado inicialmente en la UCLM, en Toledo – España con ayuda de estudiantes de Ing. Industrial (UCLM) e Ing. De Producción (EAN), brinda las bases para establecer los protocolos y verificación de los medios de comunicación. En una fase posterior se despliegan los demás módulos en diferentes campos de aplicación en la enseñanza de Ingeniería de Manufactura.

El Capítulo 4- Conclusiones, se encuentra la discusión de resultados, que nos conlleva a diferentes aplicaciones, entre ellas la definición de los parámetros para la vinculación de nuevos laboratorios en el sistema general, recomendaciones de diseño para docentes y estudiantes, y la propuesta de diferentes modos de operación basados en las características y necesidades. En la Fig. 1 se esquematiza las diferentes fases y los productos que se obtienen en casa una de ellas. El producto final del proceso de investigación brinda los lineamientos de un sistema general de laboratorios híbridos utilizando la metodología D–SMART.

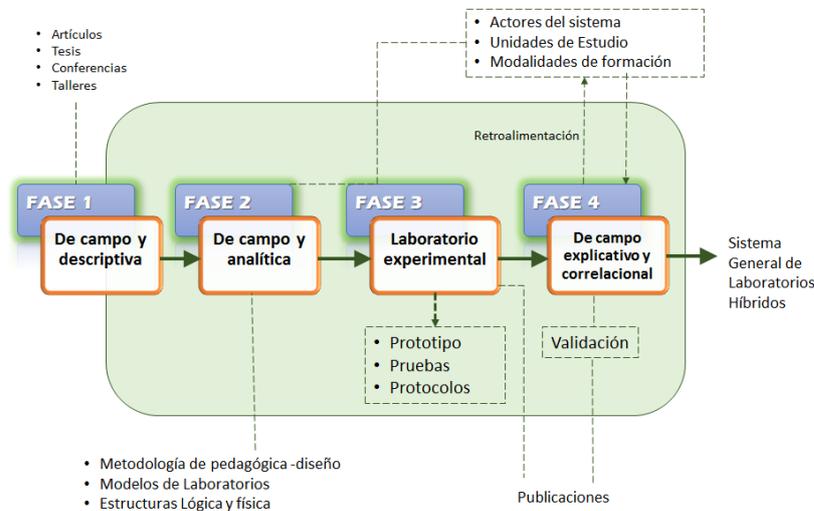


Figura 1.1: Metodología utilizada en la investigación

1.8. Principales contribuciones

Las contribuciones de la investigación son de dos tipos:

- **Metodológico:** desarrollo y uso de la metodología D–SMART para la generación de laboratorios convencionales e híbridos, y la implementación de un protocolo para la vinculación y uso de laboratorios híbridos.
- **Divulgación:** publicaciones académicas.

1.8.1. Principales contribuciones

En ingeniería se distinguen claramente cuatro fases que componen un proceso organizado y metodológico para el desarrollo de proyectos técnicos de implementación y desarrollo. Estas etapas son: Requerimientos, Arquitectura, Construcción y Evolución. Todas las fases están interrelacionadas y retroalimentadas generando un sistemas de lazo cerrado, vinculado con sistemas de evaluación y mejoramiento. Las metodologías desarrolladas por la investigación son las siguientes:

- **La metodología D–SMART:** para el diseño de prácticas en laboratorios convencionales e híbridos en la formación en ingeniería, soportada por la estructura física, lógica y pedagógica. Su objetivo es vincular y visualizar los factores que intervienen en una práctica de laboratorio y los mecanismos de evaluación que requiere (ver anexo H).
- **Protocolo de ejecución de módulos SMART:** Para unificar y estandarizar con una propuesta única, este protocolo busca servir de modelo para el desarrollo de la

experiencia de laboratorio. Su principio sigue la lógica del sistema de control de lazo cerrado, y formada por los componentes de un sistema de experimentación centrado en el aprendizaje (ver anexo J).

Para la implementación de estas metodologías se han desarrollado otras aplicaciones, herramientas y montajes físicos:

- Aula virtual Moodle para el entrenamiento en el uso de laboratorios CNC de forma remota.
- Portal de laboratorios híbridos en Manufactura⁵
- Estructura física y lógica de los laboratorios híbridos. Arquitectura de soporte tecnológico y control de acceso para los diferentes modos de operación (ver anexo J).
- Protocolo de acceso a laboratorios remotos. Pasos para la conexión de forma remota de usuarios externos a equipos tele-operados sobre una plataforma de trabajo colaborativo (ver anexo K).
- Protocolo de reservas On-line. – propuesta para la reserva de equipos y alistamiento de prácticas híbridas (ver anexo L).
- Estructura de control remoto – Con arduino. Propuesta lógica del montaje de equipos asistidos de forma remota bajo el esquema de equipo desatendido (ver anexo M).

1.8.2. Publicaciones Académicas

Durante la investigación se han construido diferentes documentos (guías, talleres, manuales, etc), se han desarrollado actividades de divulgación científica como conferencias internacionales (Ponencias, capítulo de libro, etc.), relacionadas con la formación en ingeniería. Otras actividades de investigación están apoyadas en la investigación (Certificaciones, proyectos de investigación, etc.). De los periodos de evaluación se puede declarar los siguientes productos y actividades:

Contribuciones a congresos:

- Asistencia a REV2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation – Madrid España 24-26 febrero de 2016.
- Ponencia al congreso EDULEARN 8th anual internacional Conference on education and New learning technology

⁵Disponible en : <https://sites.google.com/a/ean.edu.co/laboratorios-hibridos-en-ingenieria-de-manufactura/>

Velosa, J., Espildora, E., Castillo-Garcia, F., Gonzalez, A. (2016). EDULEARN16 (8th annual International Conference on Education and New Learning Technologies). En IATED (Ed.), DESIGN A HYBRID LAB IN ENGINEERING: A PROPOSAL FOR STEM LEARNING (pp. 521-538). Barcelona (Spain): EDULEARN16.

- Participation XIV LACCEI International Multi/ Conference for Engineering, Education and Technology

Velosa, J., Castillo-Garcia, F., Cobo, L. (2016). XIV LACCEI International Multi/ Conference for Engineering, Education and Technology. En LACCEI (Ed.), Laboratorios Híbridos en Ingeniería: Integración de nuevas experiencias y sus alcances (pp. 1-2). San José, Costa Rica.

- VI Jornadas Doctorales Título: LABORATORIOS HÍBRIDOS EN INGENIERÍA: INTEGRACIÓN DE NUEVAS EXPERIENCIAS TECNOLÓGICAS Y SUS ALCANCES PEDAGÓGICOS. ISBN: 978-84-16393-82-4.⁶

Velosa, J. (2016). VI Jornadas Doctorales UCLM. En V. de I. y política C. UCLM (Ed.), Laboratorios Híbridos en Ingeniería: Integración de nuevas experiencias tecnológicas y sus alcances pedagógicos (pp. 253-254). Campus de Toledo (España): Universidad de Castilla-La Mancha.

- Ponencia a congreso internacional en proyectos IICIDGP - LIDERAZGO EN DOCENTES Y EL TRABAJO EN EQUIPO EN LA FORMACIÓN HÍBRIDA. Universidad EAN 2018.

Pachón, M. L., Velosa, J. (2018a). IICIDGP - II Congreso Internacional en Dirección y Gestión de Proyectos. En Universidad EAN (Ed.), Liderazgo en docentes y el trabajo en equipo en la formación híbrida (pp. 1-9). Bogotá (Colombia): UEAN.

- Participación REV2017 14th International Conference on Remote Engineering and Virtual.⁷

⁶Disponible en: http://eid.uclm.es/files/2016/10/Libro_resumenes_VI_Jornadas_Doctorales_UCLM.pdf

⁷https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-64352-6_2

- Participación a congreso internacional ICERI2018 - IMPLEMENTATION OF HYBRID LABORATORY IN MICROSCOPY APPLIED TO MATERIALS SCIENCE.

Publicaciones en Revistas Indexadas en SJR

- Artículo DYNA – Colombia SJR: Q2 0.24 - Requerimientos para laboratorios híbridos en Ingeniería de Manufactura. Velosa, Jose Divitt Edward et al. DYNA(2017), 84 (203):65⁸.

Velosa, J. D. E., Castillo-García, F. J., Espíldorab, E., Cobo, L. (2017). Requerimientos para laboratorios híbridos en Ingeniería de Manufactura. Dyna, 84(203), 65–74. Descargado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/61495>doi: 10.15446/dyna.v84n203.61495

- Artículo IEEE-RITA.- EEUU SJR: Q3 0.26 IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje OASP-RITA-12-2018-0013.R1 - Configuración de Laboratorios Híbridos para la enseñanza en Ingeniería (Documento en revisión).

Velosa, J. D. E., Castillo-García, F. J., y Cobo, L. (2019). Configuración de Laboratorios Híbridos para la enseñanza en Ingeniería. IEEE-RITA Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje, 1–9

Capítulos de libro

- Libro Online Engineering Internet of Things Capitulo 92. Methodological Proposal for Use of Virtual Reality VR and Augmented Reality AR in the Formation of Professional Skills in Industrial Maintenance and Industrial Safety.⁹ - Editors: Prof. Dr. Michael E. Auer Dipl.-Ing. Danilo G. Zutin ED. Imprint Springer International Publishing 2017

Velosa, J. D., Cobo, L., Castillo, F., Castillo, C. (2018). Methodological proposal for use of Virtual Reality VR and Augmented Reality AR in the formation of professional skills in industrial maintenance and industrial safety. In Online Engineering Internet of Things (pp. 987-1000). Springer, Cham.

- Libro DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS- Universidad EAN. Cap9. LIDERAZGO EN DOCENTES Y EL TRABAJO EN EQUIPO EN LA FORMACIÓN HÍBRIDA. Martha Lucía Pachón Palacios José Divitt Velosa García 2018.

⁸<http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v84n203.61495>.- Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/61495>

⁹https://doi.org/10.1007/978-3-319-64352-6_2

Pachón, M. L., Velosa, J. D. (2018). Liderazgo en docentes y el trabajo en equipo en la formación híbrida. En Universidad EAN (Ed.), Dirección y Gestión De Proyectos (1.a ed., pp. 157-178). Bogota D.C.: EAN.

Proyectos de Investigación - InterUniversitario

Diseño e implementación de plataforma de laboratorios virtuales y remotos. Director: Pablo Carreño Hernández Bogotá D.C. 2019.

Grupo: Davincis · Fredys Simanca H. - Fabián Blanco - Jose Benigno L. (Ingeniería Unilibre Bogotá)- Grupo: Ontare · Luis Armando Cobo Campo - José Divitt Velosa García (Universidad EAN).

Otras actividades

- Documentos de apoyo a actividades administrativas - Taller práctico CNC EAN-UCLM.
- Curso SPSS para investigadores / Universidad EAN.
- Taller en Albacete –Redacción de artículos científicos. Escritura de documentos en Inglés.
- Curso virtual de la UCLM : Doctorado - gestión y procesos (doctorandos)
- Putting innovate Doctoral training into Practice - Universidad de la Sabana 2017.
- Certificación de Estándares en Competencias pedagógicas- Universidad EAN 2018.

1.9. Dificultades y limitaciones

La investigación en educación en ingeniería presentan un gran reto, ya que se busca aprovechar los resultados fenómenos de ingeniería y ensayos técnicos; reales cuantitativos y exactos, para desarrollar conceptos que aporten en un la ciencia cualitativa (pedagogía). Esto conlleva a que la investigación en ingeniería busque adaptar sus metodologías a procesos mediados por condiciones humanas y no técnicas o a la adopción de métodos diferentes a los utilizados en ingeniería (Abdulwahed, 2010).

Muchos factores afectan negativamente y obstaculizan la investigación sobre la educación en ingeniería empírica comparativa (Vega-González, 2013). Algunos de ellos son: la cantidad de equipos de laboratorio, el tiempo para hacer la práctica, las restricciones de seguridad y espacio pero, en especial, un número relativamente reducido para las prácticas en las clases de Ingeniería de Manufactura.

Otros elementos que complican el estudio de la educación en ingeniería, es el tema ético en relación con la formación de dos grupos de estudiantes con diferentes enfoques de enseñanza. Esto es particularmente importante en el tema de la ética con el fin de evitar la injusticia o direccionar la investigación al escoger una metodología y un grupo específico. Otros problemas éticos según (Vega-González, 2013) son:

- Ocultar a los participantes la naturaleza de la investigación o hacerles participar sin que lo sepan.
- Exponer a los participantes a actos que podrían perjudicarles o disminuir su propia estimación.
- Invasión de la intimidad de los participantes.
- Privar a los participantes de los beneficios.

1.10. Conclusiones del Capítulo 1

El objetivo de este primer capítulo es servir de preámbulo al lector, proporcionando una descripción general de la tesis doctoral y una guía metodológica. Inicialmente, se presentaron las principales características en el campo de la investigación en educación en ingeniería. Seguido, se definió el alcance y objetivos de la tesis, se explicaron las metodologías y las fases que se concibieron para el desarrollo de la investigación.

Se describió la estructura general del contenido de los capítulos de la tesis y sus productos derivados del desarrollo de la misma en cada momento. El documento tiene un capítulo de revisión literaria en los laboratorios, un capítulo para el desarrollo de la metodología y el desarrollo de las estrategias, análisis de los datos y la propuesta de los modelos. Finalmente, se ha proporcionado una sección para mostrar los principales resultados del proyecto de investigación. Al final de este capítulo introductorio se presentan las principales dificultades y limitaciones y aportes del proyecto de investigación.

Capítulo 2

Aplicación de laboratorios en STEM – situación actual

Los laboratorios para formación en ingeniería están estrechamente relacionados con el desarrollo tecnológico de la ciencia y las necesidades de la industria. Las experiencias desarrolladas en estas instalaciones deben adaptarse para generar las competencias que los profesionales en ingeniería requieren en la actualidad y en el futuro. Este capítulo presenta la definición de las experiencias de laboratorio, las ventajas de los diferentes tipos de laboratorio y la importancia que tienen para el desarrollo de competencias en Ingeniería de Manufactura. Además, se despliega las estructuras principales (Física, Lógica y de Gestión) que se integran en una experiencia de laboratorio.

Índice de contenidos

2.1. Aplicación de laboratorios en STEM – situación actual	18
2.2. Definición de laboratorio	20
2.3. Usos de laboratorios	23
2.4. Principales especificaciones técnicas de los laboratorios	30
2.5. Características de los Modelos Pedagógicos en STEM	40
2.6. Estado del Arte en Clasificación de Laboratorios	56
2.7. Estructuras Física, Lógica y de Gestión de un laboratorio	85
2.8. Evaluación de las prácticas de laboratorio en Ingeniería	96
2.9. Laboratorios en Ingeniería de Manufactura - revisión literaria	97
2.10. Conclusiones Capítulo 2	102

2.1. Aplicación de laboratorios en STEM – situación actual

Las primeras referencias del uso del trabajo práctico como apoyo a la formación, se remontan a la aplicación en las ciencias básicas como la química, física y biología, que empezaron a ser parte de los currículos a finales del siglo XIX, (Barbera y Valdes, 1996). Sin embargo, se han desarrollado en un amplio espectro experiencias en diferentes de profesiones, en especial las ciencias que requieren evaluar elementos pedagógicos, como son: (Rashid, Tasadduq, Zia, Al-Turkistany, y Rashid, 2012).

- Relación entre teoría y práctica de laboratorio.
- Nivel de contenido de experimentos.
- Nivel de actividad de los estudiantes.
- Entorno de aprendizaje en el laboratorio.
- Eficacia de los manuales de laboratorio.

A mediados de los años 60's, como lo menciona (Gallant, 2007) los EEUU implementaron algunas estrategias para fomentar la educación en ciencia y tecnología. Muchas de ellas se centraron en la formación y el desarrollo de competencias para el desarrollo de científicos e ingenieros en áreas claves, y así no alejarse de su liderazgo a nivel global. Fruto de esas estrategias, fue el agrupamiento de cuatro áreas integrales denominado STEM que fue presentada formalmente por la NSF **National Science Foundation** en los años 90. En esa dirección se propuso articular los laboratorios prácticos con los conceptos técnicos (Burke-Vigeland, M., Kelley, K., Moore, M., Rivera, S. & Thaler, 2013), con un enfoque interdisciplinario, en dónde primase el apoyo de la tecnología y su correcto aprovechamiento.

Algunos de los objetivos de estas áreas se centran en mejorar la enseñanza de la ciencia, el aprendizaje de los estudiantes y la productividad del aprendizaje del estudiante (Fairweather, 2008).

Sin embargo, el panorama en el desarrollo de los laboratorios en STEM es mucho más amplio y antiguo. Los laboratorios presenciales; **Face to Face** o también denominados **Hands-On**, han estado presentes desde mediados de la revolución industrial en los centros de formación superior de muchos países industrializados (Wright y cols., 2017).

Ahora, con la aparición de la modalidad de laboratorio virtual VL, para la formación en ingeniería, se dio la apertura de una gran cantidad de nuevas experiencias y posibilidades (ver Fig.2.1.)

En los últimos años se observan tendencias claras en el diseño de los laboratorios y sus experiencias en ingeniería. Éstas están enfocadas en cuatro aspectos principales (Gibbins y Perkin, 2013),(Heradio, de la Torre, y Dormido, 2016b):

- Mayor inmersión y realismo – cambio en espacio físico.
- Conexión a Internet - colaboración más estrecha.
- Laboratorios a la medida – incrementar el uso de la tecnología.
- Mezcla de experiencias - acorde a cada estudiante.

Estas tendencias se ven reflejadas en el aumento tanto de referencias como de proyectos mancomunados de organismos internacionales.

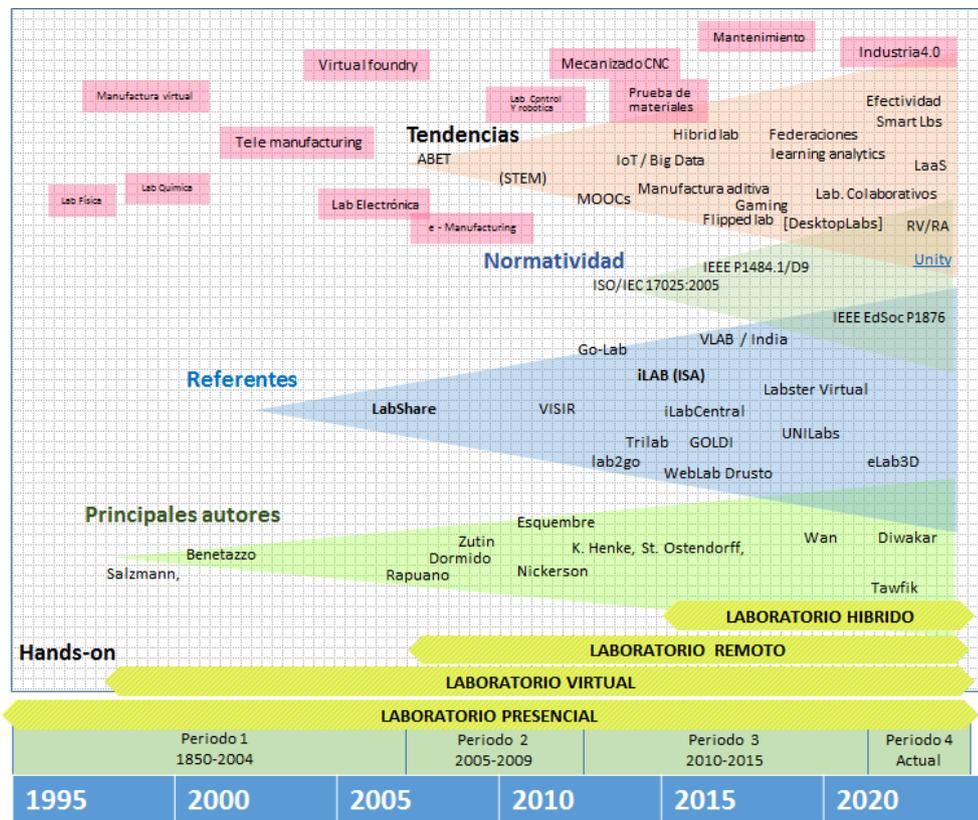


Figura 2.1: Desarrollo de los laboratorios en STEM

Fuente: Elaboración propia basado en Singer (Singer, Hilton, y Schweingruber, 2005)

Algunos autores clasifican el desarrollo de los laboratorios en periodos de crecimiento basado en el cambio de tendencias (Heradio y cols., 2016b), (L. F. D. S. Gomes y García Zubía, 2007) y (Singer y cols., 2005). El primer periodo se enfocó en el desarrollo de instalaciones que reprodujeran los fenómenos en campos específicos. El segundo periodo, la implementación de la simulación y el uso de los primeros computadores marcó las tendencias. El tercer periodo concentró sus esfuerzos en la estandarización y el cuarto periodo, la posibilidad de federar equipos y el fortalecimiento del trabajo colaborativo. Solamente hasta finales del siglo

pasado ha habido grandes aportes en su aprovechamiento y la relación entre los procesos de enseñanza-aprendizaje.

La importancia de los laboratorios en STEM se ve representada en el aumento de publicaciones en el área del conocimiento de la formación en ingeniería. En la Fig. 2.2 se observa un incremento sostenido desde 1998 a la fecha.

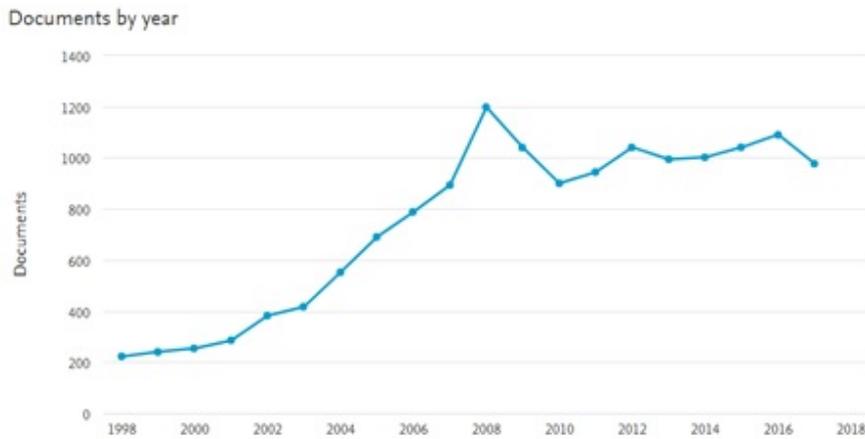


Figura 2.2: Crecimiento en el número de publicaciones 1998-2018
Fuente: Scopus- Search :TITLE-ABS-KEY (stem AND laboratories)

Las áreas de mayor investigación son: Medicina con un 34.8 % de los documentos publicados y tan solo en ingeniería es del 6.9 % (ver Fig. 2.3).

2.2. Definición de laboratorio

Desde finales del siglo XIX los laboratorios formaron parte del currículo de las ciencias en universidades de Inglaterra y Estados Unidos. Desde entonces este tipo de prácticas se ha mantenido como elemento importante en la enseñanza de las ciencias la tecnología la ingeniería y las matemáticas Gree y Clackson citado por (Arcos, 2012). La práctica de laboratorio tienen como fin desarrollar en el estudiante competencias para su vida profesional (Lugo, 2006) y estudios posteriores de tal manera que "...el saber hacer" se haga en un contexto igual o similar al que se encontrarán más adelante en la industria o en otros laboratorios más especializados.

Existen tres clases de trabajo práctico que pueden servir para desarrollar distintas competencia en ingeniería (Arcos, 2012).

1. Ejercicios: diseñados para desarrollar competencias las técnicas y destrezas prácticas.

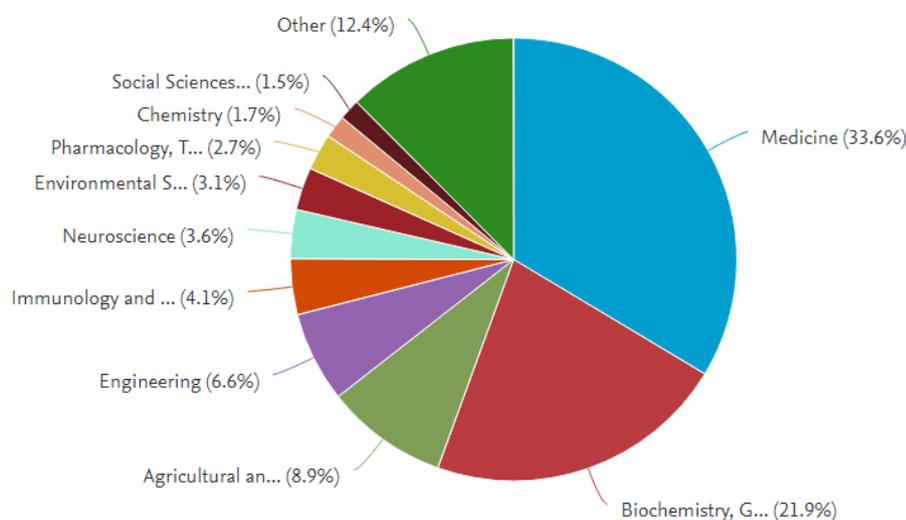


Figura 2.3: Áreas de publicación de laboratorios STEM

Fuente: Scopus- Search :TITLE-ABS-KEY (STEM AND Laboratories)Date: 01/06/2019

2. Investigaciones: durante las cuales el estudiante debe enfrentarse a situaciones reales que analizan científicamente.
3. Experiencias: cuyo objeto es mostrar a los alumnos algunos fenómenos naturales.

Sin embargo, una experiencia de laboratorio, para la formación, definida no solo como una combinación de espacio, máquinas, equipos o insumos, es mucho más efectiva cuando se combina o alterna con la experimentación en laboratorios y el trabajo teórico (Burke-Vigeland, M., Kelley, K., Moore, M., Rivera, S. & Thaler, 2013).

Los laboratorios pueden tener diferentes definiciones dependiendo su aplicación, en formación como: la representación del lugar conceptual donde los estudiantes van a usar un equipo físico asignado (Gateway4labs, 2014). Para la industria, para ensayos, y calibración son instalaciones donde se realizan análisis a cargo de personal cualificado y con equipo adecuado (AENOR, 2002).

Es difícil definir con claridad un laboratorio para STEM, pero una definición sobre las experiencias que se pueden lograr es aportada por Singer, Hilton, & Schweingruber (Singer y cols., 2005)

...”Las experiencias de laboratorio brindan oportunidades para que los estudiantes interactúen directamente con el mundo material (o con datos extraídos del mundo material), utilizando las herramientas, técnicas de recopilación de datos, modelos

y teorías de la ciencia.”

Además, el comité *Committee on High School Science Laboratories*¹ identificó una serie de objetivos de aprendizaje que se han atribuido a experiencias de laboratorio:

- Mejorar el dominio de la materia.
- Desarrollar el razonamiento científico.
- Comprender la complejidad y la ambigüedad del trabajo empírico.
- Desarrollar habilidades prácticas.
- Comprender la naturaleza de la ciencia.
- Cultivar el interés por la ciencia y el interés en el aprendizaje de la ciencia, y
- Desarrollar habilidades de trabajo en equipo.

Para ABET² los requisitos de laboratorio incluyen mediciones, análisis, diseño de ingeniería, comunicación técnica y análisis estadístico de los resultados. Todo ello está incluido en los experimentos de laboratorio. Los laboratorios en la academia permiten reforzar la teoría, aportan la enseñanza de técnicas experimentales y permiten desarrollar valores sociales y de comunicación.

En la actualidad, el *Accreditation Board for Engineering and Technology* (ABET) señala como requisitos del laboratorio: la realización de un trabajo “apropiado” en todos los planes de estudios, así como combinar elementos teóricos y prácticos. Si esto se hace en forma apropiada [incluirá mediciones, análisis y diseño de ingeniería](#), así como el proceso ordenado y lógico para producir resultados válidos. ABET también exige una exposición de [análisis estadístico](#), diseño de ingeniería y comunicación verbal. Todo ello está incluido en los experimentos de laboratorio.

Las definiciones de experiencias de laboratorio y prácticas de laboratorio se pueden resumir en la tabla 2.4:

¹Fue nombrado por National Academy of Sciences que es una sociedad privada de los EEUU, sin fines de lucro y auto perpetuada de distinguidos estudiosos dedicados a la investigación científica y de ingeniería, dedicada al fomento de la ciencia y la tecnología ya su uso para el bienestar general.

²Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET)

Figura 2.4: Definición de “Experiencia” Laboratorio

Autor	Definición	Referencia
MEN-Ministerio de Educación Nacional de Colombia	<p>Laboratorio es un lugar dotado de los medios necesarios para realizar investigaciones, experimentos, prácticas y trabajos de carácter científico, tecnológico o técnico; equipado de instrumentos de medida o equipos con que se realizan experimentos, investigaciones o prácticas diversas, según la rama de la ciencia a la que se dedique.</p> <p>Una práctica de laboratorio. "es una actividad que se organiza y se imparte en tres partes o momentos esenciales: Introducción, Desarrollo y Conclusiones, razón para considerarlas una forma de organizar el proceso para enseñar y para aprender"</p>	(Ministerio de Educación, 2015)
ACOFI – Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería	Una <i>experiencia</i> se diferencia de una <i>práctica</i> en que la primera involucra el pensamiento del sujeto conocedor con todas sus dimensiones y la segunda es un protocolo en donde el estudiante está limitado a responder lo esperado.	(Castiblanco & Vizcaino, 2008)
UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization	El <i>trabajo en el laboratorio</i> un componente muy importante de la educación en ingeniería, ya que integra y acerca la teoría con proyectos reales de la industria.	(Jones, 1998)
Universidad Autónoma de Chapingo	...es una actividad didáctica basada en una experiencia en la que se cuestionan los conocimientos y habilidades de una o más disciplinas	(Aleján Suárez & Mata Mendoza, 2006)

2.3. Usos de laboratorios

Las prácticas o experiencias de laboratorio son utilizadas con diferentes fines y propósitos por parte de universidades o Instituciones de Educación Superior. Estas prácticas se pueden clasificar en cuatro grandes áreas según su objetivo:

- **Formación** (aprendizaje del individuo), este tipo de prácticas están enfocadas en el desarrollo de habilidades y competencias en el estudiante. Su objetivo fundamental está en preparar al estudiante para su desempeño en su contexto de formación profesional específica.
- **Investigación** (proceso experimental), las prácticas están destinadas a establecer principios, relaciones, nivel de influencia de variables, etc, con respecto a un fenómeno de estudio en un ambiente controlado.
- **Uso corporativo** (producto), el objetivo es el desarrollo de productos o desarrollo de pruebas de producto. Su objetivo se centra en el producto resultado, ya sea como parte de otro proceso o para validar el producto con un estándar.
- **Otros servicios** (no especificados), capacitación de usuarios, demostración externa, mantenimiento, etc.

Las primeras, las actividades de formación en un laboratorio se utilizan para; validar teorías, corroborar principios, establecer relación entre variables, demostración de la teoría y experimentar modelos. Además de comprobar los fenómenos de la naturaleza, con el uso de los laboratorios es posible comprobar el desempeño y funcionamiento de un sistema o componente industrial (CONACES, 2016).

Las prácticas en investigación se utilizan para; desarrollar nuevas teorías, crear equipos, desarrollar nuevas prácticas, innovación tecnológica, solución de problemas complejos de la Industria, proponer modelos y comprobar modelos teóricos de forma experimental (estudios explicativos).

Y las prácticas de uso corporativo que apoyan de alguna forma las dos anteriores aunque el grado de participación de los actores sea diferente: como fabricación propia e externa, certificación de tecnología y asesoría a la industria.

Sin embargo, en una sola práctica de laboratorio pueden tener los tres componentes o enfoques, donde el lineamiento y desarrollo es determinado por el objetivo principal por el cual se diseñó e implementó el laboratorio. En este caso una práctica de laboratorio integral debería estar compuesta por la suma de los enfoques y objetivos.

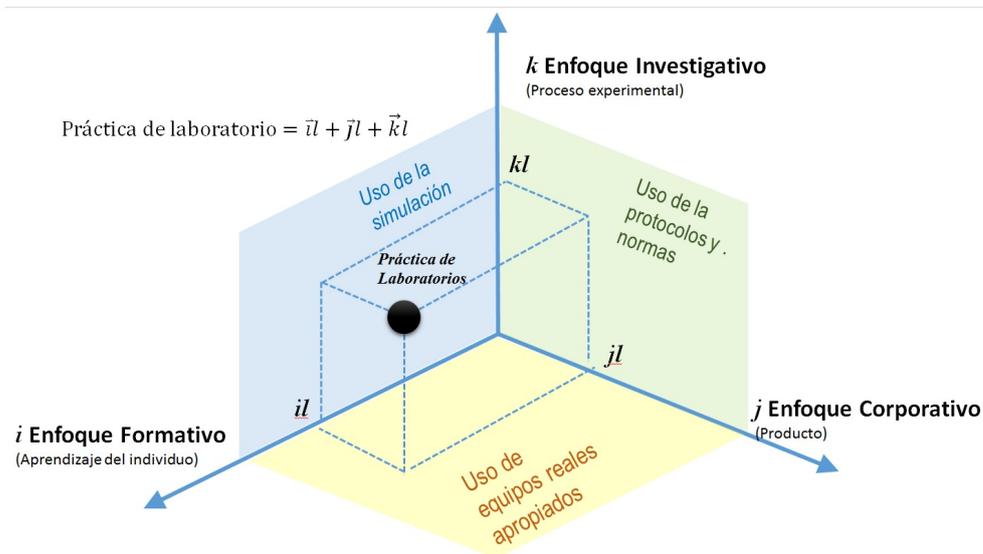


Figura 2.5: Práctica integral de laboratorio

Con respecto al nivel y profundidad dado a una experiencia de laboratorio, unos los principales factores que rigen el uso y aplicación, es el grado de relación de su complejidad ³ (Romero López, 2010) y el desarrollo de competencias ⁴ (Palma Lama, Miñán Ubillús, y de los Ríos Carmenado, 2011).

En la Fig. 2.6 se ubican diferentes ejemplos de tipos de prácticas en laboratorios o experiencias para cada uno de los diferentes usos que les han dado a los laboratorios en Ingeniería.

Como se observa en la Fig. 2.6, la relación entre grado de complejidad y desarrollo de

³El grado de complejidad se refiere al número de variables y el contexto en la toma de decisiones

⁴Estas pueden ir desde competencias genéricas hasta altamente especializadas

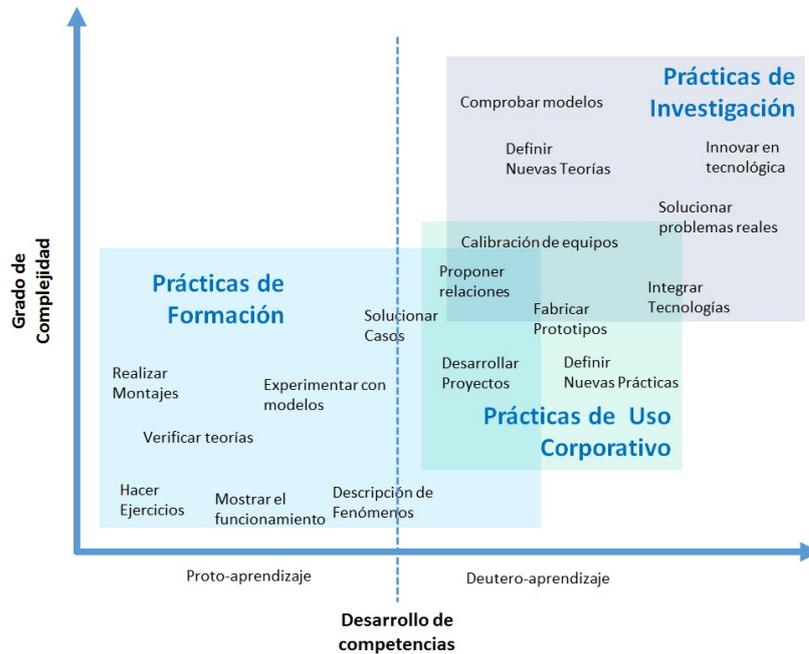


Figura 2.6: Ejemplos de experiencias de laboratorio en ingeniería

Concepto: Proto y deutero - aprendizaje se definen como niveles del aprendizaje ⁵

competencias establece la profundidad del objetivo del laboratorio. Las Prácticas de formación más importantes según Durango (Durango Usuga, 2015) son: ejercicios, descripción de fenómenos, actividades demostrativas, experimentar con modelos, solución de casos donde deben Predecir-Observar-Explicar-Reflexionar, y afianzar el aprendizaje de conceptos.

2.3.1. Enfoque y objetivos de los laboratorios en Formación

Los enfoques y objetivos en el desarrollo de las prácticas en laboratorio son diferentes en cada área del conocimiento (ej. Matemáticas, Biología, Manufactura, etc.) ya que se involucran diferentes intenciones, actores, componentes y recursos. Estos cambios conllevan a que el diseño, implementación y evaluación sea diferente en cada aplicación. En caso particular del área de formación su principal enfoque está en servir de apoyo al proceso de enseñanza-aprendizaje de la ciencia en particular que se trata.

Centrado en la práctica: Durango Usuga citando a Barolli (Durango Usuga, 2015) propone que las experiencias de laboratorio para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, deben alcanzar además de habilidades motrices, habilidades cognitivas y actitudes frente a la experimentación. Para ello abordan los laboratorios con diferentes enfoques como:

- Un medio de **explorar** la relación entre Física y realidad.
- Una estrategia para el **desarrollo de conceptos y habilidades procedimentales**.
- Un lugar privilegiado para el **trabajo en equipo**.
- Una **estrategia motivadora** para la enseñanza de las ciencias.
- Un **ambiente cognitivo** fértil para aprender ciencias.

En tanto los objetivos de los laboratorios en contrapartida de las visiones de la ciencia y de aprendizaje, los clasifica en una visión empirista y constructivista del conocimiento:

- Ilustración de la teoría.
- Estrategia de descubrimiento individual y autónoma.
- Entrenamiento en los procesos de la ciencia.
- Escenario de cuestionamiento de paradigmas.
- Investigación colectiva orientada por situaciones problémicas.

Con respecto a la estructura para su desarrollo, una práctica de laboratorio puede ser:

- Estructurada: el estudiante es conducido paso a paso.
- Estructura al experimento: se enfoca en las partes y elementos del experimento.
- Enfoque al desarrollo del conocimiento: se concentra en el desarrollo epistemológico del experimento.

Otro aspecto para la clasificación de experiencia de laboratorio se propone en la intención de recolectar e interpretar datos :

- Toma del comportamiento de una variable y la influencia de otras en el tiempo. Un caso de ellos son las prácticas de tratamientos térmicos de endurecimiento y su relación con el tiempo de tratamiento.
- Recolectar todas las variables que afectan un fenómeno en un momento dado con el fin de comprender el contexto donde se da una práctica. Un ejemplo es mecanizado donde se evalúa el material, la herramienta y el equipo (máquina - herramienta), para determinar las variables óptimas de trabajo.

Centrado en la persona: Para (Emiro y cols., 2015), la educación en Ingeniería se puede definir en preparar a los estudiantes para el uso de los recursos fundamentales, energía material e información, donde el individuo es eje principal de la experiencia. Para esta preparación existen diferentes modelos pedagógicos vinculados a los planes de formación basados en las experiencias. Algunos modelos utilizados en el aprendizaje experiencial en el laboratorio se muestran en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1: Modelos pedagógicos aplicados en ingeniería

Modelo	Definición	Enfoque	Aplicaciones en laboratorios de ingeniería
Kolb ⁶	La experiencia se define a toda la serie de actividades que permiten aprender. Está compuesto por cuatro estilos de aprendizaje: Experiencia concreta, observación reflexiva, Conceptualización abstracta y experimentación activa. Kolb, David A., Boyatzis, Richard, E., Mainemelis, 2000	Proceso de aprendizaje conceptual	Laboratorio de electrónica básica (García-Zubia & Alves, 2012)
CDIO ⁷	Corresponde a una metodología cuatro fases (Concebir-Diseñar-Implementar-y-Operar). Actualmente es una iniciativa como marco de planificación curricular en facultades de ingeniería. (Alberto, Ríos, & Álvarez, 2012)	Desarrollo de habilidades y competencias	Laboratorio Máquinas eléctricas. (Téllez Gutiérrez & García, 2013)
VARK ⁸	Modelo de estilos de aprendizaje basado en la clasificación de modalidades sensoriales VARK es el acrónimo por sus siglas en inglés de Visual, Aural, Read/Write, Kinesthetic.	Desarrollo de estrategias de aprendizaje	Mundos virtuales y Aprendizaje basado en problemas (Alkhasawneh, Mrayyan, Docherty, Alashram, & Yousef, 2008)
4MAT ⁹	Es un modelo de planificación de la formación (Pawelek, 2013). Está compuesto de cuatro fases: Experimentar, Conceptualizar, Aplicar y Crear. Incluyen 8 pasos.	Planificación de clase y desarrollo de modelos pedagógicos para varios estilos de aprendizaje	Enseñanza de la Física. (Díaz, 2010)

⁶Experto en administración de la Universidad Case Western Reserve, desarrolló un modelo de aprendizaje basado en experiencias

⁷En el portal de CDIO sirve de vínculo entre diferentes Universidades participantes : <http://www.cdio.org/cdio-vision>

⁸Desarrollado por Neil Fleming en colaboración con Collen Mills de la Universidad de Lincoln, en Nueva Zelanda, desarrollaron en el año 1992

⁹Creado por Bernice McCarthy sobre el modelo de Kolb.

Cada uno de ellos se fundamenta en un ciclo que genera planes de diseño, desarrollo, implementación y evaluación. Sin embargo, el componente de prácticas de laboratorio es un elemento general de uso permanente y nuclear. En la Fig. 2.7 se observa el lugar que ocupa el laboratorio en cada uno de los modelos.

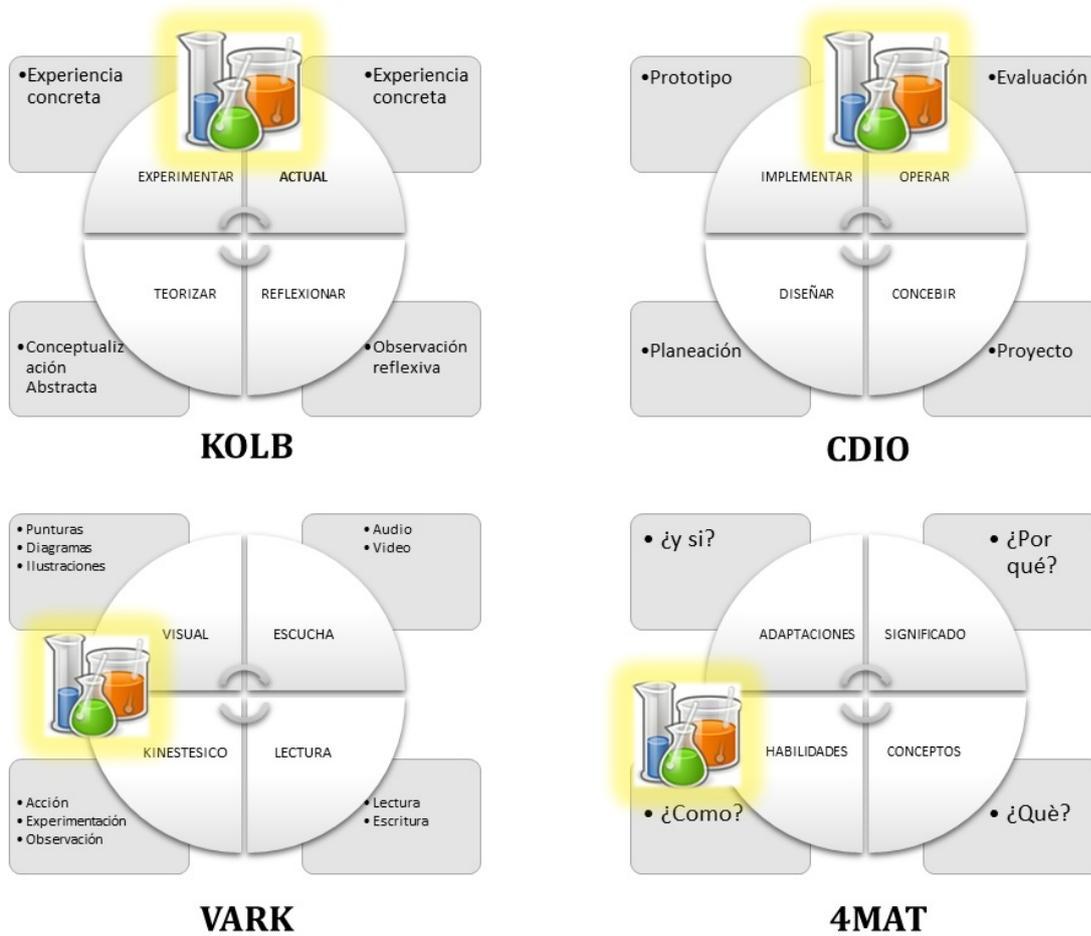


Figura 2.7: Modelos pedagógicos y los laboratorios

Para autores como Feisel (Feisel y Rosa, 2005) los objetivos que debe cumplir un laboratorio independientemente de su tipo, se relacionan con las competencias de experimentación del ingeniero al finalizar su proceso formativo. Estas competencias generales las agrupa en 13 objetivos:

1. Conocer la Instrumentación.
2. Proponer los Modelos.
3. Desarrollar el Experimento.
4. Analizar de datos.
5. Utilizar el proceso de Diseño.
6. Aprender de la falla.
7. Desarrollar Creatividad.
8. Fomentar las habilidades psicomotrices.
9. Mantener Seguridad.
10. Facilitar la Comunicación.
11. Animar el Trabajo en equipo.
12. Conservar Ética en el laboratorio.
13. Conciencia sensorial

El tema central de esta investigación se concentra en la formación de ingenieros para su desempeño profesional, donde su eje central esta las características del individuo. Sin embargo, los demás enfoques de la experiencia de la práctica son elementos adicionales que enriquecen las actividades

2.3.2. Otros enfoques

Uno de los principales referentes para el diseño y ejecución de laboratorios en ingeniería es el aprendizaje experiencial. Este tipo de enfoque hace referenciación entre la educación, el desarrollo personal y el trabajo. Un autor de este tipo de aprendizaje aplicado a la formación en ingeniería es Kolb (Carvajal Díaz y Ramírez Cajiao, 2008). Este autor hace referencia a modelos más básicos como el de Lewin, que se fundamenta en la retroalimentación. El modelo de Dewey presenta la construcción del conocimiento como una espiral. Y finalmente Piaget que plantea que el desarrollo cognitivo del individuo se da en cuatro etapas.

Etapa 1 : Habilidades sensoriales y motoras.

Etapa 2 : Reconocimiento de imágenes o iconos. Incorpora representaciones gráficas.

Etapa 3 : Operaciones concretas. Desarrolla una intensiva incorporación simbólica abstracta.

Etapa 4 : Aprendizaje a través de la reflexión y la abstracción.

Otras metodologías como CDIO (Téllez Gutiérrez y García, 2013), han agrupado los objetivos específicos de los laboratorios en ocho habilidades : Pensamiento holístico, Operación de los grupos, Prueba y defensa de hipótesis, Soluciones y recomendaciones, Pensamiento crítico, Toma de conciencia, Formación de equipos eficaces y Comunicación escrita.

Para el cumplimiento de estos objetivos el diseño de una experiencia en laboratorios debe cumplir con un grupo de especificaciones técnicas que son facilitadas por una arquitectura compuesta de estructuras físicas, lógicas y administrativas.

2.4. Principales especificaciones técnicas de los laboratorios en Ingeniería.

Las especificaciones para la realización de prácticas de laboratorio deben cumplir con: los objetivos en los proceso de formación (Accreditation Board for Engineering and Technology Inc y ABET, 2016), la reglamentación exigida (MEN, 2003), y la efectividad del proceso. Estos laboratorios deben tener claramente definidas las características generales, que garantizan su eficacia, uso y su posterior evaluación (Lugo, 2006). Las propiedades que tiene un laboratorio para el desarrollo de competencias en ingeniería son:

Realismo y Control: Se refiere a que la experiencia en laboratorios sea lo más cercano (forma, tamaño comportamiento, procedimientos, etc.) a lo que se realiza en el entorno real, donde desarrolla el profesional del área (Abdulwahed, 2010). Este realismo va acompañado de los procesos de control que dispone el equipo en la realidad industrial, esto es, que el estudiante conozca su comportamiento y su lógica de intervención al momento de operarlos (Costa-Castelló y cols., s.f.).

Protección y Seguridad: Tanto para los usuarios como para los equipos, la seguridad es un elemento indispensable a ser incorporado en las prácticas de laboratorio ¹⁰. Algunos sistemas de seguridad son activos (claves de acceso, alarmas, manipuladores, etc) y otros pasivos ¹¹ (sistemas de bloqueo, botones de parada, etc). La seguridad también está entendida en el software, en la conexión al sistema (Avila, s.f.), y en el manejo de datos de los experimentos (Parkhomenko, Sokolyanskii, Gladkova, y Kurson, 2015).

¹⁰Hacen parte de estas especificaciones las normas, precauciones, manuales, etc.

¹¹Los sistemas de seguridad activa funcionan para evitar una situación peligrosa; los de seguridad pasiva actúan en el momento de un incidente, para mitigar en la medida de lo posible sus consecuencias.

Modificable, fácil de usar y configurar: La posibilidad de disponer de diferentes situaciones de un experimento para que la experiencia en laboratorios no siempre sea la misma, es un valor importante que se agrega al proceso, ya sea por seguimiento formativo como de investigación (J. Lee, 2003) (Ma y Nickerson, 2006a). Los montajes y elementos de experimentación deben tener la propiedad de poder hacer cambios fuera de lo requerido en la guía conductista para que se conviertan en puntos de estudio y de investigación que motive el interés del estudiante.

Facilidad de comunicación e instrumentación: El diseño de las prácticas de laboratorio y en especial de sus equipos debe tener la posibilidad de realizar una instrumentación directa, fácil y confiable (Hernandez-Jayo y Garcia-Zubia, 2016). A su vez, la comunicación debe tener un papel importante en las estrategias que se implementan tanto en el antes, mientras y después de la práctica (Parkhomenko y cols., 2015), en esta investigación se muestran las ventajas de los protocolos de comunicación.

Vigencia y pertinencia: Al diseñar una experiencia de laboratorio se debe tener en cuenta la vigencia de la práctica o principio que se experimenta, ya que se espera que los equipos o procedimientos estén acordes con la realidad en la que se van a desarrollar (Kostulski y Murray, 2010). Un caso claro es el uso del mercurio en prácticas de Mecánica de Fluidos, o el moldeo de elementos de plomo en fundición, que por sus efectos tóxicos se han reducido o eliminado. La pertinencia ¹² de la actividad en el laboratorio debe ir relacionada con los objetivos de la práctica en el laboratorio (Armillotta, 2008). Por ejemplo los laboratorios que buscan en el estudiante habilidades blandas o *Soft Skills* ¹³ (Employment and Training Administration United States Department, 2010) y (OECD, 2003), deben tener alcances y estrategias educacionales diferentes a las prácticas de habilidades técnicas.

Confiable, preciso y normalizado: Para Cobb (Cobb, Schauble, Lehrer, DiSessa, y Confrey, s.f.), las medidas que son factibles de administrar, y que brindan datos precisos y confiables, pueden o no captar adecuadamente el fenómeno de interés, para ello es necesario tener mecanismos que garanticen la calidad de la información. En especial si la rigurosidad de la actividad de laboratorio exige que se encuentre bajo una norma específica (Henke, Ostendorff, Wuttke, y Vogel, 2012).

Algunas características adicionales son:

- Interconectable y escalable.
- Facilidad de adquisición de datos en línea.
- Posibilidad de Teleoperación o telepresencia.

¹²La pertinencia se refiere al grado de concordancia de las habilidades que se pueden lograr en una práctica de laboratorio y los objetivos de la misma.

¹³Las habilidades blandas son competencias conductuales, a diferencias de las técnicas son habilidades poco estudiadas en laboratorio

- Posibilidad ser colaborativos en diferentes modos.
- Monitoreo bajo la modalidad IIoT.
- Incorporación de lenguajes M2M
- Modular y móvil.
- Estructura: *Smart lab y learning analytics*
- Eficaz, eficiente y efectivo

2.4.1. Competencias en Ingeniería

La formación por competencias es presentada como valiosa para la formación de diferentes profesiones del área técnica, en especial en ingeniería (Castellanos, 2013) y que ha sido exitosamente incorporada en las estrategias de laboratorios. Como resultado del proyecto Tuning (OECD, 2011) se menciona que las competencias no son solo necesarias para el desempeño laboral o la apropiación de conocimientos, sino que son necesarias para su vida en todo momento. Las competencias se pueden clasificar de diferentes formas, para ingeniería, una forma expuesta por Valle (2009, p. 4) citando a Peschges y Reindel, 1998; Rivero y Cabrera, 2006. Las clasifica según su nivel de aplicación en:

- Básicas, que corresponderían a las competencias elementales, necesarias para la comprensión.
- Genéricas: aquellas que son comunes a diversas ocupaciones y ramas de la actividad productiva.
- Específicas: aquellas que son propias de la profesión y ramas de la actividad productiva.

Otra forma de clasificación es por su naturaleza y su desarrollo de los objetivos que se despliegan para el ingeniero. Éstas se clasifican en cuatro grandes mega-objetivos (Elawady Tolba, 2009). Las competencias son:

- **Comprensión conceptual y principios de la ciencia:** conocimientos básicos para el desarrollo de otros saberes.
- **Habilidades para el diseño:** Capacidad para proponer prototipos y sistemas que sean evaluables con el fin de validar hipótesis constructivas.
- **Habilidades profesionales (nucleares):** Propias de la profesión, relacionan herramientas y métodos técnicos con fines específicos de la especialidad del ingeniero.
- **Habilidades sociales:** Capacidad de integrar las soluciones del proceso de ingeniería en el contexto donde se desarrollan.

Adicional a esto, una clasificación ampliamente utilizada es la estructurada por ABET, que se ha depurado hasta permitir la acreditación internacional de programas académicos. Básicamente, clasifica las competencias en dos grandes enfoques; las competencias genéricas en ingeniería (Díez, Cotano, y Yuste, 2009), también conocidas como las de la a–k (11)¹⁴, y las específicas de cada programa, que en el caso de manufactura son cinco (Accreditation Board for Engineering and Technology Inc y ABET, 2016), (Hilliger y Universidad, 2017). La definición de competencia técnica genérica según diferentes autores se muestra en la Tabla 2.2.:

Tabla 2.2: Definición de competencias en ingeniería

Autor	Definición
Díez, R. H., Hilliger)	...Conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes
(de Kereki Guerrero, 2003)	...las competencias esenciales para los jóvenes ingenieros pueden ser clasificadas bajo el título de habilidades y conocimiento.
(Emiro et al., 2015)	se pueden subdividir en cognitivas, las comunicativas y las investigativas
(Beneitone et al, 2007),	“abarca todo un conjunto de capacidades, que se desarrollan a través de procesos que conducen a la persona responsable a ser competente para realizar múltiples acciones por las cuales proyecta y evidencia su capacidad de resolver un problema dado dentro de un contexto específico y cambiante”.

Para el estudio de la evaluación por competencias, se ha analizado el desarrollo de la misma desde diferentes elementos que la componen (ver Fig. 2.8)..

¹⁴La versión consultada (ABET, 2016)

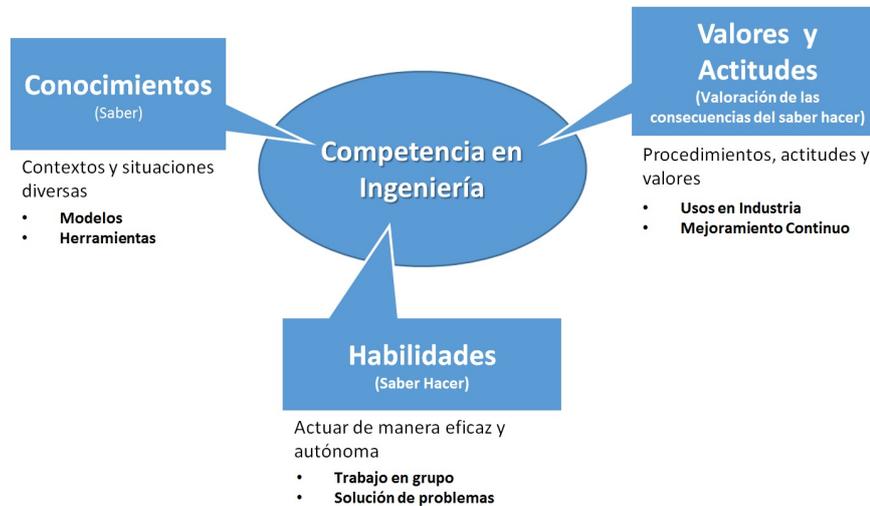


Figura 2.8: Elementos de competencia

En conclusión, la competencia siempre se expresa en un “saber hacer” cualificado y contextualizado, en una “situación concreta”. Las competencias así entendidas, están ligadas al desempeño profesional, a las actividades estructuradas que la comprenden y a los problemas que afronta. Es por ello que como medio de apoyo al proceso enseñanza aprendizaje las actividades de laboratorio deben brindar un acercamiento al contexto de la competencia y concentrarse en lograrla por diferentes medios.

2.4.1.1. ABET y los laboratorios en Ingeniería

Uno de los principales referentes en los procesos certificación en ingeniería en los Estados Unidos es ABET, o *Accreditation Board for Engineering and Technology, Inc.*, que acredita planes de estudio de programas en las áreas técnicas o tecnológicas. Es una agrupación de 33 sociedades profesionales, incluyendo la SME *Society of Manufacturing Engineers*.

ABET acredita planes de estudio que cumplen con los estándares de calidad establecidos según la agrupación a la que pertenece, para ello se hace un trabajo de acompañamiento con la institución y su programa. ABET sólo acredita programas completos. La Acreditación está garantizada por un máximo 6 años. La acreditación para el caso de programas de ingeniería se articula en el desarrollo de los criterios de acreditación.

La importancia para ABET en uso de los laboratorios se hace evidente en varias investigaciones (Felder y Brent, 2003), (Ashby, 2008) y (A. S. Diwakar y Noronha, 2016). Los laboratorios son imprescindibles para el desarrollo de habilidades y competencias necesarias en el desempeño profesional del ingeniero.

Para ABET, entiende competencia como “*Capacidad para actuar de manera eficaz y autónoma en contextos y situaciones diversas movilizando de manera integrada conceptos, procedimientos, actitudes y valores*”, y por ello, los laboratorios deben ser estructurados para que las competencias de cada estudiante sean evaluadas en cada uno de los elementos que componen la competencia. La Fig. 2.8 discrimina los elementos que componen una competencia en ingeniería. El método de evaluación y mejoramiento propuesto por ABET se centra en dos tipos de competencias; las genéricas que todo ingeniero debe tener al final de su periodo de formación y las específicas del programa. La formación y evaluación de cada competencia genérica debe hacerse integrada con la de las competencias específicas de la asignatura correspondiente.

2.4.2. Competencias Genéricas en Ingeniería

Las competencias genéricas tienen una connotación más universal y aunque difieren a nivel internacional, su principal objetivo es potencializar el aprendizaje continuo a lo largo de la vida (Rodríguez Izquierdo, 2015). Estas competencias logran la formación en el ingeniero que la sociedad actual requiere, consiguiendo habilidades no sólo para conocer y comprender su entorno y su profesión, sino también para actuar de manera adecuada en los problemas que se pueden presentar ya en la actividad profesional (Palma Lama y cols., 2011).

2.4.2.1. Competencias Genéricas ABET

El listado de competencias genéricas requerido por ABET es desarrollado en once competencias identificadas de la a) la k), para programas de Ingeniería las competencias son las siguientes (Accreditation Board for Engineering and Technology Inc y ABET, 2016):

- a) Capacidad para aplicar conocimientos de matemáticas, ciencias e ingeniería
- b) Capacidad para diseñar y conducir experimentos, así como para analizar datos de interpretación.
- c) Capacidad de diseñar un sistema, componente o proceso para satisfacer las necesidades deseadas.
- d) Capacidad para trabajar en equipo multidisciplinario.
- e) Capacidad para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- f) Comprensión de la responsabilidad profesional y ética
- g) Capacidad para comunicarse eficazmente
- h) La amplia formación necesaria para comprender el impacto de las soluciones de ingeniería en un contexto global y social.
- i) El reconocimiento de la necesidad y la capacidad de participar en el aprendizaje a lo largo de la vida

- j) Un conocimiento de los temas contemporáneos.
- k) Capacidad de utilizar las técnicas, habilidades y herramientas de ingeniería modernas necesarias para la práctica de ingeniería

Una propuesta de clasificación basada en su posible articulación con diferentes tipos de laboratorios es presentada por (Elawady y Tolba, 2009), su objetivo era la evaluación de los diferentes tipos frente los grupos de competencias propuestos. La tabla 2.3 muestra la relación de los objetivos de los laboratorios y el tipo que más se adapta a una estrategia pedagógica.

Tabla 2.3: Objetivos educacionales y los laboratorios virtuales

Objetivos de los Laboratorios	Objetivos de ABET	Tipo de laboratorio recomendado - ejemplo
Comprensión conceptual y principios	a) La capacidad de aplicar los conocimientos de Matemáticas, Ciencias e Ingeniería. b) La capacidad para diseñar y realizar experimentos, así como para analizar e interpretar datos	1. Hand-On - Mecanizado 2. Remoto - Telepresencia en un centro de mecanizado CNC 3. Simulado - Cálculo de parámetros de herramienta
Habilidades para el diseño	e) Capacidad de identificar, formular y resolver problemas de ingeniería. c) La capacidad de diseñar un sistemas, componentes y procesos deseado para satisfacer necesidades específicas dentro de las limitaciones, tales como económicas, ambientales, sociales, políticos, éticos, de seguridad y de salud, fabricación y la sostenibilidad.	1. Simulado - Recorrido de herramientas MasterCam ® 2. Realidad Aumentada - Entrenador de soldadura TIG de Lincon Inc.
Habilidades profesionales (nucleares)	h) Educación amplia y necesaria para comprender el impacto de soluciones de Ingeniería en un contexto global, económico, ambiental y social. i) Un reconocimiento de la necesidad y la capacidad de participar en el aprendizaje permanente. k) La capacidad para utilizar las técnicas, habilidades y herramientas modernas necesarias para la práctica de la Ingeniería.	1. Simulado - Flexsim® 2. Remoto - Virtualplan ®
Habilidades sociales	d) Capacidad de trabajar en equipos multidisciplinarios. f) Comprensión de la responsabilidad ética y profesional. g) Habilidad para comunicarse efectivamente. j) Conocimiento de los problemas contemporáneos.	1. Simulado - Second Life 2. Remoto - Trabajo colaborativo AV

Fuente: Elaboración a partir de (Singer y cols., 2005) y (Elawady y Tolba, 2009)

2.4.2.2. Tuning– AHELO

El proyecto Tuning se originó con el fin de implementar el proceso de la Declaración de Bolonia de 1999, para implantar cambios en la estructura de la Educación superior en Europa.

Basado en este interés del proyecto Tuning, la OCDE propuso un estudio para comparar diferentes niveles internacionales, *Assessment of Higher Education Learning Outcomes* (AHELO) , que cuenta con la aprobación de los ministros de Educación de los países miembros de la OCDE. El estudio de viabilidad investigó la posibilidad de involucrar resultados de la Educación Superior de diferentes contextos y países. Así se definieron competencias genéricas y específicas con el fin de definir niveles de perfiles profesionales. La meta es medir diferentes criterios y evaluar la influencia de estos con los resultados de aprendizaje. El estudio AHELO

inicialmente fue dividido en tres ramas de investigación, a saber:

- Capacidades genéricas .
- Capacidades disciplinares en Economía.
- Capacidades disciplinares en Ingeniería Civil.

La Importancia de este estudio radica en el consenso de la definición de competencia al que se llegó y las características particulares de cada región.

2.4.2.3. EUR-ACE

El 8 de febrero de 2006 se creó la ENAEE (Red Europea de Acreditación de Ingeniería), tras la conclusión con éxito del proyecto EUR-ACE® apoyado por los programas Sócrates y Tempus de la UE y por 14 asociaciones europeas interesadas en la enseñanza de la ingeniería. Se originó en el ESOEPE, el Observatorio Permanente Europeo para la Profesión y Educación en Ingeniería, creado el 9 de septiembre de 2000. En este marco de la EUR-ACE, las competencias genéricas o competencias sociales son clave para la comunicación de la información, las ideas, los problemas y sus soluciones.

2.4.2.4. Comparación de competencias genéricas del Ingeniero

El alcance de un laboratorio está determinado por los logros de aprendizaje que se esperan alcanzar, para Feiser (Feisel y Rosa, 2005) sobre la importancia del uso del laboratorio para la formación en profesionales en ingeniería, ha definido 13 áreas u objetivos que buscan los laboratorios de forma general. La Tabla 2.4 correlaciona estos logros y las competencias específicas de ABET, Tuning AHELO, y EUR-ACE con el fin de precisar cuáles son las acciones que evidencian las competencias en el campo de la experimentación.

Tabla 2.4: Objetivos buscados en el uso de los laboratorios en ingeniería

No.	AREA	OBJETIVO	ABET	Tuning-AHELO	AHELO
1	Instrumentación	Seleccionar y aplicar los instrumentos, sensores y software apropiado para hacer mediciones de cantidades físicas.	-	Práctica de ingeniería -La capacidad de seleccionar y utilizar el equipo, herramientas y métodos adecuados;	Práctica de ingeniería - Seleccionar y utilizar el equipo, herramientas y métodos adecuados
2	Modelos	Identifica fortalezas y limitaciones de los modelos teóricos como predictores del mundo real. Esto puede incluir si una teoría describe adecuadamente un fenómeno físico.	a)	Ciencias Básicas y de Ingeniería	Conocimiento y comprensión
3	Experimento	Diseñar una propuesta experimental; seleccionar equipos y procedimientos apropiados e interpretar resultados para caracterizar un componente de ingeniería.	b)	Análisis de ingeniería -Aplicar conocimiento -Productos, procesos y Métodos -Búsqueda en BD -Dirigir experimentos e interpretar datos	Análisis de ingeniería Aplicar conocimiento Productos, procesos y Métodos aplicar métodos analíticos y de modelado
4	Análisis de Datos	Mostrar la capacidad de recolectar, analizar e interpretar datos y formar y apoyar conclusiones. Hacer juicios de orden de magnitud y usar sistemas de unidades de medida y conversiones.	i)	Habilidades Generales -Reconocer la necesidad de un aprendizaje independiente a lo largo de la vida y de participar en él	Habilidades transferibles Participar en actividades independientes de aprendizaje a lo largo de toda la vida
5	Diseño	Diseñar, construir o montar una pieza, un producto o un sistema, incluyendo el uso de metodologías, equipos o materiales específicos. Además ensayar, probar un prototipo según la normativa apropiada.	c)	Diseño de ingeniería -Diseños que cumplan con los requisitos -Metodologías de diseño	Diseño de ingeniería Realizar diseños especificados Uso de metodologías de diseño
6	Aprendizaje del error e Investigación	Identifica resultados fallidos y los corrige y reorganiza en soluciones efectivas. Se evalúa; el equipo, la pieza, el código, la construcción, el proceso o el diseño.	-	Investigaciones -Búsquedas en la literatura, BD y otras fuentes -Experimentos apropiados, interpretar los datos y sacar conclusiones	
7	Creatividad	Demuestra, un nivel apropiado de pensamiento, creatividad y capacidad de resolver, problemas del mundo real.	e)	Análisis de ingeniería -Formular y resolver problemas de ingeniería utilizando métodos establecidos	Análisis de ingeniería - Formular y resolver problemas de ingeniería utilizando métodos establecidos
8	Psicomotor	Mostrar competencia en la selección, modificación y operación de herramientas y recursos de ingeniería apropiados.	k)	Práctica de ingeniería -Técnicas y métodos aplicables, y sus limitaciones -Habilidades de taller y laboratorio	Práctica de ingeniería -La capacidad de combinar la teoría y la práctica para resolver problemas de ingeniería
9	Seguridad	Identificar problemas de salud, seguridad y ambiental, relacionados con actividades y procesos tecnológicos y tratarlos de manera responsable.	-	Práctica de ingeniería -Salud, seguridad y aspectos legales y las responsabilidades de la práctica de la ingeniería -Impacto de las soluciones de ingeniería en un contexto social y ambiental	Práctica de ingeniería Salud, seguridad y aspectos legales en las responsabilidades de la práctica de ingeniería
10	Comunicación	Comunicarse efectivamente sobre el trabajo en el laboratorio tanto oral como escrito, en diferentes niveles de profundidad.	g)	Habilidades Generales -Comunicarse eficazmente con la comunidad de ingenieros y con la sociedad en general	Habilidades transferibles Utilizar diversos métodos para comunicarse eficazmente con la comunidad de ingenieros y con la sociedad en general
11	Trabajo en equipo	Trabaja en equipo de forma efectiva, asigna roles, responsabilidades y tareas; monitorea el progreso; cumple con los plazos; e integra contribuciones individuales en una entrega final	d)	Habilidades Generales -Funcionar eficazmente como individuo y como miembro de un equipo	Habilidades transferibles Funcionar eficazmente como individuo y como miembro de un equipo;
12	Ética en el laboratorio	Se comporta con altos estándares éticos, incluyendo el reporte de información objetiva con integridad.	f)	Práctica de ingeniería -Comprometerse a la ética profesional, las responsabilidades y las normas de la práctica de ingeniería;	Práctica de ingeniería Una conciencia de las implicaciones no técnicas de la práctica de la ingeniería
13	Conciencia sensorial	Usa los sentidos para recopilar información y hacer juicios de ingeniería para la formulación de conclusiones sobre problemas del mundo real.	h) j)	Práctica de ingeniería -La capacidad de combinar la teoría y la práctica para resolver problemas de ingeniería -La capacidad de demostrar comprensión de las implicaciones no técnicas de la práctica de la ingeniería Habilidades Generales -La capacidad de demostrar conciencia del contexto multidisciplinario más amplio de la ingeniería	Práctica de ingeniería Comprensión de las técnicas y métodos aplicables y sus limitaciones;
14	Gestión de proyectos	Organiza los recursos frente al alcance de un proyecto y lo desarrolla de forma eficiente y con ética.		Práctica de ingeniería -Gestión de proyectos y prácticas empresariales, tales como la gestión del riesgo y del cambio, y ser conscientes de sus limitaciones	Habilidades transferibles Gestión de proyectos y prácticas empresariales, tales como la gestión del riesgo y del cambio

Fuente: El autor basado en Emiro, (Emiro et al., 2015) y (OECD, 2011), y Feisel (2005)

Del anterior análisis, una de las competencias genéricas que el ingeniero debe desarrollar por medio de laboratorios (Palma Lama y cols., 2011) y que tiene un impacto directo en su desempeño como profesional está en el área – Experimentos o Experimentación (Cubides y Casallas, 2015). Aunque no es la única área que se puede fomentar con laboratorios es la más pertinente tanto en su diseño como en su aplicación con respecto a la recreación de situaciones esperadas. El uso de laboratorios se ha concentrado en mejorar e incrementar las prácticas, el reto ahora está en explicar metas, objetivos y metodologías. Algunas preguntas que se generan bajo ese paradigma son: ¿qué debería aportar la actividad en el laboratorio a la formación de los futuros ingenieros?, ¿cuál es el objetivo del trabajo en el laboratorio? o ¿qué metodologías resultan más adecuadas para alcanzar esos objetivos?. (Pesa, 2014).

Basado en lo anterior se propone hacer seguimiento a la competencia genérica de experimentación como un proceso (Abdulwahed, 2010), compuesto por diferentes componentes o partes que lo integran con el fin de facilitar su trazabilidad, análisis y evaluación.

Tabla 2.5: Elementos de la competencia genérica en laboratorio

Convención	Capacidad	a) – k) ABET
PRACTICA.i	1. Capacidad para realizar experimentos.	b)
DATOS DE SALIDA.i	2. Capacidad de analizar e interpretar datos.	b)
EQUIPO&SOFTWARE.i	3. Capacidad de utilizar herramientas de ingeniería modernas.	k)
VARIABLES.i	4. Capacidad de diseñar experimentos.	b)
APLICACIÓN.i	5. Capacidad para resolver problemas de ingeniería.	e)
ROL DEL ESTUDIANTE.i	6. Capacidad para trabajar en equipo. - Cooperación	d)
PARTICIPACIÓN DEL DOCENTE.i	7. Capacidad para trabajar en equipo. - Acompañamiento	d)

Fuente: El autor

La evaluación por competencias debe plantearse mediante tareas lo más reales posibles que impliquen curiosidad y reto (Palma Lama y cols., 2011). La evaluación de las competencias se planea con base en el siguiente esquema orientador:

1. Se construyen las matrices de evaluación de capacidades definidas para un determinado módulo, con respecto a las competencias (rúbrica).
2. Se planea cómo será la evaluación de diagnóstico, la evaluación continua y la evaluación de promoción (evaluación final).
3. Se determina cómo se llevará a cabo la autoevaluación, coevaluación y heteroevaluación de los aprendizajes de los estudiantes.
4. Se articulan procesos de evaluación a las estrategias didácticas.
5. Se planean con detalle las estrategias propias del proceso de evaluación, cómo serán, cuándo, con qué recursos, etc.

6. Se elaboran instrumentos de observación, de chequeo y de registro de aprendizajes

Estos pasos son la base del proceso de diseño de una experiencia de laboratorio que se desarrollara más adelante.

2.5. Características de los Modelos Pedagógicos en STEM

El término STEM, fue introducido por la Fundación Nacional de Ciencia de los Estados Unidos (NSF en Ingles), con el fin de abarcar disciplinas destinadas a transformar las aulas tradicionales de enseñanza centrada en la investigación a la resolución de problemas de una manera holística, centrada en el estudiante (Coyle, Bucciarelli, y Mcgrath, 2009)

La ingeniería, como componente más específico de STEM, se enmarcada en seis elementos de formación: El conocimiento y la comprensión de la ciencia, análisis de ingeniería, diseño de ingeniería, investigación, prácticas de ingeniería y habilidades de aprendizaje. (Coyle et al., 2009). La formación en las STEM se aborda desde diferentes teorías pedagógicas; conductismo, el cognitivismo y el constructivismo, con diferentes variables o contextos (de Kereki Guerrero, 2003). Estas teorías en STEM buscan el desarrollo de los elementos de formación. Tanto la investigación como el desarrollo de las prácticas de ingeniería requieren el uso de los laboratorios con diversos alcances dependiendo de elementos como; Énfasis de la formación, Aporte al aprendiz, Papel del maestro, entre otros.

El uso de los laboratorios en la educación, investigación y en la industria es determinante ya que con su uso se puede; comprobar teorías, hacer inspección de fenómenos, establecer relaciones entre variables y apoyar los procesos productivos (Kostulski y Murray, 2010). Sin embargo, donde más se ha estudiado su eficacia es en la academia, y muy particularmente en las áreas que tienen formación en ciencias: física, química y matemática y la técnica.

Muchos esfuerzos se han dirigido a la mejora de la educación STEM de pregrado en varios países (Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V., y Martín, 2013). La sinopsis del programa "Mejoramiento de la educación de STEM", de la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NSF, por sus siglas en inglés) ha implementado estrategias en la educación básica y secundaria pero poco en niveles de educación superior y posgrado. Algunas de las estrategias se concentran en la generación de habilidades por parte del grupo de la facultad antes de empezar algún tipo de implementación en STEM (Pow, 2013).

Autores como Kim y Juam (Y. S. Kim, Ryoo, Márton, Fodor, y Sepehri, 2011), (J. H. Han y Finkelstein, 2013) y (Fore, Feldhaus, Sorge, Agarwal, y Varahramyan, 2015), han estudiado métodos de aprendizaje que privilegian la enseñanza para el grupo de profesiones relacionadas con STEM. El área STEM está apoyada en el uso de laboratorios que se fundamentan en la tecnología, la innovación y la investigación, dado lugar a avances en casi todos campos de la

sociedad.

La tabla 2.6 describe las características (énfasis, aporte, papel del maestro) de los laboratorios frente a las principales teorías pedagógicas en la formación técnica.

Tabla 2.6: Algunas teorías pedagógicas y laboratorios STEM

	Conductista	Cognitivo	Constructivista
Énfasis	Estímulo-respuesta	En la comprensión	Características del estudiante
Aportes	Los conocimientos del sujeto son acumulaciones de asociaciones entre estímulos y respuestas. Fundamentada en el uso de la metodología experimental	Múltiples propuestas metodológicas de enseñar a pensar y aprender a aprender. Metodologías de enseñar a pensar y aprender a aprender.	Sostiene que el aprendizaje es esencialmente activo. Una persona que aprende algo nuevo lo incorpora a sus experiencias previas y a sus propias estructuras mentales. Construye conocimiento partiendo de su experiencia e integrándola con la información que recibe.
Papel del maestro	Percibe el aprendizaje como algo mecánico, pragmático y reduccionista	Promueve el aprendizaje Significativo.	Promueve el desarrollo y la autonomía.
Ejemplo	An architecture for new models of online laboratories: Educative multi-user gamified hybrid laboratories based on virtual environments. (Rodríguez-Gil, García-Zubia, & Orduna, 2016)	Diseño De Un Modelo De Evaluación Para Un Ambiente De Aprendizaje Activo En Ingeniería. (Carvajal Díaz & Ramírez Cajiao, 2008)	Uso de laboratorios remotos en Educación. (García-Zubia & Alves, 2012)

Es así, como el constructivismo ha demostrado un impacto positivo en la enseñanza de los elementos de formación y en el proceso del hecho formativo (Infante Jiménez, 2014) y (Zabalza, 2011). Los modelos constructivistas que siguen la propuesta de la pirámide de Dale (Davis y Summers, 2015) privilegiado el hacer como la experiencia más enriquecedora.

Particularmente los laboratorios y las experiencias de experimentación están en la base de la pirámide que se estructuran sobre el aprendizaje reflexivo, activo y experiencial. Como se muestra en la Fig. 2.9 el 90 % de lo aprendido se adquiere cuando se hace una actividad en el proceso de aprendizaje “haciendo o realizando” una tarea, un reto o un proyecto.

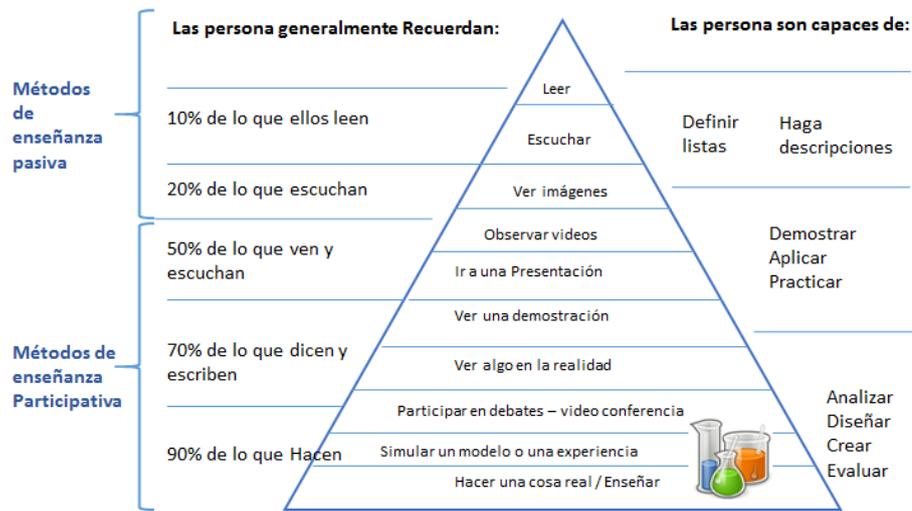


Figura 2.9: Pirámide de Dale

Fuente: elaboración propia basado en (Slugan y Ružić, 2017) y (Davis y Summers, 2015)

Entre los autores que han hecho un aporte en ingeniería está Piaget citado por (Ossandón Núñez y Castillo Ochoa, 2006) con las etapas de enseñanza, Lewin citado por (Carvajal Díaz y Ramírez Cajiao, 2009) con su concepto de retroalimentación y Kolb que define cuatro estilos de aprendizaje; Divergente, Asimilador, Convergente y Acomodador (González, Marchueta, y Vilche, 2011). El modelo de Kolb crea un panorama que ha servido como punto de partida para el desarrollo algunos otros modelos contemporáneos, entre ellos se pueden mencionar los modelos 4MAT de Bernice McCarthy (Díaz, 2010). Este tipo de aportes se ha concentrado en la metodología y la construcción de conocimiento y de competencias.

Otro aspecto igualmente relevante son las particularidades de la formación en STEM hacen que las metodologías que apoyan la formación en estas áreas tengan características especiales, que van desde lo individual hasta lo grupal. De acuerdo con la literatura evaluada y los aportes evidenciados de diversos autores como (Automation, Ruiz, Fernandez, Gil, 2016), (Johnson, L., Adams Becker, S., Cummins, M., y Estrada, 2012) y (May, Terkowsky, Ortelt, y Tekkaya, 2016), las características en la implementación de metodologías STEM son basadas en comportamientos actitudes que se evidencian a través de la práctica algunas de ellas se muestran en la Fig. 2.10.

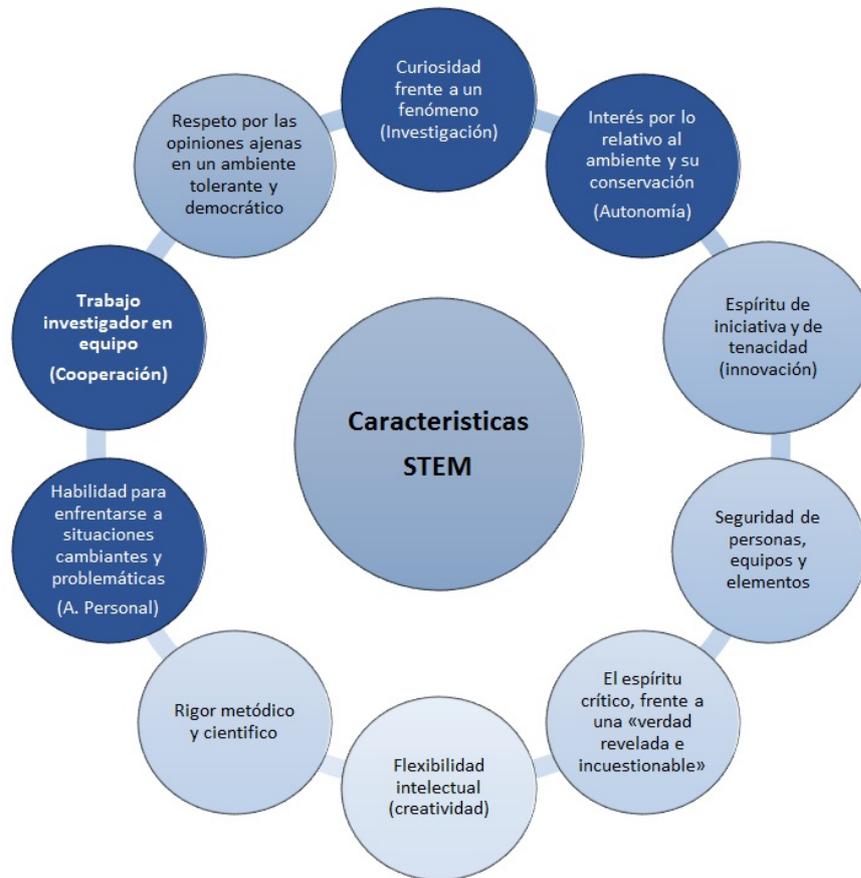


Figura 2.10: Características de las metodologías STEM

Fuente: El autor basado en (CIDE, 2010) - Nota: las más oscuras son características más frecuentemente utilizadas en los laboratorios.

2.5.1. Algunos modelos pedagógicos de formación en ingeniería aplicada en STEM

Estos modelos apoyan el desarrollo de las habilidades y competencias en STEM y facilitan la implementación de laboratorios en la estrategia enseñanza- aprendizaje. Aunque no difieren con respecto a las de otras áreas de formación, su principal aporte está en la forma y la intención como se aplican con la experimentación.

Para muchos autores que han trabajado en la formación en STEM, las características que más favorecen para la implementación en laboratorios son: la autonomía (Young, 2005), la cooperación (Yu, 2016), el aprendizaje personalizado (Bravo Castillo, 2009) (Y. S. Kim y cols.,

2011) y el apoyo a la investigación (Cobb y cols., s.f.) y (Guinaldo, De La Torre, Heradio, y Dormido, 2013) y (Johnson, L., Adams Becker, S., Cummins, M., y Estrada, 2012)

2.5.1.1. Para la autonomía: Flipped Classrom /Aprendizaje abierto / MOOCS

Estos modelos pedagógicos que brindan autonomía tienen como característica que el estudiante es quien desarrolla su conocimiento, basado en su contexto y las experiencias propias. Para ello el trabajo en los laboratorios debe ser realizado en espacios diferentes a las clases magistrales o en líneas sincrónicas, que den espacio al estudiante a ejercitar sus particularidades

Flipped Classrom o aula invertida combina la formación directa o F2F, con el trabajo fuera de clase. La propuesta está en que el estudiante consulta la teoría antes del aula y en el encuentro con el docente se realizan acciones de afianzamiento, evaluación y desarrollo. Lage (2000) y Ronchetti (2010) citado por Jorge de Castellanos (2016).

Otro modelo que aprovecha la autonomía son los MOOCs ¹⁵, algunos ejemplos aplicados a laboratorios en ingeniería han impulsado el desarrollo de la experimentación: con VISIR (Tawfik, Sancristobal, Sergio, y cols., 2013), ambientes virtuales (Rodriguez–Gil et al., 2016). Muchas de las prácticas de laboratorio bajo este modelo ahora están disponibles de forma abierta. Un ejemplo son laboratorios en consorcio de universidades Indias:

- <https://http://vlabs.iitb.ac.in/vlabs-dev/>

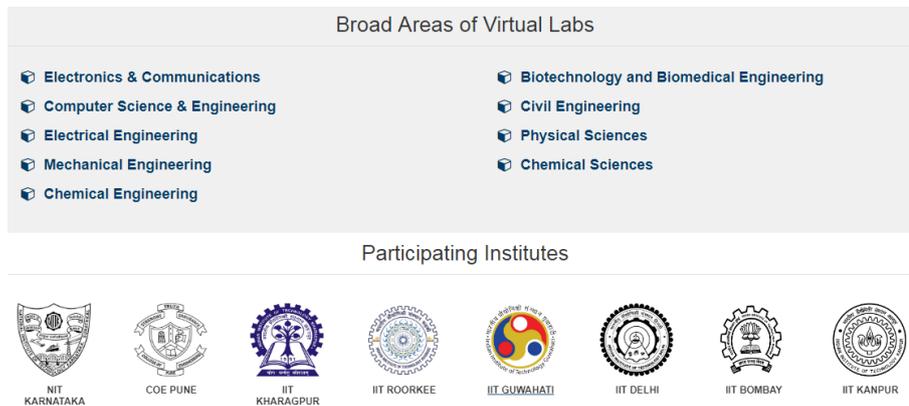


Figura 2.11: Página principal de Virtual Labs
Fuente: Virtual labs (Virtual Labs, 2017) Date 01/06/2019

Existen diferentes niveles de autonomía dependiendo la temática y alcance que se esté buscando con el tipo de laboratorio. Clara Davies (Davies, 2008) en su trabajo de enseñanza a

¹⁵MOOC es el acrónimo en inglés de Massive Online Open Courses (o Cursos online masivos y abiertos)

través de los laboratorios ha establecido una escala de 5 niveles (ver Tabla 2.7).

Tabla 2.7: Nivel de autonomía para diversos tipos de actividad en el laboratorio

Nivel de Autonomía	Tipo de actividad de en el laboratorio	Hechos conocidos (Dado al inicio o por indagar)			
		Objetivos	Material	Método	Respuestas
0	Demostración	Dado	Dado	Dado	Predeterminada
1	Ejercicio	Dado	Dado	Dado	Indagar
2	Investigación estructurada	Dado	Dado en parte	Dado en parte	Indagar
3	Consulta abierta	Dado	Indagar	Indagar	Indagar
4	Proyecto	Indagar	Indagar	Indagar	Indagar

Fuente: El autor basado en Davies (2008) y Domin (1999)

2.5.1.2. Para la cooperación: Uso de ambientes de experimentación/Mundos virtuales/Gamificación

El método de cooperación o elaboración conjunta permite que el contenido se vaya desarrollando no solo por el estudiante y el profesor, sino también con los demás compañeros de clase y otros actores como proveedores o especialistas. La intención es que el estudiante construya un conocimiento con ayuda de la participación de diferentes actores, contextos y objetivos. Estos métodos se caracterizan por tener facilidad de crear espacios de acceder con diferentes roles y perfiles.

La cooperación en el trabajo de laboratorio se ha presentado especialmente en los laboratorios Hands–On . Sin embargo, no es exclusiva de este tipo. Varios autores han aplicado estos modelos para aumentar la interacción de los estudiantes. El concepto Learning–by–doing (Jara, Candelas, Puente, y Torres, 2011), se aplica al uso de las nuevas tecnologías, en el campo de los mundos virtuales y las redes, su objetivo es hacer que el usuario acceda bajo demanda al medio de su elección. Muchos de ellos comparten la aplicación con otros usuarios en tiempo real por la Internet.

Tabla 2.8: Ejemplos *Learning-by-doing*

MEDIO	EJEMPLOS
Mundos virtuales	VirtualPlant (INGCO, 2017) Second life (De La Torre et al., 2013),(Criado & Del Carmen Thous Tuset, 2013) Open Wonderland (Potkonjak et,al., 2016) Java Runtime Environment (JRE) (Hidalgo, 2006) Open Wonderland(Kaplan &,Yankelovich, 2011)
Gamificación (Gaming)	Construcción de estructuras (Wang, Rajan, Sankar, & Raju, 2016) Serious-gaming (Rodriguez-Gil et al., 2016) Entrenamiento de vuelo (Osterlund & Lawrence, 2012) Virtual and Augmented Reality (Nee & Ong, 2013)

2.5.1.3. Aprendizaje Personalizado: Aprendizaje significativo / *Blended Learning*

La posibilidad de combinar medios y sistemas brinda al estudiante el poder de elegir características de la formación basado en sus necesidades los medios que requiere para la construcción de su conocimiento (Tawfik, Sancristobal, y cols., 2014). La formación así, no solo debe ser flexible en el medio, sino en su orden y en la velocidad de adquisición del conocimiento (Bencomo, 2004).

Si el conocimiento tiene sentido para el estudiante tiene mayor probabilidad de fijarse de forma permanente y de servir para la construcción de nuevo conocimiento (Sun, Lin, y Yu, 2008). Un modelo que se adapta a este tipo de aprendizaje es *Blended Learning* o *B-Learning*¹⁶ (por sus siglas en inglés) se refiere a la combinación del trabajo presencial (en aula) y del trabajo en línea (combinando Internet y medios digitales). Las estrategias de *B-learning* permiten que el alumno pueda controlar algunos factores como el lugar, momento y espacio de trabajo.

La estrategia de aprender haciendo o *Learning-by-doing* tiene su origen en la Universidad de Chicago y se ve grandemente favorecido por el aprendizaje personalizado, las TIC y la programación en la nube, algunos ejemplos se observan en la Tabla 2.8.

2.5.2. Apoyo a la investigación: Aprendizaje basado problemas/retos/en proyectos/laboratorios

Una forma de llevar al estudiante al uso de los laboratorios de forma autónoma, con el fin de despejar preguntas y proponer soluciones, es crear la necesidad de su uso. Algunos métodos, que permean todo el proceso de enseñanza- aprendizaje han dado buenos resultados, proponiendo un objetivo superior mayor al simple uso de los equipos de laboratorio, con el fin de verificar una ley o principio (Coyle y cols., 2009).

Los métodos que invitan al estudiante a buscar soluciones, entender el principio de funcionamiento, y la relación de variables, generan en los estudiantes habilidades y competencias de investigación que se consolidan con el uso de equipos y máquinas disponibles en los laboratorios (Laboy-Rush, 2011). Para ello se debe brindar la posibilidad de que pueda hacer prácticas libres en los laboratorios disponibles y en centros especializados¹⁸. Otras estrategias para focalizar el trabajo en el laboratorio son PBL, CBL y RBL. En la Tabla 2.9 se muestra

¹⁶Algunos autores consideran el *B-Learning* como otro modelo híbrido de educación (Karabulut-Ilgu y Jahren, 2016)

¹⁸Una de estas posibilidades las brinda el SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje – Colombia), con su programa TECNO PARQUE. Este un programa de innovación tecnológica del SENA, a interesados en desarrollar proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I + D + i) materializados en prototipos funcionales en cuatro líneas tecnológicas: Electrónica y Telecomunicaciones, Tecnologías Virtuales, Ingeniería y Diseño y Nanotecnología Biotecnología, que promueve el emprendimiento basado en la tecnología.

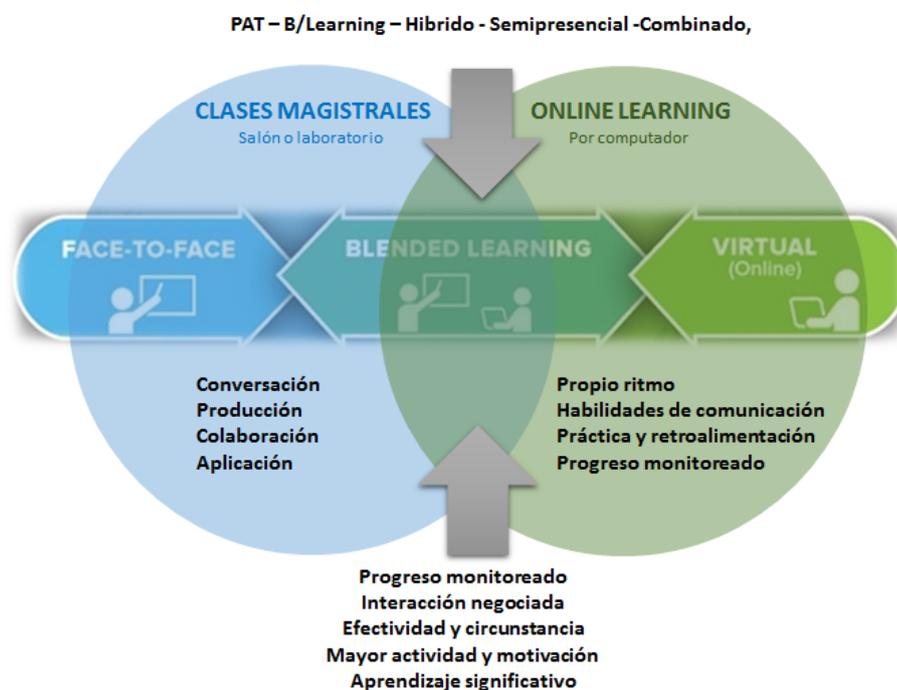


Figura 2.12: Ventajas del B-learning
Fuente: El autor basado en el blog de FIIB¹⁷

las ventajas de las estrategias PBL, CBL y RBL.

2.5.3. Actores en un laboratorio

Aunque existen varios actores en el diseño, definición e implementación, de un laboratorio (Benmohamed, Leleve, y Prevot, 2004), (Rojas-Calero, 2012): [Institución educativa, proveedores de tecnología, buenas prácticas de la industria, institutos de investigación, organismos estatales regulatorios e institutos sobre tendencias tecnológicas], son los actores internos y directos quienes están involucrados en la definición de las estrategias de enseñanza aprendizaje (San Cristóbal y cols., 2014).

La dinámica de las prácticas de laboratorio, con objetivo pedagógico, está enmarcada principalmente en la relación de los actores internos de la institución educativa que apoyan el proceso enseñanza aprendizaje (estudiante – docente – auxiliar). Las relaciones estudiante – docente y su efectividad han sido ampliamente estudiadas por Evans (Evans, 2013), (C. Kim y cols., 2015) y (Nartgün y Özen, 2015). Sin embargo, la relación del docente y la del equipo técnico en el desarrollo de la práctica ha estado supeditado a la parte administrativa.

Tabla 2.9: Ventajas del PBL, CBL y RBL

Sig.	DEFINICIÓN	VENTAJAS	Autores en aplicaciones en laboratorios
PBL	El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP o PBL, Project-based learning)- Aprendizaje basado en problemas (ABP o, del inglés, PBL, problem-based learning)	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo de competencias de colaboración, planteamiento de proyectos, comunicación, toma de decisiones y manejo del tiempo - Mayor participación y atención en clase y mejor disposición para realizar las tareas - Aprender de manera práctica a usar la tecnología 	(Badilla Quintana & Meza Fernández, 2015) (Terkowsky, May, Haertel, & Pleul, 2013) (Ínce et al., 2015)
CBL	Aprendizaje basado en retos (Challenge Based Learning)	<ul style="list-style-type: none"> - Prepara mejor a los estudiantes para afrontar situaciones reales que se encontrarán en su futuro laboral - El aprendizaje colaborativo 	
RBL	Aprendizaje basado en investigación RBL (Research-based learning)	<ul style="list-style-type: none"> - Habilidades comunicativas y sociales - Aumentar la autoestima - Acrecentar las fortalezas individuales de aprendizaje 	

Otras variables de los actores estudiadas son:

- Efectividad (Pati, Misra, y Mohanty, 2012)
- Rendimiento (Pardo, Han, y Ellis, 2017)
- Autoeficacia / Motivación (VanLehn, Zhang, Burlson, Girard, y Hidago-Pontet, 2016)
- Satisfacción de los alumnos (Le, 2015)
- Aceptación tecnológica (Abdullah y Ward, 2016)
- Seguridad en el laboratorio (Barrios y cols., 2013)
- Capacidad tecnológica
- Conocimiento tecnológico del contenido pedagógico TPACK (H. H. Yang, Ma, y Wei, 2011)

De las muchas de las técnicas didácticas que se pueden implementar en el diseño de experiencias en el laboratorio, el aprendizaje colaborativo tiene una gran tendencia de crecimiento (Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V., y Martín, 2013), principalmente por: el uso de las redes sociales (uso de móviles, *m-learning*), el desarrollo de habilidades sociales- *soft skills* y la complejidad de las prácticas.

Pero muchos de los docentes no utilizan el aprendizaje colaborativo como apoyo del proceso de enseñanza– aprendizaje (Collazos y Mendoza, 2006), por razones como: pérdida de control, falta de preparación, miedo a perder el cubrimiento de los temas, falta de materiales preparados, ego, resistencia de los estudiantes al trabajo colaborativo y falta de conocimiento en las metodologías STEM.

2.5.3.1. Estudiante

Tradicionalmente la práctica en laboratorios, principalmente HO, tiene la perspectiva al desarrollo de competencias individuales (May y cols., 2016), donde el centro de la indagación está en las apreciaciones del estudiante sobre la experiencia (Murray, Lowe, Lindsay, Lasky, y Liu, 2008) y algunas veces sobre su efectividad (Abrahams y Millar, 2008). Sin embargo, hay autores que por motivos de eficacia, tiempo, procedimiento y desarrollo de competencias blandas (Derntl y Motschnig-Pitrik, 2005), entienden la experiencia en el laboratorio como un trabajo colaborativo.

Para Ros (2006) existen agrupaciones de conducta que congregan los roles más comunes, observados en el trabajo en grupo colaborativo. En el aprendizaje colaborativo involucra: estructuras, roles y comunicación. Los Roles más recurrentes, de los estudiantes en una práctica de laboratorio basados en la literatura se muestran en la Tabla 2.10:

Tabla 2.10: Rol de los estudiantes en una experiencia de laboratorio

ROL	(CIDE, 2010)	Zapata (2016)	Ros (2006)	DESCRIPCIÓN
Observador	Expositor	Líder	Cohesionador Monitor	Tiene una visión global de la situación y está pendiente de que todo salga correctamente
Diseñador del experimento	Responsable de los materiales	Implementador	Coordinador Ideador	Organiza todos los elementos en la práctica de laboratorio para que salga según lo planeado
Controlador de variables	Facilitador Controlador del tiempo	Ejecutor	Implementador Investigador de recursos	Está pendiente de la actividad ya en su desarrollo e interviene en la manipulación de los sistemas
Tomador de datos	Secretario	Registrador	Especialista	Recoge los datos necesarios y pertinentes en la experiencia y documenta todo el proceso
Analizador de datos	Calculista Escritor		Finalizador Evaluador	Es quien evalúa la información recolectada y establece la validez de la actividad

2.5.3.2. Docente

Los docentes como artífices del proceso de enseñanza aprendizaje, han sido estudiados como factor clave en la implementación de experiencias de laboratorio (C. Kim y cols., 2015), (Fore y cols., 2015) y (Ochoa, 1989), para complementar la formación técnica, científica e

investigativa que acompaña al estudiante. Algunas variables como desempeño (Abrahams y Millar, 2008), la motivación (Vergara Rodriguez, 2014) y el compromiso (*engagement*) (Bosch y cols., 2011) son atribuidos en gran medida a participación que el docente tiene en el acompañamiento de la experiencia de laboratorio.

Para que esta participación y la eficacia en la formación de los estudiantes sean efectivas, Los docentes necesitan manejar tres tipos de conocimientos (Tecnológico, Pedagógico y Curricular), con el fin de poder integrar la tecnología en sus experiencias de laboratorio. Un modelo que propone esta integración es TPACK (*Technological, Pedagogical and Content Knowledge*), es una forma de representar lo que los maestros saben sobre tecnología (Campbell y Dobozy, 2013).

El modelo se puede representar como la intersección de conocimientos, como se muestra en la siguiente figura. Los diferentes roles del docente se basan en la forma como se relaciona con sus estudiantes y se basa sobre estos conocimientos que el docente tiene sobre la unidad de estudios y las características del estudiante (Viciedo, 2002).

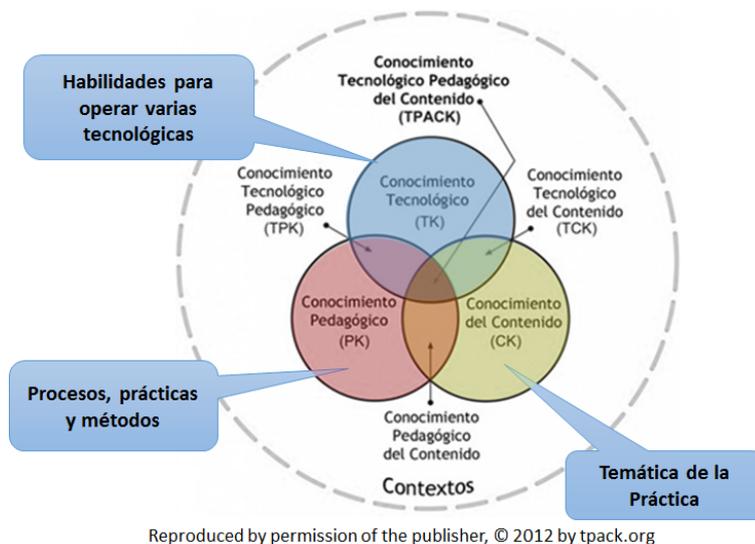


Figura 2.13: Modelo TPAK

Fuente: Tpack.org

Basado en lo anterior y los objetivos que se quieren alcanzar en la etapa que se desarrolla la experiencia de laboratorio, el rol del docente puede tener diferentes características. El proceso directo con los estudiantes el docente juega un papel importante frente a la metodología pedagógica seleccionada (H. H. Yang y cols., 2011). Algunos de los roles del docente en una experiencia de laboratorio son mostrados en la Tabla 2.11.

Para una correcta asignación del rol del docente en una práctica de laboratorio en su eje-

Tabla 2.11: Rol de los docentes en una experiencia de laboratorio

ROL	(CIDE, 2010)	Zapata (2016)	Collazos (2006)	Descripción
Evaluador	Diagnosticador		Diseñador instruccional	Busca dar un valor al desempeño del estudiante en una práctica de laboratorio
Capacitador	Formador	Instructor	Instructor	Da las instrucciones tanto teóricas como procedimentales de la práctica y su relación
Guía/facilitador	Acompañante	Coordinador	Medidor cognitivo	Acompaña las acciones del estudiante y hace las observaciones a medida que se presentan
Observador	Espectador - Evaluador			Hace una evaluación holística del desempeño del estudiantes y no interviene en el proceso de experimental
Difuso	Varios		Integral	Asume diferentes comportamientos dependiendo de las características del grupo y su contexto

cución, el docente debe tener habilidades técnicas, sociales, pedagógicas, administrativas, actitudinales y argumentativas, para identificar con claridad como es la actitud, las acciones y la organización de la dinámica técnica de la experiencia.

2.5.3.3. Auxiliares o *Technical Staff*

Las personas que apoyan las prácticas tienen diferentes funciones en el laboratorio; hacen los montajes, proveen de los materiales, están a cargo de algunos mantenimientos y están encargadas de mantener el servicio en general. Estos últimos incluyen: administrar el software, los equipos y los sistemas de apoyo (las reservas, mantenimiento y seguridad del conjunto del laboratorio).

La relación entre el *Technical Staff* (Kostulski y Murray, 2010) y el docente se centra en el proceso de enseñanza aprendizaje, mientras que con el estudiante, el foco está en el proceso de apoyo para el desarrollo de las experiencias, que comprenden servicios de reservas, suministros y planes de contingencia. Otras acciones especiales están en detectar peligros, evitar daños por el mal uso de los equipos, asesorar nuevas prácticas y prevenir de los riesgos presentes en el laboratorio ¹⁹. (Tamez, 1999) y (Alemán Suárez y Mata Mendoza, 2006).

El diseño de toda actividad de laboratorio o práctica de laboratorio pedagógico, requiere de

¹⁹Peligro—Todo aquello que puede producir daño o deterioro en la calidad de vida individual o colectiva de las personas.

Daño— Es la consecuencia de un peligro sobre la calidad de vida individual o colectiva de las personas.

Riesgo— Probabilidad de que, ante un determinado peligro, se produzca cierto daño. El riesgo se puede cuantificar

una planificación, alistamiento y una prueba bajo las condiciones que se desarrollará. Esto con el fin de disminuir riesgos y ser más asertivo en su realización.

- Planificar las prácticas de laboratorio con el fin de identificar y eliminar riesgos potenciales.
- Informar a los participantes del laboratorio sobre la práctica y sus limitantes.
- Preparar y relacionar los productos, equipos, herramientas, instalaciones, máquinas y materiales que serán utilizados.
- Consultar los manuales de los equipos para tener conocimiento de las condiciones de uso.
- Diseñar prácticas con objetivos alcanzables incluyendo los riesgos con el fin de evitar riesgos.
- Tener un manual o guía de práctica para que los que utilicen los laboratorios tengan una guía de los procedimientos.
- Tener un canal de comunicación para administrar las reservas, equipos en mantenimiento o deficiencias detectadas para una práctica en particular.

2.5.3.4. Relación entre actores

El análisis de la relación de los actores se evalúa a la luz de los procesos de diseño, preparación, ejecución y soporte de una práctica de laboratorio. Debido al grado de integración que se debe lograr; Estudiante– Docente, esta relación apoya principalmente por el proceso de enseñanza–aprendizaje (De La Torre y cols., 2013) (Hudson, Peter. English, Lyn. Dawes, Les. King, Donna. Baker, 2015). Una segunda relación Auxiliares de laboratorio– Estudiante, facilita. Y aunque existen otros actores externos e internos que influyen la efectividad y desempeño del laboratorio, las relaciones entre los actores proveen de la integración necesaria entre objetivos educacionales, capacidad tecnológica y apoyo técnico.

Algunos aspectos afectados con esta relación entre actores esta consignada en la Tabla 2.12:

Tabla 2.12: Relación de los actores presentes en una práctica de laboratorio

RELACIÓN	ACTIVIDADES	ACCIONES
Docente – Estudiante	Desarrollo de competencias (Antes – Durante- Después)	-Diseño de experiencias según la competencia y la temática -Evaluación de la experiencia -Guía de las actividades en su desarrollo -Control de los parámetros y variables
Estudiante – laboratorista	Servicios de apoyo (Durante)	-Facilita los instrumentos e insumos adicionales a la práctica -Apoya planes de evacuación, accidentes y acceso -Facilita los equipos de seguridad personal adicional
Docente – laboratorista	Montaje de las experiencias (Antes - Después)	-Montaje y Alistamiento de los artefactos y equipos -Adquisición de los insumos y Preparación de los instrumentos -Disponibilidad y acceso al software de la práctica -Mantenimiento de equipos y destino de desechos

2.5.4. Componentes de una práctica de laboratorio en ingeniería

Debido a las características que tiene un laboratorio en Ingeniería la determinación de los componentes de un modelo de evaluación para las prácticas de ingeniería debe partir del proceso de formación. Higgins (2010) identificó siete principios clave de la retroalimentación formativa efectiva:

- Facilitar el desarrollo de la autoevaluación (reflexión) en el aprendizaje
- Fomentar el diálogo entre docentes y compañeros sobre el aprendizaje
- Aclarar qué es un buen rendimiento
- Proporcionar oportunidades para cerrar la brecha entre el rendimiento actual y el deseado
- Entregar información de alta calidad a los estudiantes sobre su aprendizaje
- Fomentar las creencias motivacionales positivas y la autoestima
- Proporcionar información a los maestros que se pueda utilizar en su enseñanza

Algunos modelos de evaluación formativa y retroalimentación son propuestos por Juwah (Juwah y cols., 2004). (Abdulwahed, 2010) y (Higgins y Grant, 2010)

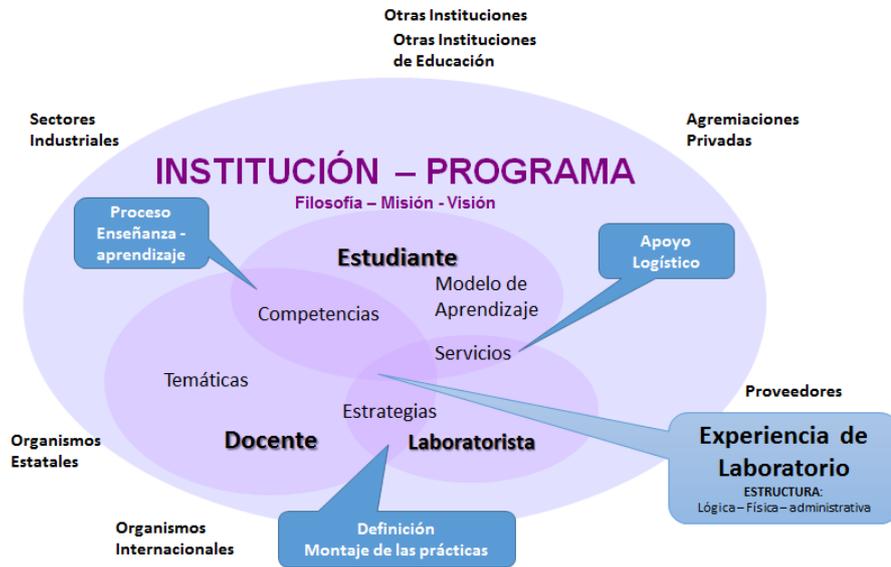


Figura 2.14: Relación entre los actores que participan en las experiencias de laboratorios

Un laboratorio en su ejecución como experiencia de aprendizaje se refiere a un ambiente o realidad en la cual se elabora algo o se experimenta, para ello un laboratorio debe ser constituido por cuatro elementos funcionales (Ángel, Urdaneta, y Ángela, 2015):

- **Variables:** Tanto de entrada, de salida. Son magnitudes y estados que condicionan el funcionamiento de los equipos e instrumentos.
- **Equipos, instrumentos y algoritmos:** Reales, virtuales o conceptuales fundamentales, que constituyen la lógica y la dependencia entre variables, el medio y el experimentador
- **Medios de visualización e interacción:** estos elementos constituyen un variado grupo de accesorios y dispositivos acordes con el experimentador.
- **Elemento base de experimentación:** es el componente real en acción, sobre el cual se quiere estudiar o analizar, que relaciona el experimento con su aplicación real o futura en la industria o en el campo de acción.

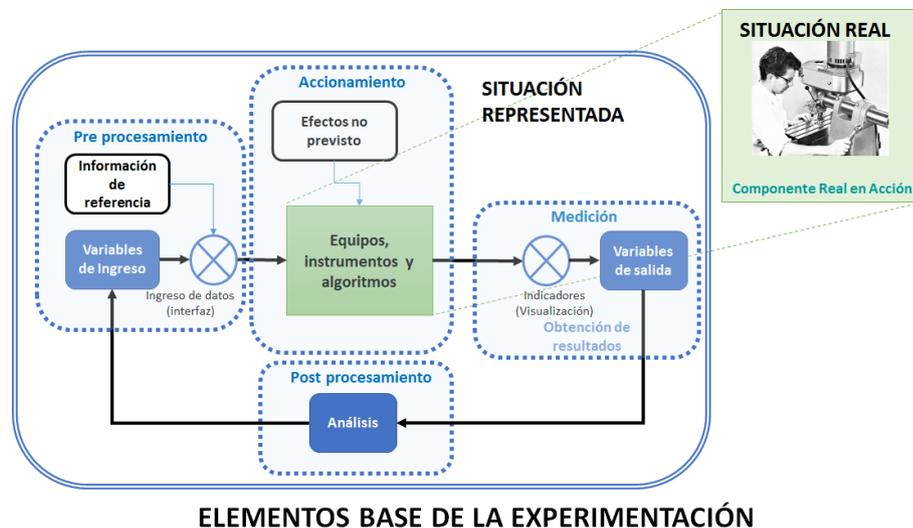


Figura 2.15: Elementos funcionales en una práctica de laboratorio
Fuente: Elaboración propia basado en el diseño de modelos de Ángel (2015) y (Abdulwahed, 2010)

Los reportes típicos para un laboratorio técnico en ingeniería y la estructura de las guías la han trabajado varios autores (Emiro y cols., 2015), (Alemán Suárez y Mata Mendoza, 2006). La presentación de las variables de salida está alineada con el tipo de actividad que se quiere hacer en el laboratorio y el objetivo que se busca. Los tipos de reporte de laboratorio pueden ser según Davies (Davies, 2008):

- Informes de grupo
- Presentación, informe verbal
- Documento de sesión
- Escribir un 'manual de usuario' o guía
- Póster
- Libro de trabajo de laboratorio
- Informe instantáneo enviado al final del laboratorio
- Examen de laboratorio

Para hacer una mejor evaluación es ideal además de observar la efectividad del aprendizaje (A. S. Diwakar y Noronha, 2016) por medio de reportes, obtener la percepción de la experiencia de laboratorio para el estudiante (Phatthana y Nik Mat, 2011) y la interpretación de fenómeno estudiado. El modelo propuesto tiene en cuenta estos tres análisis.

2.6. Estado del Arte en Clasificación de Laboratorios

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 (Popović, Popović, Mijić, Stankovski, y Ostojić, 2013). Particularmente en ingeniería los procesos de enseñanza deben ir acompañados de prácticas de laboratorio pertinente a esas habilidades (Ashby, 2008).

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.

Existen diferentes formas de clasificar los laboratorios para ingeniería, ya sea desde su área de formación, o su tipo de naturaleza (Henke, Ostendorff, Wuttke, Vietzke, y Lutze, 2013), (L. Gomes y Bogosyan, 2009), tecnología involucrada; convencionales, asistidas por computador (Interacción con el experimento) (Muriel y Giraldo, 2010), y objetivo educacional (Elawady y Tolba, 2009) y (Benmohamed, Lelev, Prévot, Leleve, y Prevot, 2005). Para Kirschner y Meester (Kirschner y Meester, 1988), la definición de un laboratorio se concentra en su estructura dependiendo de su finalidad, estos se pueden clasificar demostrativos, experimentales, diferentes y autónomos (stand-alone) entre otros.

2.6.1. Tipologías de laboratorios en ingeniería según la presencialidad

La forma más conocida de hacer las experiencias en laboratorio implica la presencia física de los estudiantes y docentes, como a su vez la plataforma experimental. Esto se conoce en la literatura como laboratorios proximales (Lindsay y Good, 1996), *face to face F2F* (Bright, Lindsay, Lowe, Murray, y Liu, 2008) o *Hands-On* (Orduña y cols., 2016) o simplemente presenciales. Con la incorporación de las TICs y la relación usuario-equipo se han desarrollado otras modalidades de laboratorio basado en la ubicación del equipo y su materialización o plataforma. Una de las definiciones de esta tipología es presentada por Dormido (2002) y (Bravo y Bacca, 2009). Inicialmente, se presentaron además de los Hands-On, y los laboratorios remotos LR, los laboratorios Virtuales LR (Abdulwahed, 2010). Sin embargo, esta última categoría se presenta en una nueva modalidad emergente en la que se incorpora la Red, siendo así, los laboratorios virtuales se subdividen en:

Laboratorio Virtual Local LVL– es aquel que su principal *kernel*²⁰ o la lógica de la simulación virtual están en el ordenador o PC que opera el estudiante. Este tiene características de usabilidad y de aplicación enfocados principalmente al usuario sin necesidad de conexión a la Internet (Vergara Rodriguez, 2014). También es conocido como simulación local (Hans, 2016).

²⁰El Kernel ó núcleo, es un componente del software que constituye una parte fundamental del sistema lógico operativo

Laboratorios Virtuales en la Nube LVN– con el advenimiento de tecnologías de interconexión mundial por medio de la red mundial de comunicación – Internet, la necesidad de hacer la simulación en un espacio virtual On–line o en la nube ha ido en aumento (Gallardo y cols., 2011), (Tobarra y cols., 2014).

La clasificación de los diferentes tipos de laboratorios basados en el lugar del usuario y el equipo se puede ver resumido en Tabla 2.13.

Tabla 2.13: Tipos de laboratorio según la ubicación del usuario y el equipo

Tipos de laboratorios	Definición	Ejecución
HO - <i>Hands-On</i>	Los laboratorios presenciales basan su lógica en procesos reales soportados en dos características distintivas los equipos son reales y los usuarios están físicamente en contacto con los equipos	Equipos, sistemas dispositivos y montajes reales
LVL - Virtual Local	Este estilo de laboratorio es basado sobre Una infraestructura no real sino simulada ubicada en un computador y acceso local sin necesidad de conexión a internet	Aplicaciones Java, Software especializado Applets – Apps locales
LVN - Virtual en la Nube	El laboratorio se encuentra ubicado en un servidor que requiere para su uso acceso del usuario por medio de internet	Mundos virtuales Software WEB especializado
LR - Remotos	Son similares a los Hands-On, que necesitan espacio, equipos y máquinas reales. Sin embargo, los usuarios se encuentran distantes de los equipos, y requieren dispositivos y sistemas de acceso mediado.	Software de medicación y acceso (VPN, aplicaciones WEB)

Fuente: El autor basado en García-Zubia (García-Zubia y Alves, 2012)

Basada en esta clasificación se han generado diferentes definiciones y elementos que buscan desplegar las ventajas individuales y particulares de cada uno de los cuatro tipos convencionales. Las tecnologías emergentes y las TICs han establecido conexiones entre ellos y han generado la tipología híbrida o mezclada ²¹.

²¹Basado en el trabajo de Tawfik, esta tipología de mezcla de componentes se nombrará como LaaS - Laboratory As A Service

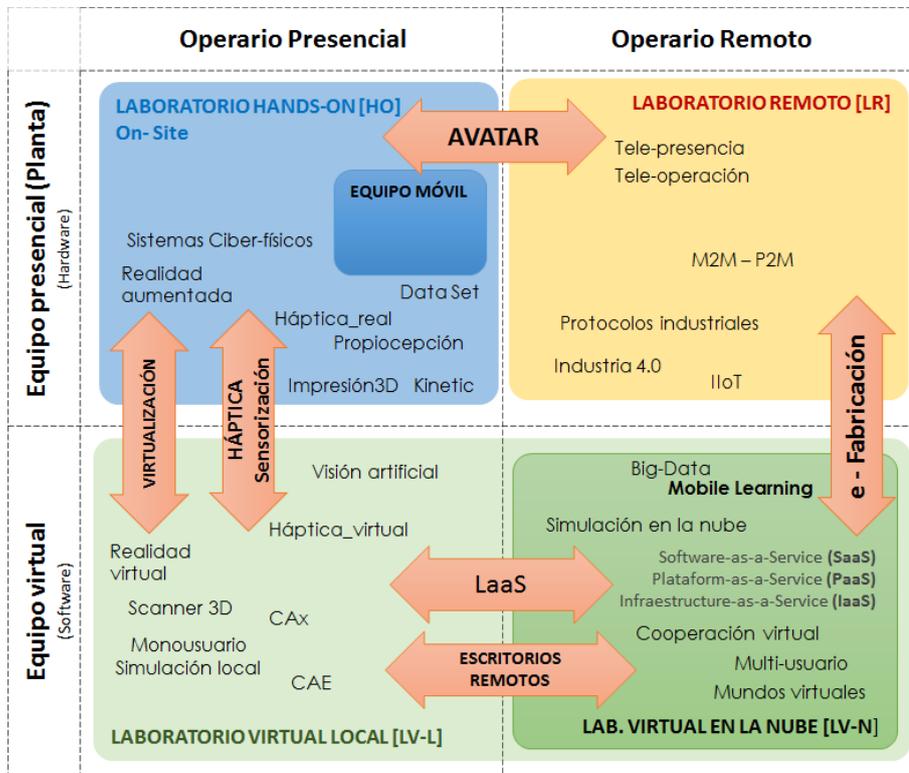


Figura 2.16: Panorama general de la Clasificación según su localización geográfica (estudiante– experimento)

Fuente: Elaboración propia basado en Henke (Henke y cols., 2013).

A continuación se realizará una breve descripción de cada laboratorio, ventajas y desventajas, y un ejemplo representativo de la literatura.

2.6.2. Laboratorios Hands-On HO

Este tipo de laboratorio tradicionalmente se ha utilizado en la formación en ingeniería, porque puede brindar las especificaciones técnicas del laboratorio con relativa facilidad, en especial el control y realismo (Ma y Nickerson, 2006b). Tanto el docente como los estudiantes se encuentran de forma presencial en mismo espacio con un equipo real, ya sea la misma configuración que se utilizada en la industria o con disposiciones y acondicionamientos para fines pedagógicos. Todo el proceso de experimentación (Pre–procesamiento, Accionamiento y Obtención de resultados) y algunas veces el Post–procesamiento, sucede en el mismo lugar en tiempos relativamente cortos.

Ejemplificando este tipo de experiencia presencial, se describen los diferentes procesos con una muestra de este tipo de laboratorio en un centro de mecanizado CNC ²² (ver Fig. 2.17).

²²El laboratorio mostrado es utilizado en la Universidad EAN por estudiantes de Ing. de Producción

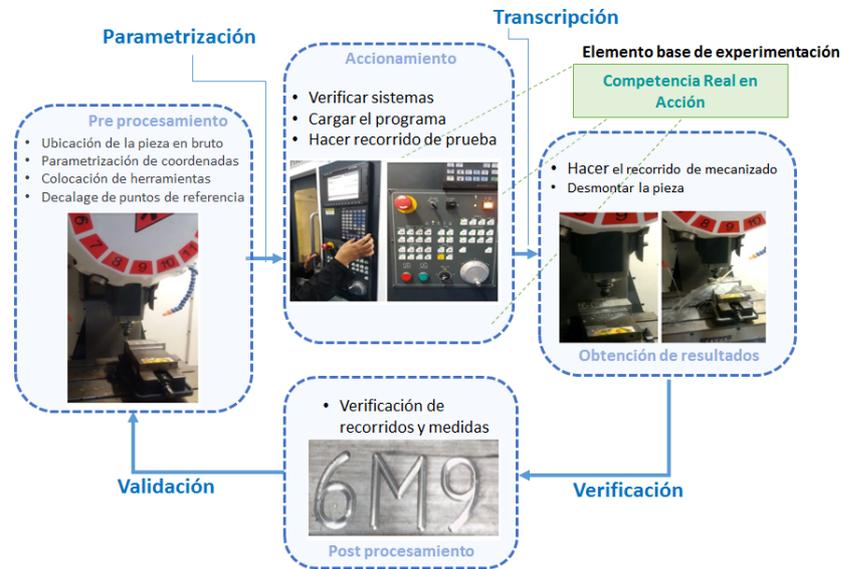


Figura 2.17: Proceso de experimentación Hands-On en una máquina CNC.

Fuente: El autor con estudiantes y equipos de la Universidad EAN ²³

Obsérvese que el objetivo de la experimentación es desarrollar la competencia de diseño de procesos en el estudiante. Razón por la cual el resultado es un producto fruto del proceso de mecanizado donde la evaluación está enfocada en la realización correcta de los pasos del proceso.

Tabla 2.14: Características de un laboratorio HO

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBJETIVO
<ul style="list-style-type: none"> - Realistas, interacción con el equipo real - Control total sobre la experiencia - Solución de dudas e inquietudes de forma directa - Fácil de imprimir - Trabajo colaborativo directo - Posibilidad de hacer cambios de parámetros - Incertidumbre - Los limitantes físicos restringen la flexibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Costos (inicial/mantenimiento) - Espacio (equipo+seguridad) - Restricciones de tiempo y lugar - Requiere separar y calendarizar - Requiere supervisión - Se requiere un mayor tiempo de capacitación - Altos riesgos - Incertidumbre - Interactividad - Alta supervisión 	<ul style="list-style-type: none"> - Conocer de forma directa el proceso de experimentación con equipos.

Fuente: El autor basado en Nedic (Nedic, Machotka, & Nafalski, 2003)

Otros nombres para el laboratorio Hands-On, o presencial son: tradicionales, *In situ*, *Fase To fase*, y convencionales. Las recomendaciones de diseño para este tipo de laboratorio son:

- **Prueba piloto:** Hacer pruebas antes de la experiencia con estudiantes, esto garantiza que las variables no controladas hagan que se obtengan resultados extraños. Saber con anterioridad el tiempo que se requiere, así como los materiales y medidas de seguridad. Todo esto vincularlo a la guía (Alemán Suárez y Mata Mendoza, 2006) y (Emiro y cols., 2015).
- **Rol de los estudiantes:** Garantizar el trabajo de todos los integrantes en sus diferentes roles. Esto se logra descomponiendo las acciones previstas del laboratorio. Además, se recomienda rotar los roles para que todos tengan una visión global de la experiencia.
- **Pre laboratorio:** Realizar una capacitación previa con los estudiantes sobre los riesgos, los temas de seguridad y la identificación de los equipos y sistemas. Además, se recomienda tener el manual del equipo y un plan de apoyo.

Para este tipo de laboratorio; la interpretación del fenómeno es más real. Sin embargo, muchas veces compleja y requiere de mayor información, tradicionalmente la efectividad de este tipo es alta (VanLehn y cols., 2016) ,según el proceso retroalimentación formativa efectiva aplicada y la percepción del estudiante es positiva (Thanikachalam, 2016)

2.6.3. Laboratorios Virtuales Local LVL

Los laboratorios virtuales son representaciones de fenómenos reales realizadas por computador, Applets ²⁴, aplicaciones, y Apps ²⁵. Este laboratorio LVL es entendido para el estudiante como “un espacio electrónico de trabajo concebido para la colaboración y la experimentación” (UNESCO, 2000) donde se debe desarrollar todo el proceso de experimentación.

El principal requerimiento es que debe desarrollar la simulación de experiencias de laboratorio real lo más similar a una experiencia real y su uso está directamente relacionado con el desarrollo de competencias. Debido a la posibilidad de la conexión de a la red de comunicación, el laboratorio virtual local tiene algunas características diferentes al laboratorio On–line que hace que se estudie de forma separada. Es LVL también llamado como laboratorio simulado local, laboratorio virtualizado, laboratorio de software (Sancristobal y Castro, 2005), por prácticas en PC, o *off–line*.

²⁴Se define como una pequeña aplicación accesible en un servidor Internet, que se transporta por la red, se instala automáticamente y se ejecuta in situ como parte de un documento web.

²⁵Es una aplicación informática diseñada para ser ejecutada en teléfonos inteligentes, tabletas y otros dispositivos móviles.

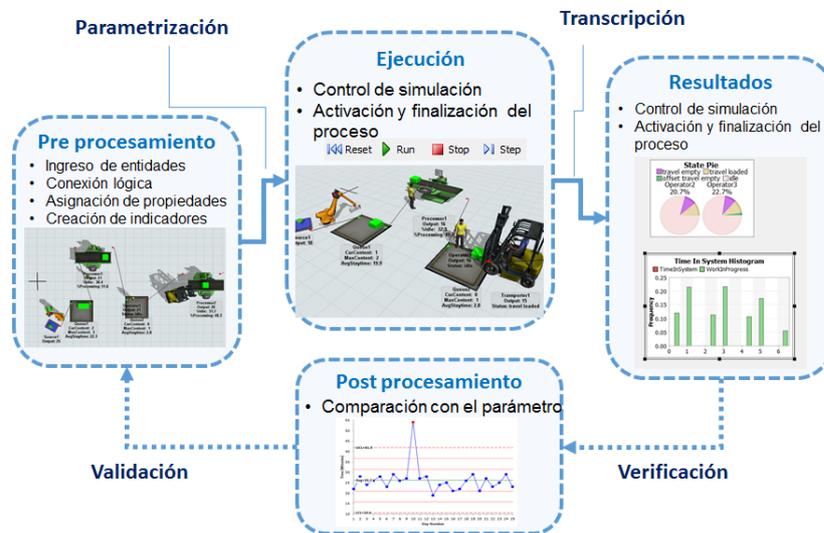


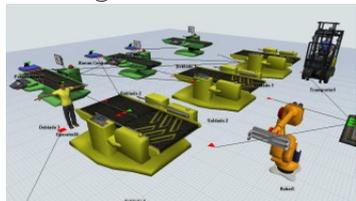
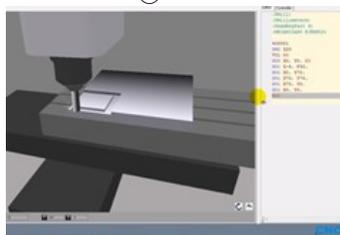
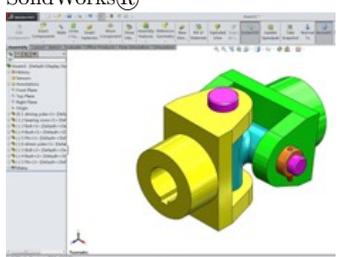
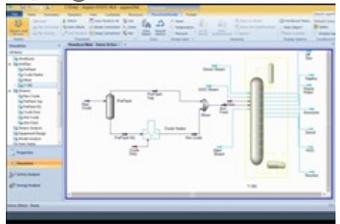
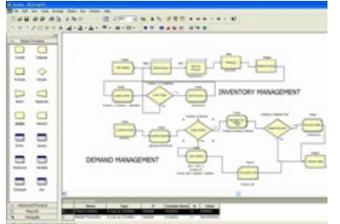
Figura 2.18: Proceso de experimentación LVL en operaciones

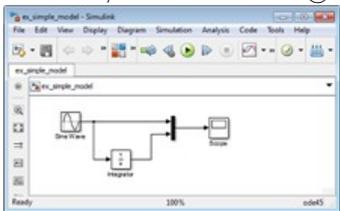
Fuente: el autor con ayuda de los estudiantes con el uso del software Flexsim [®] 26

Para los procesos de manufactura se han diseñado he implementado un variado grupo de programas de computador que cumplen diferentes fines en el proceso de formación; simulación de comportamiento (Bose, 2013), visualización (Chiang, 2011), cálculo de componentes (Fletcher, Ritchie, Lim, y Sung, 2013), entrenamiento (Bochicchio y Longo, 2009) y optimización (Abdul Kadir, Xu, y Hammerle, 2011).

Algunos ejemplos en diferentes áreas son consignados en la Tabla 2.15.

Tabla 2.15: Ejemplos de software virtual aplicado a la manufactura en LVL

Area	Nombre	Descripción
Proceso operativos y Logísticos	Flexsim [®] 	<p>Este programa es un simulador de operaciones y logística. Su principal fortaleza es la representación gráfica 3D y su fácil parametrización.</p> <p>Se utiliza principalmente para determinar las características de procesos en simulaciones de eventos discretos</p>
Recorridos y estrategias de mecanizado CNC	CNCsimulador [®] 	<p>Simula recorridos en 3D de códigos ISO – CNC tiene la propiedad de modelar herramientas, y formas de materiales.</p> <p>Se utiliza principalmente para la verificación de secuencias de códigos CNC antes de llevar el código a una máquina real</p>
Ensamble, soldadura y resistencia	SolidWorks [®] 	<p>Como software de diseño su base es el diseño CAD 3D, utiliza el diseño parametrizado para la generación de croquis 2D y los sólidos 3D.</p> <p>Tiene módulos de simulación de cargas, fluidos, movimientos y temperatura.</p> <p>Además brinda la posibilidad de simular prototipos virtuales y dispone de una base de elementos estandarizados para realizar ensambles y simulaciones de ingeniería. Se considera un software CAD/CAE/CAM.</p>
Procesos Químicos e instrumentación	Aspen [®] 	<p>Combina tanto la simulación de reacciones químicas y procesos de transporte con condiciones termodinámicas.</p> <p>Se utiliza para el diseño de equipos y sistemas de transformación química</p>
Proceso de operación y logística	Arena [®] 	<p>Presenta una interfaz de simulación de procesos de operación y logística. Su principal fortaleza es la robustez y los cálculos pre y post simulación.</p> <p>Su principal uso en manufactura está en comprender el comportamiento de las variables de proceso (tiempo, velocidad, talk time, tiempo de ciclo, cantidad producidas WIP.</p>

<p>Control y automatización</p>	 <p>MATLAB/Simulink- Matlab ®</p>	<p>Esta aplicación permite incorporar los modelos matemáticos al comportamiento de elementos físicos.</p> <p>Tiene una interfaz que garantiza la fácil manipulación de grandes cantidades de datos e información. Tiene una gran librería de aparatos virtuales</p>
<p>Mecánica de fluidos</p>	 <p>Phet Interactive Simulations</p>	<p>Applet de experimentación de los principios básicos del transporte de fluidos.</p> <p>La aplicación Java que corre en dos formas: al descargarse en el PC o embebida en una página WEB. Tiene tres ambientes de experimentación</p>

En la Tabla 2.16, se consignan las características más significativas de estos laboratorios virtuales LVL.

Tabla 2.16: Características de un laboratorio LVL

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBJETIVOS
<ul style="list-style-type: none"> -Buena explicación de conceptos -No existe restricción de tiempo y lugar -Mediana interacción -Bajo costo y fácil implementación -Flexible: Cambio de configuración amplio. -Resistencia al daño y menor riesgo -Hacer que se vea lo “invisible” tanto lo físico como de comportamiento. -Mayor número de estudiantes de manera sincrónica -Menor tiempo de experimentación y desarrollo de competencias -Facilita el proceso de modelamiento matemático. -Diversidad de medios didácticos como videos y otras aplicaciones. -Repetitividad -Explicación efectiva de los conceptos teóricos. -Desarrollo paso a paso y posibilidad de retornar a un paso anterior. -Medio interactivo 	<ul style="list-style-type: none"> -Datos idealizados sin variación no planeadas -Falta de colaboración -No es interactivo con el equipo real -Simulación Monousuario -Pueden ser demasiado complejos y requerir características de hardware especializado. -No existe incertidumbre -Necesidad de una guía clara para evitar la baja comprensión del fenómeno -Falta de seriedad, responsabilidad y cuidado -Pérdida de parcial de la visión de la realidad -Poca concentración , se ofrecen muchos distractores -Resistencia del docente -Apoyo técnico de la institución -Dificultad en el desarrollo de competencias blandas. -Problemas de versiones. Hay ocasiones en que los alumnos no tienen las últimas versiones. -No existen herramientas colaborativas que permitan el trabajo en grupo. -No existe posibilidad de que el tutor pueda evaluar de forma continua los progresos realizados por el alumno. -No trabaja con instrumentos reales. 	<ul style="list-style-type: none"> -Preparar a los estudiantes en competencias que requieren un proceso de reconocimiento previo o alejado del contacto con el sistema real, por razones como tiempo, costo, seguridad, acceso, distancia, etc.

Fuente: El autor basado en (Potkonjak et al., 2016),(Nedic et al., 2003), (E Sancristobal & Castro, 2005) y (Lorandi, Hermida, Hernández, & Ladrón de Guevara, 2011)

Otras aplicaciones en manufactura están orientados a: automatización y electrónica (Suárez,

Marta, José, y Nápoles, s.f.), Robótica (Abdul Kadir y cols., 2011), mecanizado CNC (Ruiz y Perez, 2012) (W. B. Lee, Cheung, y Li, 2001), cargas y resistencia, fundición (Chougule, Jalan, y Ravi, 2000) y Soldadura (Mavrikios, Karabatsou, Fragos, y Chryssolouris, 2006).

La principal característica para el diseño de un laboratorio LVL es comprender claramente el patrón o las leyes que rigen el comportamiento de un experimento real, la diagramación para que la experiencia sea lo más real y los mecanismos de presentación de resultados.

Algunos autores como (Potkonjak et al., 2016) determinan algunos criterios de diseño que debe cumplir un laboratorio virtual sobre la propuesta de un requisito crucial: 'operar un laboratorio virtual debe hacer sentir que el estudiante está trabajando con dispositivos auténticos reales en un espacio real auténtico'. Recomendaciones de diseño (Potkonjak y cols., 2016):

Lógica de sistema: para que el sistema simulado sea lo más cercano al comportamiento real, se debe estudiar; la forma física de los elementos, la usabilidad de sus componentes, la perspectiva de visualización, y en especial la lógica matemática que rige el fenómeno que interviene en la experimentación.

Las interfaces de usuario: para cada equipo deben ser idénticas a los dispositivos reales correspondientes, se apoya en su forma, sonido, comportamiento, etc.

El comportamiento del sistema virtual: (por ejemplo, su estado y variables de control) debe ser equivalente al comportamiento del sistema en el paradigma físico. En muchos casos la posibilidad de *scanear*²⁷ facilita y mejora esta representación.

Visualización: Se debe proporcionar una visualización que haga sentir a los estudiantes que están viendo algo realmente auténtico.

Espacio virtual: Se debe crear un espacio de laboratorio que permita la comunicación y colaboración entre los estudiantes y el supervisor de laboratorio (o experto en el campo) para que pueda intervenir cuando se requiera.

La sola herramienta informática no configura un laboratorio, se deben utilizar las aplicaciones de software en la implementación de experiencias de experimentación en ingeniería funcionando como laboratorios reales, deben estar enmarcadas en la contextualización en la que se aplican (Tawfik, Lowe, y cols., 2013), el proceso de enseñanza aprendizaje (Buitrago, Giraldo, y Lamprea, 2011) y las características de hardware que disponen los actores (De la Rosa, 2012).

La simulación virtualizada de una experiencia de laboratorio genera un gran reto de diseño de software (Sandoval Torres, 2010), que no siempre describe la realidad del fenómeno; la interpretación del fenómeno es parcial, la efectividad es variable (A. S. Diwakar y Noronha, 2016), según el proceso retroalimentación formativa efectiva aplicada y la percepción del estudiante es positiva aunque cada vez es más exigente.

²⁷Capturar digitalmente la forma física de un elemento

2.6.4. Laboratorios Virtuales Nube LVN

Este tipo de laboratorio surge de los LVL (simulación de fenómenos reales) implementando sistemas de comunicación a la red de comunicación Internet para acceder a los recursos informáticos o usos de plataformas especializadas. Para ello, se establece comunicación directa entre computadores (cliente), con otros equipos o con máquinas virtuales (servidores)²⁸ (Wu, Terpenney, y Gentzsch, 2015). Inicialmente, se utilizaron los escritorios remotos con ayuda de aplicaciones VNC²⁹ que facilitaban la conexión entre sistemas distantes, recurriendo a protocolos de comunicación On-line directa como TCP/IP. Otros software también han sido utilizados con éxito como Teamviewer ® (Popović y cols., 2013), Zoho meeting³⁰ ® o Remoto Desktop de Google.

El uso extendido de la Internet ha dado la posibilidad de crear y desarrollar sistemas de experimentación que se puede compartir en la red, que van desde el acceso a aplicaciones en línea hasta el desarrollo de portales institucionales que han desarrollado sistemas más completos e integrales sobre plataformas de colaboración llamadas Modelos de Laboratorios Federados.

Basado en la flexibilidad y alcance del uso de los sistemas, actualmente se encuentran como laboratorios *On-line* tres tipos:

Laboratorios específicos: como aplicaciones Applets o Apps. La forma de acceder a ellos se hace con el objetivo de analizar una condición o fenómeno. Su desarrollo es sencillo y su lógica es básica y limitada.

Plataformas específicas (AVA): reúnen varios módulos y funciones de aprendizaje en un mismo ambiente como: Virtualplant ®³¹, NeuroLab³² (Dobrzański y Honysz, 2010) o aplicaciones como Andragonox®³³

Plataformas generales de trabajo colaborativo: Como ambientes virtuales o mundos virtuales: Secondlife (Badilla Quintana y Meza Fernández, 2015), (Rodríguez-Gil, García-Zubia, Orduna, y Lopez-de Ipina, 2017) y *Open Wonderland*³⁴ (Kaplan y Yankelovich, 2011).

El usuario con el rol de estudiante inicia la aplicación (software, Applet o App) por medio de

²⁸Es un software que simula un sistema de computación y puede ejecutar programas como si fuese una computadora real.

²⁹*Virtual Network Computing Virtual*

³⁰Aplicación de software de comunicaciones que le permite realizar reuniones en línea y compartir el control sobre el PC. La aplicación Zoho assist tiene la posibilidad de establecer la conexión bajo pedido

³¹Es una plataforma AVA, creada con el objetivo principal de brindar un laboratorio virtual en el que se puedan realizar diferentes prácticas utilizando el contexto de una planta piloto <http://www.virtualplant.net/>

³²Conjunto de laboratorios para la enseñanza de la ciencia de materiales

³³App creada por la Universidad EAN, para enseñar el tratamiento de sustancias residuales con procesos fisicoquímicos.

³⁴Es una herramienta Java open source para crear "mundos virtuales" de forma colaborativa. <http://openwonderland.org/>

protocolos de acceso desde un dispositivo configurado como cliente a una serie de elementos y recursos alojados en un repositorio o plataforma denominado servidor.

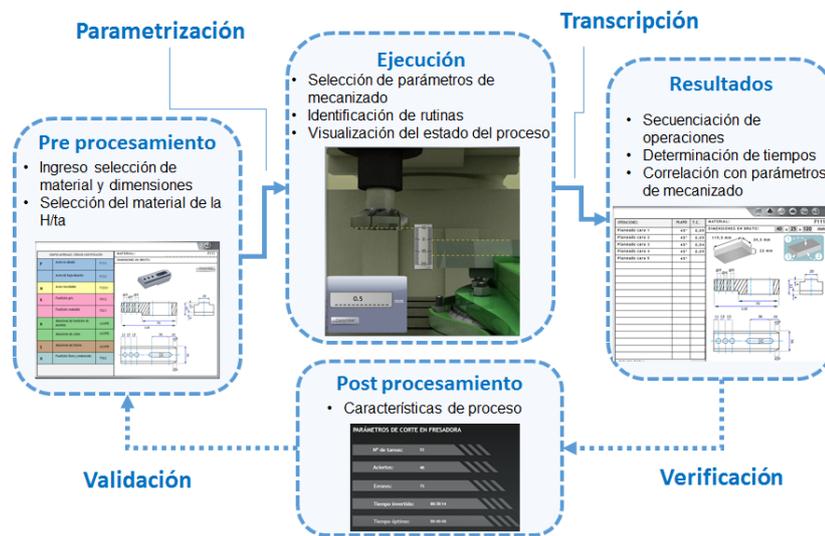


Figura 2.19: Proceso de experimentación LVN en operaciones de fresado

Fuente: El autor con ayuda de estudiantes de ingeniería y la aplicación del Intef (Interf, 2017)

Existen diferentes aproximaciones a la experimentación en laboratorios virtuales con el uso de recursos virtuales en manufactura; algunos de ellos son:

Calculadoras On–line: este tipo de aplicativos dan respuesta al manejo de variables básicas donde la lógica y la representación matemática es relativamente fácil. Su uso está en facilitar los cálculos de variables de manufactura. Ejemplo: cálculo de parámetros de soldadura GMAW, SMAW y GTAW.³⁵

Bases de Datos: Almacenamiento de datos técnicos y especificaciones. Su principal uso es servir de medio de consulta. Un ejemplo de estos son las bases de datos de materiales: <http://www.matweb.com/search/PropertySearch.aspx>

Videoclips: Son medios audiovisuales que faciliten la comprensión de fenómenos y procesos industriales.

Applets: Aplicaciones principalmente desarrolladas en Java que facilitan la visualización de comportamientos o fenómenos. Algunas mezclan características de las anteriores pero sin involucrar el manejo de variables sobre representación de equipos. Un ejemplo de esto es la

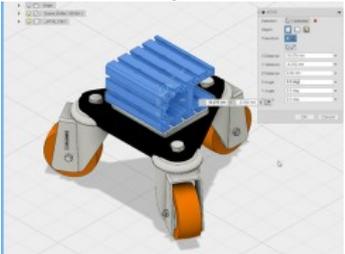
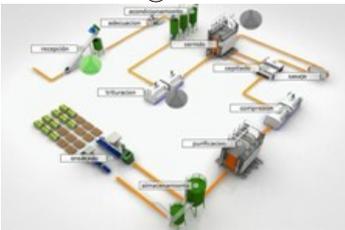
³⁵<http://boehler-welding-service.com/voestalpine/calculator/eng/>

página <http://www.custompartnet.com/>

No en todas las aplicaciones virtuales es posible diseñar una experiencia en laboratorios LVN completa. Sin embargo, pueden ser parte de un componente de la experimentación, como un recurso bajo demanda. Algunos ejemplos de software On–line utilizados como laboratorio virtual en la nube, en el área de la manufactura son:

Las características de un laboratorio convencional de uso Virtual en la Nube se consignan en la Tabla 2.18.

Tabla 2.17: Ejemplos de software virtual On-line aplicado a la manufactura en LVN

Area	Nombre	Descripción
Control y Habilidades blandas	Open Wonderland® – Secondlife® 	<p>Portales para la creación de mundos virtuales. Los usuarios acceden al espacio virtual que se ha creado con anterioridad para realizar conexiones con instrumentos virtuales e interactuar con otros actores en tiempo real.</p> <p>Algunas aplicaciones se han creado sobre este portal con el fin servir como vínculo con otros laboratorios, promover el trabajo colaborativo y motivar la asignación de roles.(Criado & Del Carmen Thous Tuset, 2013).</p> <p>http://go.secondlife.com/education/?lang=es</p>
Diseño asistido por Computador	AutoCAD 360 ® - Autodesk 	<p>Visualizador, editor y medio de compartir diseños en la nube.</p> <p>Aunque no es una aplicación total de diseño, la visualización y algunos comandos son disponibles para hacer visualizaciones y ediciones básicas (Wu et al., 2015)</p> <p>https://a360.autodesk.com/drive/</p>
Diseño de procesos Industriales	VirtualPlant ® 	<p>El acceso se hace por medio de un computador al portal pago. Las principales acciones que se pueden desarrollar en el portal son: descripción de partes y equipos, caracterización de máquinas y dispositivos.</p> <p>http://www.virtualplant.net/</p>
Procesos Metalmecánicos	Simulador de formación profesional – Gobierno de España Parámetros de corte en fresadora Acceder al recurso Información didáctica 	<p>Este portar comprende tres simulaciones: mecanizado de fres, prueba de tensión y electro erosionado con hilo.</p> <p>Las tres experiencias tienen además de los elementos básicos de la experimentación virtual, la selección de elementos de medida, inspección y seguridad del operario.</p> <p>goo.gl/R5N219</p>

Las recomendaciones que se deben tener en cuenta en este tipo de laboratorio LVN son si-

Tabla 2.18: Características de un laboratorio LVN

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBJETIVO
-No existen restricciones de tiempo y lugar -No requiere grandes prestaciones de hardware o software de cliente -Se puede compartir recursos -Bajos costos de uso e implementación -Trabajo colaborativo -El docente puede colaborar dentro del ambiente.	-Buena conexión a la red -Utilización de servicio de red -Se requieren protocolos de seguridad -Se debe administrar los permisos de acceso -Actualizar las versiones de navegador y sistema operativo. -No se trabaja con datos y con equipos reales. -Masificación	-Trabajar con simuladores utilizando los recursos bajo demanda, implementando trabajo colaborativo y facilitando la comunicación.

Fuente: El autor con base en (UNESCO, 2000)

milares a las de los LVL. Sin embargo, debido a las características del trabajo *Online* otras características que deben tener son:

Requerimientos del servidor: La gran mayoría de los procesos deben ser provistos por los servidores, para que los clientes tengan mayor libertad y menor carga en sus sistemas (J. Duque, Pérez, Mesa, Amaya, y Camargo, 2015). Esto debe ir acompañado del mantenimiento del software y de las aplicaciones para que los usuarios desarrollen la actividad: Ejemplo: actualizar Java y el navegador.

Seguridad de acceso: Ya que la red es de acceso libre, los sistemas que se ponen en servicio deben estar restringidos a intrusos o usuarios no autorizados. Esto conlleva a tener un sistema de administración de acceso al sistema (Lan, Ding, Hong, Huang, y Lu, 2004).

La implementación de protocolos: Para poder actuar desde los diferentes roles en el sistema Online, se deben tener claramente definidos perfiles, conocimientos y procesos que genera tener una documentación de lo que realiza cada actor en el sistema (Brinson, 2015) y (Emiro y cols., 2015).

El apoyo de la simulación Online real brinda la posibilidad de fortalecer competencias transversales o blandas (Thanikachalam, 2016); como el trabajo en grupo, el trabajo colaborativo, la construcción de conocimiento y la toma de decisiones en ambientes controlados. El comportamiento del fenómeno se ve influenciado por los requerimientos de los sistemas que lo soportan, así como la efectividad que es difícil de evaluar ya que no se tiene control directo sobre el estudiante (Abdullah y Ward, 2016), y la percepción del estudiante positiva aunque no siempre ve lo práctico de las experiencias.

2.6.5. Laboratorios Remotos LR

La experimentación en un laboratorio remoto es entendida como el uso de elementos o arquitecturas de equipos reales, de localización específica, por medio de sistemas tele-operados

(de manera sincrónica) por usuarios con un dispositivo de computo distantes al equipo real (Adiego, Sanz, Bouab, Bouab, y Mass, 2007). Similar al LVN, el LR requiere una plataforma cliente–servidor que intercambien acciones y respuestas, con un sistema más robusto e integral.

Hace más de 30 años se han utilizado por la industria aeroespacial, científica y militar, este tipo de arreglos remotos, pero solo con la masificación de la red de Internet se ha podido incorporar a esquemas educacionales.

Una brevemente descripción la arquitectura lógica de un laboratorio remoto es (San Cristóbal y Castro, 2005):

- Estudiante. PC con conexión a Internet y un navegador.
- Servidor web. Encargado de mostrar el audio/vídeo del laboratorio, las acciones que puede realizar sobre el laboratorio y los resultados de esas acciones. Se encarga de procesar las acciones que realiza el cliente y controla y monitoriza los instrumentos y dispositivos del sistema hardware (Contreras, 2012).
- Audio y vídeo. Muestra el audio y el vídeo de los instrumentos del laboratorio.
- Servidor de base de datos. Contiene la información del laboratorio (experimentos, datos de los alumnos, etc.).
- Controlador. Encargado de recibir las acciones que el alumno manda al servidor web, manejar los instrumentos y devolver los resultados al servidor Web y al servidor de base de datos.

El flujo de trabajo (Workflow) más estandarizado para el laboratorio remoto LR es compartido entre actividades de cliente y servidor (Cao y Zhu, 2010), aunque pueden existir otros actores como el auxiliar de laboratorio, proveedor de servicios y el mismo aprendizaje. Este *workflow* de uso de laboratorio remoto debe estar apoyado con la arquitectura lógica de la plataforma de laboratorios.

Los cuatro elementos básicos de un laboratorio LR realizado impresión 3D de objetos virtuales CAD es representado en la Fig. 2.20. Observe que los resultados observados están enfocados en la efectividad de la impresión 3D.

Por ejemplo; Los cuatro elementos básicos de un laboratorio LR realizado impresión 3D de objetos virtuales CAD es representado en la Fig. 2.20. Observe que los resultados observados están enfocados al conocimiento del procedo de la impresión 3D con tecnología FDM ³⁶

³⁶Tipo de impresión 3D - Modelado por deposición fundida (FDM)

Tabla 2.19: Workflow estándar de un laboratorio remoto

PASO	ENCARGADO	DESCRIPCIÓN
Login del sistema	Cliente	Es la forma de tener acceso al sistema. Provee de seguridad y de los perfiles
Diseño del experimento y verificación de validez	Cliente	Ya sea sobre la plataforma experimental o sobre el equipo este paso sirve para parametrizar el experimento y evitar daños
Registro de Experimento	Cliente	Aplicación de recursos en el sitio del experimento
Establecimiento de conexión	Servidor	El control se puede facilitar a un solo usuario o a varios con roles definidos
Recibir y reenviar la solicitud del cliente	Servidor	Esto con el fin de autenticar tanto la conexión como el control
Operación de experimento	Experimento	Realización del experimento por el equipo
Observación de resultados	Cliente	Esto se puede evidenciar en un archivo plano txt, gráfico o estado

Fuente: El autor

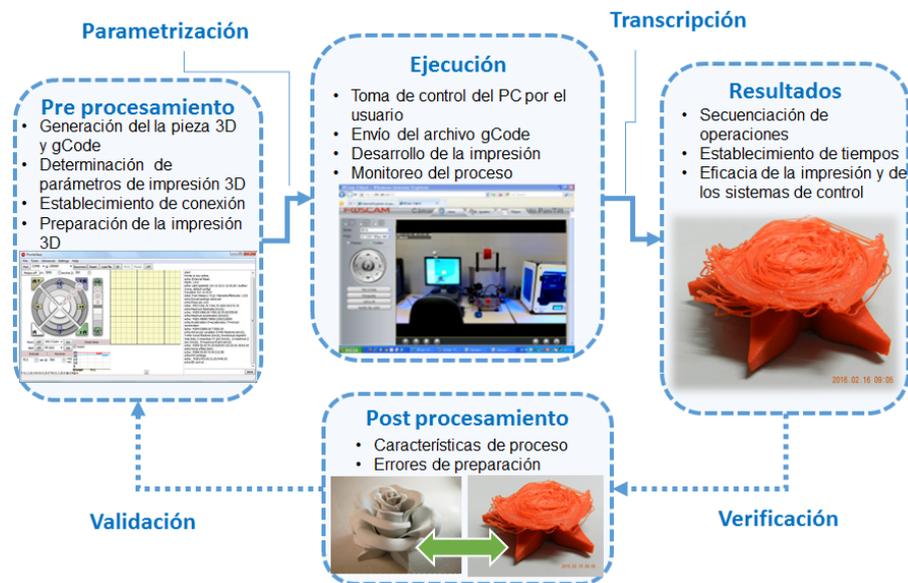
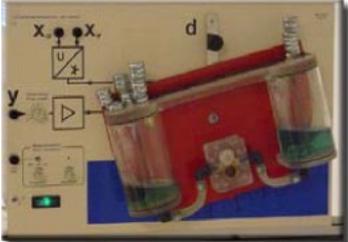
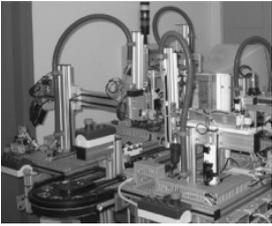


Figura 2.20: Proceso de experimentación LR en operaciones de prototipado
Fuente: El autor basado en el trabajo de estudiantes de Ingeniería virtual.

Este tipo de laboratorio LR³⁷, también es llamado: laboratorio tele-operado, telelaboratorios, de interactividad, e-labs, web-labs, virtual-labs y online-labs (ver tabla 2.20).

³⁷Experiencia de laboratorio remota desarrollado con estudiantes de ingeniería modalidad virtual (Colombia), tele operando equipos de impresión 3D de la Universidad UCLM ,en Toledo (España). La impresión 3D corresponde a una Flor virtual. El envío se realizó por medio de la plataforma Zoho meeting en un archivo pre-procesado en software CURA®. La diferencia entre lo obtenido y lo diseñado radica en la no inclusión de soportes en el software de pre-procesamiento

Tabla 2.20: Ejemplos de software virtual aplicado a la manufactura en LR

Area	Nombre	Descripción
Control y automatización de plantas	LABNET 	Sistema de control remoto de maquetas de control de nivel, temperatura y estabilización. Su principal aplicación está enfocada a la compresión de los controladores PID teórico, filtrado y con Anti-windup (Aliane, Martínez, Fraile, & Ortiz, n.d.)
Mecanizado CNC	Web-Turning CNC – Universidad de Basilia 	Uso del centro de torno CNC FANUC por medio de una plataforma TCP/IP asociada con un DNC2. El sistema está apoyado sobre Linux y aplicaciones Java/HTML. (Álvares & Ferreira, 2006)
Procesos Industriales y resistencia	PeTEX- Dortmund University 	Desarrollo de pruebas de resistencia de materiales en equipos reales de prueba de materiales.(Terkowsky et al., 2013) Toda la prueba se realiza de forma remota asistida por un brazo robótico y la máquina universal de pruebas
Programación de procesos de manufactura asistida por PLC	FMC - University of Catalonia 	Por medio de la celda flexible de manufactura es posible diseñar procesos de transformación con elementos industriales asistidos por PLC (Bellmunt, Miracle, Arellano, Sumper, & Andreu, 2006)

Una de las características importantes en este tipo de laboratorios LR, es la complejidad que requiere su arquitectura tanto física, lógica y administrativa. Requieren de sistemas modulares y protocolos para su uso. Algunas universidades que cuentan con un sistema de LR son apoyadas por las capacidades de soporte de los sistemas:

- Gestor de reservas
- Gestor educacional
- Gestor de contenidos
- Sistema de comunicación (vídeo, audio, datos)

Las características de este tipo de laboratorio están en la Tabla 2.21.

Tabla 2.21: Características de un Laboratorio Remoto LR

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBJETIVO
-Interacción con equipo real -Calibración con otros sistemas -Datos realistas y Bajo riesgo con el usuario -Sin restricciones de tiempo y lugar -Costo alto -Aprovecha la infraestructura de los laboratorios HO -Trabajo de manera sincrónica -Libertad y flexibilidad en la experimentación -Vincular sistemas virtuales -Aprovechamiento de los servicios de las internet 2 -Aprovechamiento de las redes de alta velocidad como RENATA.	-Buena conexión a la red -Servicio de red -Implementación de protocolos y restricciones en el acceso y comunicación. Necesidad firewall -Tener alta robustez y redundancia -Preparación detallada del experimento -Hardware y software especializado -Entradas y salidas analógicas y digitales simultaneas -Implementación de esquemas de seguridad tanto en hardware como en software y sincronizarlos -Aplicaciones multimedia reducidas y costosas -Pocos ejemplos funcionales permanentes -Baja formación de los docentes en aspectos de instrumentación, y en actividades pedagógicas. -No se puede retornar a pasos anteriores	-Utilizados cuando se requiere poner en práctica lo aprendido de manera distante al equipo. Aunque muchos tienen acceso autónomo la preparación hace que tenga un acompañamiento permanente.

Fuente: El autor basado en (Lorandi et al., 2011), (Sandoval Torres, 2010)

Hay tres tipos de formatos de programación que son involucrados en el diseño de laboratorios remotos, cada tipo garantiza el control y el manejo del sistema de variables acordes con la arquitectura propuesta. Estos son:

Control directo: Este tipo de programación requiere que el control del sistema se realice en forma directa y sincrónica. El requerimiento para este tipo de formato es la velocidad de reacción y de respuesta del sistema. El control de lazo cerrado debe garantizar la estabilidad de la operación. Un ejemplo de esto son las aplicaciones PID.

Control parcial: El sistema es cargado con una secuencia de operaciones que ya han tenido un proceso previo de simulación y depuración. El paquete o “lote” de instrucciones contiene acciones de operación, acciones de alarma y acciones de parada en un solo evento. Un ejemplo de esto es el mecanizado CNC o la impresión 3D.

Control mixto: Es la combinación de control directo y parcial sobre algunos elementos del laboratorio, buscando la mejor actuación del usuario sobre el montaje remoto propuesto. Por ejemplo el sistema de comunicación se realiza de forma sincrónica y el control del proceso por “lotes”.

Algunas características que se deben tener en cuenta en su diseño son:

- Reusabilidad
- Interoperabilidad
- Colaboratividad
- Convergencia con los sistemas de gestión del aprendizaje
- Arquitectura distribuida: Controlador en el lado del cliente y proceso en el lado del servidor

El poder operar remotamente equipos reales incrementa el grado de concentración, percepción de realismo y motivación para conocer el comportamiento del fenómeno en los estudiantes. Minimiza los riesgos para el estudiante y debe ser planeado pensando en los riesgos en el equipo (Chandra, Geevarghese, y Gangadharan, 2014). La efectividad es variada ya que se ve afectada por las características del contexto del estudiante (Nedic, Machotka, y Nafalski, 2008) y es uno de los tipos que es altamente aceptado por los estudiantes (Phatthana y Nik Mat, 2011).

2.6.6. Laboratorios Híbridos LH

La formación con el uso de canales variados, modalidad híbrida o medida por tecnología en contextos de STEM se ha estudiado con éxito en diferentes áreas (Yiran y Breslow, 2013) y por universidades ampliamente reconocidas por su calidad; como MIT (Pankin, Roberts, y July, 2012) o la Universidad de los Andes en Colombia (Osorio, 2010)

Ya en forma particular de la experiencias de laboratorio, La posibilidad de mezclar o combinar total o parcialmente las experiencias de laboratorio genera una nueva alternativa o tipo de laboratorio. Este tipo de laboratorio involucra en uso total o parcial de los componentes de los laboratorios HO, LVL, LVN o LR, brindando la posibilidad realizar ciertas partes del experimento de forma virtual o simulada, “consiguiendo una experiencia que le ayudará a aprovechar mejor el resto del experimento haciendo uso de los dispositivos e instrumentos

reales” (Contreras, 2012). El concepto de híbrido no está claramente definido (Rodríguez-Gil y cols., 2017) ya que puede tener diferentes significados dependiendo del enfoque y de las variables que se está considerando. Los laboratorios híbridos se pueden clasificar en *Flipped*, *LaaS* y colaborativos. A continuación se explican:

Laboratorio Híbrido Flipped: Este tipo de laboratorio brinda la posibilidad de combinar dos o más tipos de laboratorios de forma alternada. Este laboratorio es diseñado “combinando” o alternado prácticas de laboratorio HO, LVL, LVN o LR. El objetivo es mejorar el proceso de aprendizaje haciendo uso de las ventajas pedagógicas de cada uno de ellos.

Dentro de esta misma definición también se involucran las plataformas donde se pueden seleccionar el tipo de laboratorio básico a utilizar. Los laboratorios híbridos en línea ofrecen tanto experimentos remotos en modelos electromecánicos reales (sistemas físicos) en el laboratorio remoto como modelos de simulación de estos sistemas físicos en laboratorios virtuales (Henke y cols., 2013).

Algunos ejemplos están expuestos en la Tabla 2.22.

Las principales aplicaciones en este tipo de laboratorio LH–Flipped, están orientadas a complementar la formación. Particularmente Abdulwahed “Trilab” propone una secuencia específica que incorpora el LR, mientras los demás autores alternan solo entre HO y LNL. En la tabla 2.23 se presenta la evaluación por efectividad de este tipo de laboratorio.

Tabla 2.22: Ejemplos de laboratorio LH “*Flipped*”

LABORATORIO	DESCRIPCIÓN	AUTOR
Trilab	Es una estructura de laboratorio híbrido que incorpora tres modos de “acceso” (virtual, práctico y remoto) en un paquete de software que utiliza herramientas fáciles de seguir para los ingenieros. Se soporta sobre: Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabVIEW) proporcionando un entorno de programación único para desarrollar todos los componentes del TriLab de una manera muy eficiente. La propuesta que se hace era hacer primero la simulación LVL, luego el presencial HO, y finalmente el remoto LR.	(Abdulwahed, 2010) Área: Control
Educación General en biología	Compara los resultados de aprendizaje y actitud junto con consideraciones de costo en tres implementaciones diferentes del componente de laboratorio de un curso de biología de GE: un laboratorio físico (PL), un laboratorio virtual (VL-A) y un laboratorio híbrido “Flipped” (VL-H).	(Son et al., 2016) Área: Biología
Ingeniería Eléctrica	Cada curso de laboratorio comprende ocho experimentos de 3 horas de duración donde alrededor del 80 % son prácticos y el 20 % son laboratorios simulados. Para los laboratorios prácticos, los estudiantes deben construir circuitos eléctricos, operar máquinas eléctricas, etc. y usar aparatos físicos como osciloscopios para observar el experimento y medidores adecuados para capturar datos para su análisis. Los laboratorios simulados se basan en Matlab Simulink y se usan para experimentos más complejos o cuando los aparatos requeridos no están disponibles.	(Le, 2015) Área: Electrónica

En todos los casos la estrategia metodológica lleva a la corroboración de la efectividad del proceso de aprendizaje con el uso del laboratorio, tanto en la nota del laboratorio como en la motivación obtenida en el estudiante al utilizarlos.

Laboratorio Híbrido LaaS³⁸: El laboratorio “mezcla” diferentes elementos de los laboratorios OH, LVL, LVN o LR en una misma experiencia experimental, esto es, que tiene un objetivo único y concreto. El uso de los componentes de los laboratorios, con el fin de cumplir el objetivo, puede ser sincrónico o asincrónico³⁹.

Laboratory as a Service (LaaS), es un método de desarrollo laboratorios remotos con módulos de componentes independientes y ponerlos en práctica como un conjunto de servicios

³⁸Uno de los primeros en utilizar este término es Tawfik (2014) haciendo uso de las abreviaturas de la Computación en la nube como servicios bajo demanda (*Laboratory as a Service (LaaS)*)

³⁹La diferencia entre el aprendizaje sincrónico y asincrónico la respuesta en tiempo real, la mensajería instantánea y los comentarios son inmediatos, tanto entre el estudiante con el medio de interacción como el estudiante con el docente.

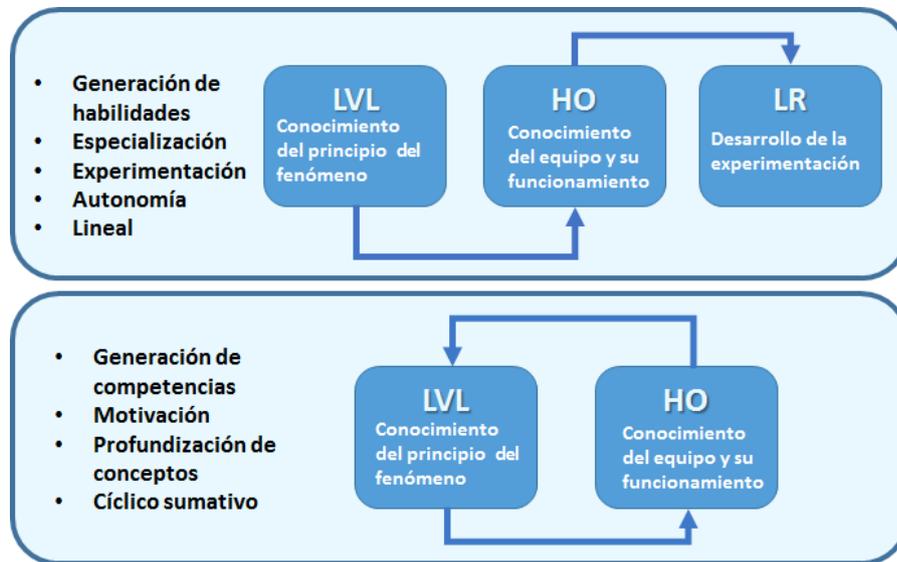


Figura 2.21: Arquitecturas laboratorio “Flipped”

Tabla 2.23: Efectividad de algunos laboratorios híbridos tipo *Flipped*

Laboratorio/ Evaluación	Calificación del estudiante en el laboratorio	Satisfacción de los estudiantes
Trilab	63.0/67.3 Grupo de Control Vs. experimental	45.5/66.7 Relación control Vs. experimental sobre la percepción mucho más satisfecho
Educación general en biología	2.7 puntos sobre el presencial	+4.57 % ± 1.36 %
Ingeniería eléctrica	7 puntos adicionales sobre los básicos sobre el grupo de control	Entre el 82.8 % y 86 %

Fuente: El autor, en los casos presentados $p < 0.01$

débilmente acoplados para ser consumidos con un alto nivel de abstracción y virtualización (Tawfik, Lowe, y cols., 2013).

Para Tawfik, citado por Zapata (2016), el objetivo es proporcionar servicios de laboratorio (LaaS) con un enfoque hacia las empresas, centros de investigación y laboratorios. Proporcionando servicios de laboratorios por medio de diferentes medios, de acuerdo con las demandas del usuario.

Se crea un conjunto fijo de servicios y se asocia con los componentes o funciones individuales

del instrumento. El experimento se ejecuta llamando a los servicios respectivos bajo demanda (esto lo puede hacer el estudiante en su uso o el docente en el diseño de la experiencia). La lógica de este método se centra en el uso de servicios WEB (Maiti, Maxwell, Kist, y Orwin, 2014). Sin embargo, se puede extender a servicios de elementos reales (Carro Fernandez, 2014).

Si se trabaja desde el llamado de servicios WEB; el enfoque es lento porque inicia el procedimiento de conexiones cada vez que se llama a una función cuando se requiere que se ejecute. Además, es considerablemente complejo configurar tales funciones en la programación orientada a objetos, particularmente por estudiantes jóvenes y maestros de escuela.

Si el servicio se extiende a los elementos físicos el reto es mayor, ya que el acoplamiento debe tener protocolos básicos altamente modulares y concretos, dificultando tanto para el docente el diseño del laboratorio, como el uso de los equipos por parte del estudiante y en el montaje del mismo por el auxiliar.

Algunos ejemplos de este tipo de laboratorio híbrido tipo LaaS se presentan en la Tabla 2.24:

Tabla 2.24: Ejemplos de laboratorio LH “LaaS”

LABORATORIO	DESCRIPCIÓN	AUTOR
Laboratory as a Service (LaaS):	La investigación desarrolla el concepto, Laboratory as a Service (LaaS), para desarrollar laboratorios modulares basados en módulos de componentes independientes e implementarlos como un conjunto de servicios débilmente acoplados que se consumirán con un alto nivel de abstracción y virtualización.	(Tawfik, 2013) Configuración H3 Área: Control
WebLab-FPGA-Watertank	La Universidad de Deusto utiliza este arreglo para la enseñanza de sistemas de control, la propuesta se basa en la combinación de elementos reales y de realidad aumentada RA para mostrar el estado del sistema de tanques de agua.	(Rodríguez-Gil et al., 2017) Configuración H3 Áreas : control
REAL (<i>Remote and Applications Laboratory</i>)	Se centra en el sistema modular que combina elementos físicos y simulados. La infraestructura se basa en un concepto de red universal que garantiza un uso confiable, flexible y robusto de un laboratorio en línea.	(K. Henke et al., 2013) Configuración H1 y H3 Áreas : Diseño de sistemas digitales

Para efectos de diferenciar las diversas tipologías o configuraciones de este tipo de laboratorio híbrido que se pueden obtener de combinar los recursos de los laboratorios convencionales o básicos (HO, LVL, LVN y LR), se ha propuesto identificar los laboratorios de acuerdo la combinación posible en parejas (ver tabla 2.25):

La utilización de los recursos y la forma de combinar los elementos están definidas en gran medida por los recursos disponibles, los objetivos educacionales buscado en el proceso enseñanza aprendizaje y las metodologías pedagógicas utilizadas.

Tabla 2.25: Configuración de laboratorios híbrido por demanda

CONFIGURACIÓN DE LABORATORIO	MEZCLA DE LABORATORIO	DESCRIPCIÓN
H1	HO-LVL	Combinación de componentes presenciales reales con componentes de un laboratorio virtual local (simulación). También denominado híbrido local
H2	LVL-LVN	Combinación de servicios locales y Online para la realización de una experiencia virtual
H3	LVN-LR	Uso de recursos de un laboratorio virtual en la nube y la operación de un laboratorio remoto. También denominado híbrido Online
H4	LR-HO	Combinación de recursos remotos reales por medio de tele operación con recurso presenciales físicos
H5	HO-LVN	Apoyo de recursos virtuales en l nube para el desarrollo de una práctica real local
H6	LVL-LR	Uso de un laboratorio remoto con elementos físicos reales con componentes de simulación o control local

Fuente: El autor

Laboratorio Híbrido Colaborativo: Tradicionalmente se ha hablado del uso autónomo e individual de la experimentación en el laboratorio, sin embargo con la posibilidad que brinda la Internet 2.0 ⁴⁰ y 3.0 ⁴¹ enfocadas al trabajo colaborativo y el uso de las redes sociales ha brindado la posibilidad de otras formas de actuar en los laboratorios.

Trabajar en entornos participativos para la generación de experiencias de laboratorio, involucrando los roles tanto de estudiantes como de docentes brinda la posibilidad de realizar diferentes arreglos que facilitan el trabajo colaborativo (De La Torre y cols., 2013). La combinación de actores o máquinas en diferentes locaciones de laboratorios básicos en una misma experiencia no ha sido estudiando con claridad ya que las experiencias se han centrado en la parte técnica. Se sabe que la comunicación colaborativa en línea representa un método práctico y constructivista para transmitir el conocimiento (Humos y cols., 2005) y la experiencia del docente a los alumnos, superando la distancia física y el aislamiento.

La gran mayoría de este tipo de arreglos de mezcla de actividades colaborativas se han enfocado en el uso de ambientes virtuales de aprendizaje como Moodle o Blackboard. Y principalmente para realizar un acompañamiento entre estudiante y docente (De La Torre y cols., 2013).

En esencia un laboratorio híbrido colaborativo es un laboratorio remoto LR o LVN que faci-

⁴⁰Internet 2.0 o Web Social comprende el compartir información, la interoperabilidad, el diseño centrado en el usuario y la colaboración.

⁴¹Internet 3.0 es la web que facilita la accesibilidad de las personas a la información, sin depender de qué dispositivo use para el acceso a ella.

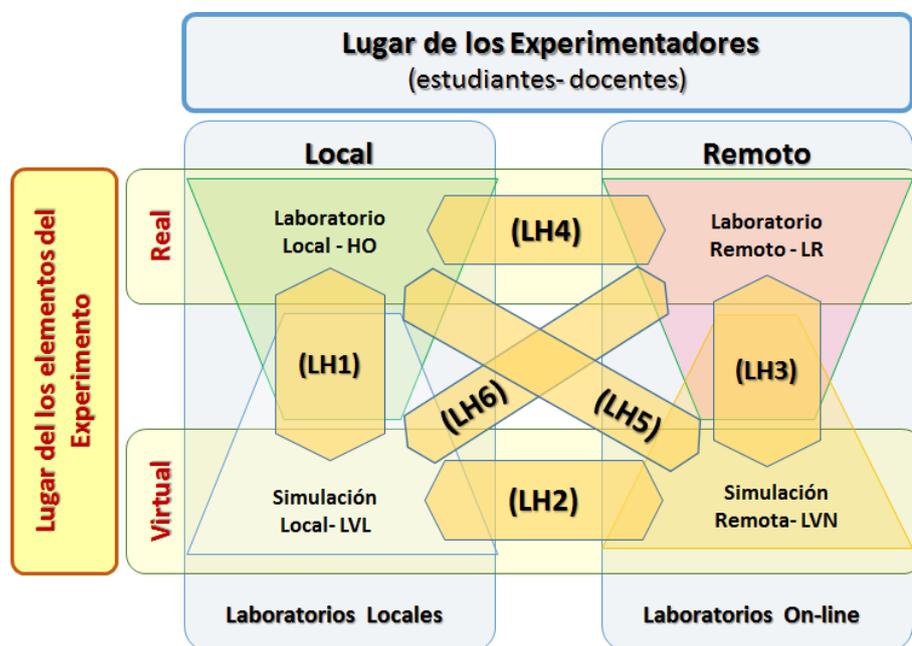


Figura 2.22: Configuración de los laboratorios bajo servicio H1–H6

Fuente: El autor con base en Zapata (Zapata, Larrondo-Petrie, Rivera, y Larrondo-Petrie, 2016a)

Tabla 2.26: Ejemplos de laboratorio LH “Colaborativos”

LABORATORIO	DESCRIPCIÓN	AUTOR
UNED – Ingeniería de Control	Se desarrolla una aplicación sobre Moodle® y en Java® que facilita la participación simultánea del estudiante y el docente. Para ello la misma sesión autónoma del estudiante tiene la posibilidad de vincular a otros estudiantes o al docente por medio de una transmisión de video. Utiliza LR y LVN. La comunicación es sincrónica.	(De La Torre et al., 2013) Área: Control
Web Collaborative Laboratory (WeColLab)	El ambiente permite que grupos de estudiantes compartan sus experiencias de laboratorio a través de la Web. El framework ha sido adoptado con éxito por un Telescopio y para un brazo robótico. Utiliza LR y LVN comunicación sincrónica.	(Bochicchio & Longo, 2009) Área: Robótica
Universidad Nacional de Educación, Madrid, España	Los estudiantes deben resolver es identificar los elementos presentes en una muestra de una sustancia orgánica. La comunicación es alternada asincrónica y sincrónica. El método experimental utilizado es: análisis elemental y agrupación orgánica funcional, que consta de cuatro fases principales: Producción de una Fusión alcalina, Identificación de elementos, Inferencia del grupo funcional y Confirmación de la identidad del grupo funcional. Utiliza LVL, HO, y LVL	(Barros, Read, & Verdejo, 2008) Área: Química Orgánica

lita poder vincular diferentes actores de forma sincrónica o asincrónica en el ambiente de la experimentación. La definición de los roles debe estar acompañada con las posibilidades que cada actor puede aportar en la práctica. Algunos ejemplos se presentan en la Tabla 2.26

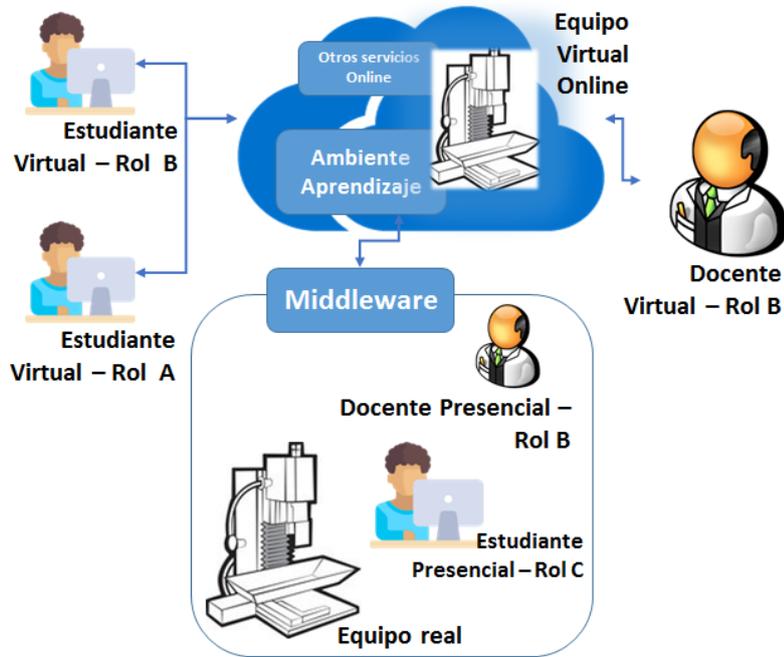


Figura 2.23: Arquitectura de un laboratorio híbrido colaborativo
Fuente: elaboración propia

2.6.7. Requerimientos y criterios del LH

Las características y requerimientos de los laboratorios híbridos son un compendio específico y detallado de las características de los laboratorios base que lo conforman. Estas características pueden ser de la estructura; Físicas, lógica o administrativa. Algunas características son adicionales para que puedan formar la conexión necesaria.

Un resumen comparativo de los requerimientos de laboratorios *Hands– On HO*, remotos LR, virtual local LVL, virtual en la nube LVN y laboratorios híbridos LH–Flipped, LH–LaaS y Colaborativos es mostrado en la Tabla 2.27.

Tabla 2.27: Comparación de las diferentes propiedades de los laboratorios

PROPIEDAD	HO	LR	LVL	LVN	LH
Realismo ^c	Muy alto	Alto	Bajo	Muy bajo	Medio
Puede alterar la realidad	No	No	Si	Si	Si
Realidad aumentada	No*	No*	Si	Si	Si
Medio de video enriquecidos	No	No	Si	Si	Si
Costos ^b	Altos	Altos	Bajos	Bajos	Medios
Uso del software real ^a	Si	No*	No	No	Si*
Facilidad de colaboración	Bajo	Medio	Bajo	Alto	Alto
Interconexión (otros lab.)	Mala	Regular	Baja	Alta	Alta
Dificultad de montaje	Media	Alta	Mínima	Media	Alta
Procesamiento de datos	Baja	Media	Mayor	Mayor	Alta
Disponibilidad (tiempo)	Baja	Media	Alta	Alta	Media
Espacio físico	Mucho	Intermedio	Poco	Muy poco	Intermedio
Sucesos imprevistos	Frecuentes	Frecuentes	Mínimos	Pocos	Escasos
Seguridad ^d	Alta	Muy Alta	Baja	Mínima	Muy alta
Sistema de reservas Booking	Si	Si	No	No	Si
Asistencia del docente ^e	Alta	Media	Muy baja	Baja	Media
Actualización tecnológica ^f	Lenta	Lenta	Rápida	Muy rápida	Rápida
Intercambiabilidad del montaje	Nula	Baja	Alta	Alta	Alta*
Interconexión a Internet	No	Si	No	Si	Si*
Disponibilidad de la información	Baja	Intermedia	Alta	Intermedia	Intermedia
Gamificación	No	No	Si	Si	Si
Inmersión	Alto	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Medio
Posibilidad de Federar ^g	Nula	Baja	Nula	Alta	Alta*
Precisión de los datos	Si	Si	No	No	Si
Asistencia WEB	No	No	Si	Si	Si

Observación: a-El software propietario del equipo bajo licencia para el control, b-En general (operación, mantenimiento, uso, materiales, etc.), c-Comparado con el equipo real, d-Del equipo y del operador, e-En el proceso de enseñanza aprendizaje, f-Poner en uso nuevos equipos de la industria, g-Compartir en una plataforma., *-No en todos los casos

En el desarrollo de un laboratorio híbrido interviene deferentes factores que generan un grado mayor de interacción, inmersión y navegación, para generar mayor satisfacción al estudiante (Lopez y cols., 2014). Algunos factores son:

- **Participación del docente:** en diferentes roles dependiendo de la estrategia pedagógica seleccionada
- **La lógica de funcionamiento:** tanto del equipo principal como de los dispositivos de apoyo
- **Estrategias de control de acceso:** que van desde presentarse físicamente, remotamente por vídeo conferencia o por medio de la utilización de Avatares

Algunas de las herramientas, modos de operación y componentes para cada uno de los laboratorios son mostrados en la Fig. 2.24.

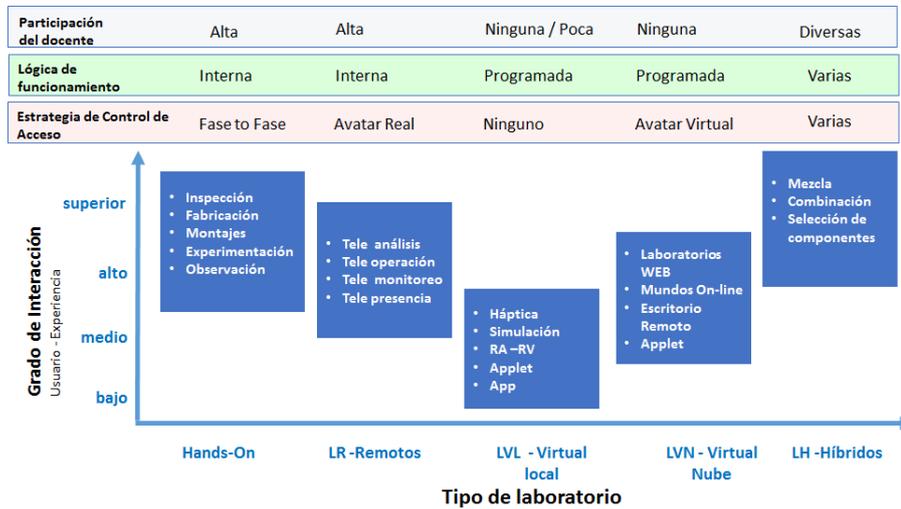


Figura 2.24: Grado de interacción y factores para laboratorios básicos e híbridos

Una de las tendencias en el uso de laboratorios es la interoperabilidad (Orduña, 2013) entre diferentes plataformas de laboratorios, brindando la posibilidad de hacer federaciones o grupos de laboratorios con características y objetivos similares (Kalúz, 2015). El fin de estas federaciones es permitir la cooperación de recursos, estudiantes e inversiones entre diferentes instituciones. Para ello, el sistema federado debe ser modular, estandarizado y utilizar protocolos de comunicación y uso. Algunas de las federaciones más conocidas son ⁴²:

- LabShare - <http://www.labshare.edu.au/>
- WebLab-Deusto - <http://weblab.deusto.es/website/>
- iLabs - <http://icampus.mit.edu/projects/ilabs/>
- Go-Lab* - <http://www.go-lab-project.eu/frontpage>
- Lila* - <http://www.lila-project.org/home.html>
- vLab* - <http://vlab.co.in/>

* Estas Federaciones son virtuales principalmente.

⁴²Las mayores redes federadas de laboratorios se han implementado sobre laboratorios remotos LR y para ello se han desarrollado sistemas de administración acordes con las necesidades de la federación. Este sistema es llamado *Remote Laboratory Management Systems (RLMS)*

Para el cumplimiento de estos requisitos del sistema federado, las unidades o laboratorios individuales deben tener una arquitectura robusta, escalable y flexible. Esta Arquitectura debe proporcionar el control y compartir los recursos (Mateos, 2012). La arquitectura de las unidades de laboratorio está conformada por tres estructuras; física (Rodríguez-Gil y cols., 2017), lógica (Zapata, Larrondo-Petrie, Rivera, y Larrondo-Petrie, 2016b) y administrativa (Orduña, Almeida, López-De-Ipiña, y Garcia-Zubia, 2014), que facilitan el diseño y la operación de laboratorios básicos convencionales y, en especial, los híbridos de configuración LaaS.

2.7. Estructuras Física, Lógica y de Gestión de un laboratorio

Autores como Nedic(2003), Nickerson(2007) y Contreras(2012), han hablado de la importancia de tener una arquitectura estandarizada para el desarrollo de laboratorios tanto básicos convencionales ⁴³ como híbridos. Esta estructura facilita el desarrollo de nuevos laboratorios, la interoperabilidad, el uso tanto del estudiante como del docente, la gestión y la seguridad. Las tres estructuras son todo un campo propio e investigación; Física, Lógica y de Gestión (ver Fig. 2.25), que diferentes entidades preocupadas por su desarrollo han propuesto estándares y recomendaciones generales.



Figura 2.25: Componentes de la estructuras de un laboratorio LH
Fuente: El autor con base en Rojas–Calero (Rojas–Calero, 2012)

⁴³Estos son los laboratorios HO, LVL, LVN y LR

La IEEE ⁴⁴ y la ISO ⁴⁵, entre otras instituciones, han dado lineamientos para las estructuras de las plataformas y arquitecturas de los diferentes tipos de laboratorios. Ya que estas normas son compendios de buenas prácticas en el uso de laboratorios, su aplicación garantiza el desarrollo de propiedades tales como la interoperatividad y la escalabilidad, entre otras. Los cuatro estándares más pertinentes son:

ISO/IEC 17025:2005–Esta “Norma Internacional establece los requisitos generales para la competencia en la realización de ensayos y/o de calibraciones, incluido el muestreo” (ICONTEC, 2005), los lineamientos son pertinentes especialmente en la estructura administrativa y los requisitos técnicos. Algunos numerales son:

- 5.2 Personal
- 5.3 Instalaciones y condiciones ambientales
- 5.4 Métodos de ensayo y de calibración y validación de los métodos
- 5.5 Equipos
- 5.6 Trazabilidad de las mediciones

Esta norma cubre las pruebas y usos del laboratorio en pruebas y ensayos estandarizados utilizando métodos normalizados, métodos no normalizados y métodos desarrollados por el propio laboratorio. El objetivo de utilizarla en el diseño de laboratorios es apoyar la estructura administrativa y de gestión.

Estándar IEEE P1484.1/D9 LTSA (*Learning Technology Systems Architecture*): especifica la arquitectura para el diseño de plataformas de aprendizaje, educación y sistemas de entrenamiento, soportadas por las TICs. Para Kireki (2003) el estándar además de especificar los 5 niveles o capas (layers) del estándar y sus funciones, especifican las interacciones y su comportamiento con los usuarios, especialmente como medio de gestionar el conocimiento (Farance y Tonkel, 2001). Las capas son desde la más alta a más bajas son:

1. Interacciones de aprendizaje y medio ambiente (informativo)
2. Características de diseño relacionadas con el aprendizaje (informativo)
3. Componentes del sistema (normativo)
4. Perspectivas y Prioridades de Implementación (informativo)
5. Componentes operacionales e interoperabilidad: codificaciones, API, protocolos (informativos)⁴⁶.

⁴⁴IEEE – Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, Es una asociación dedicada a promover la innovación y la excelencia tecnológica en beneficio de la humanidad, es la sociedad técnica profesional más grande del mundo

⁴⁵International Organization for Standardization

⁴⁶Arquitectura genérica de tecnología de aprendizaje basada en la tecnología “plug–n–play” (interoperable), identificada en las perspectivas de los actores

El uso dado a este estándar en el diseño de laboratorios está en la identificación de los componentes de la estructura lógica o de interconexión y comunicaciones (principalmente para las plataformas AVA ⁴⁷). Establece las relaciones entre diferentes actores y los sistemas de Gestión. La capa 3 define: Los procesos, los almacenamientos y los flujos en términos de conectividad.

IEEE P1876™ (Standard for Networked Smart Learning Objects for Online Laboratories): Esta norma define métodos para almacenar y recuperar objetos de aprendizaje para laboratorios remotos. El estándar también definirá métodos para vincular objetos de aprendizaje para diseñar e implementar entornos de aprendizaje inteligente para laboratorios remotos en línea (Artacho, 2016).

El uso dado en el diseño de laboratorios básicos convencionales e híbridos está en la definición de los componentes de un laboratorio desde la estructura lógica. Los elementos que se estudian en el estándar están:

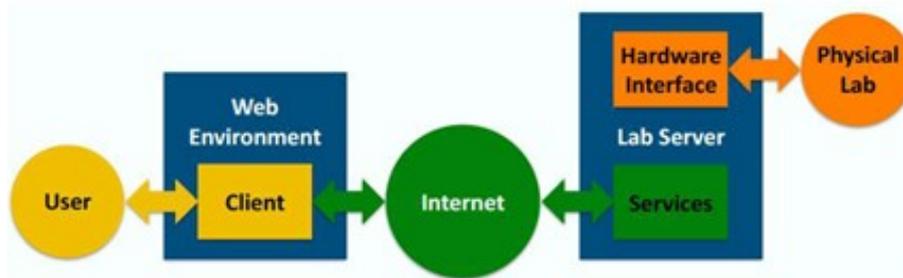


Figura 2.26: Componentes de la estructura lógica según la norma IEEE–SA P1876 Working
Fuente: Artacho (2016)

ISO 14121–1. Seguridad de las máquinas–Evaluación de riesgos–Parte 1: Principios. El objetivo de esta norma es el de establecer los principios para reducir el riesgo con el uso de maquinaria. La norma brinda orientación sobre la información que se requerirá para permitir que se lleve a cabo la evaluación de riesgos. Los procedimientos se describen para identificar peligros y estimar y evaluar el riesgo (International Organization for Standardization, 2007).

También brinda orientación sobre la toma de decisiones relacionadas con la seguridad de la maquinaria y sobre el tipo de documentación requerida para verificar la evaluación de riesgos realizada. Los ítems de la norma que involucran los laboratorios con máquinas son:

- Supervisión controlada
- Control e inspección

⁴⁷AVA–Ambientes Virtuales de Aprendizaje

- Delimitación de espacios
- Alimentación de material
- Reiniciación de maquinaria después de una parada
- Control / inspección–Conducir la máquina

No todos los estándares son aplicados a la totalidad de las tipologías de laboratorios. Algunos son más útiles y aplicables más que otros. Sin embargo, el laboratorio híbrido LH integra los estándares de mayor impacto tanto en el diseño como en su uso.

Tabla 2.28: Estándares aplicados a los laboratorios en Ingeniería

ESTÁNDAR	HO	LVL	LVN	LR	LH
ISO/IEC 17025:2005	SI			SI	SI
Estándar IEEE P1484.1/D9 LTSA (Learning Technology Systems Architecture)		SI	SI		SI
IEEE P1876™ (Standard for Networked Smart Learning Objects for Online Laboratories)			SI	SI	SI
ISO 14121 - 1. Seguridad de las máquinas	SI			SI	SI

Fuente: el autor basado en (K. Henke et al., 2013)

El diseño una experiencia en laboratorios es una decisión compleja en donde intervienen múltiples factores (Riaño y Palomino, 2015). El diseño debe contener la definición de las estructuras Física (Tawfik, Sancristobal, Martin, y cols., 2013), Lógica y Administrativa que debe ser apoyada en el contexto en el cual se desarrolla la práctica y las orientaciones y recomendaciones de los estándares.

2.7.1. Estructura Física

El objetivo de la estructura física es poder dar el medio tangible a la experiencia (o componentes de ella), en el laboratorio real de una forma fácil, efectiva y accesible. La estructura física de un laboratorio puede tener diferentes elementos:

- **Equipo:** (Máquina, Planta, Instalación, etc), este es el elemento principal de la experimentación, en el equipo se involucra la lógica del fenómeno que se quiere estudiar. El equipo puede tener diferentes niveles tecnológicos y tipos de tecnología involucrada.
- **Visualización de variables de entrada y resultados:** aunque puede ir involucrados al equipo algunas veces es necesario adaptarlo o mantener algunos como medio de respaldo (comportamiento de la prueba), display, agujas, niveles, etc.(visualización de los objetos) luz, mirillas, lupas y espejos o prismas.
- **Servidor de laboratorio:** es la lógica y cerebro del control del equipo. Dependiendo del nivel tecnológico este puede ir desde un dispositivo mecánico hasta un PC especializado contiene un Controlador (Software del equipo, controladores programables PLC, IV, panel, etc.). Al servidor se pueden acoplar (accionadores) pistones, servomotores, brazos, sensores y generador de señales.

- **Almacenamiento y transmisión de datos**, PC, controladores, cintas, fotos, datalogger, Cámaras IP y WEB, Red física o WIFI, parlantes, micrófono y pantallas de vídeo .
- **Sistema de seguridad pasiva y/o activa**: Alarmas, sensores de proximidad, detectores de movimiento, calor o humo, pantallas, rejas, delimitación de área, bocinas (botones de seguridad) y señales de peligro o informativas
- **Acceso a una fuente de energía**. Estabilizada, continua y suficiente para dar poder a los elementos que utilizará adicional al equipo principal. (AC y/o DC)

Aunque la estructura física se relaciona principalmente a laboratorios HO, LR y LH, la posibilidad de realizar actividad de realidad aumentada RA y documentación de soporte hace que también se requieran algunos componentes para LVL y LVN.

Muchos de los elementos físicos en un experimento pueden no estar presentes en una experiencia de laboratorio, sin embargo para brindar la lógica del comportamiento del fenómeno estudiado se debe acceder al equipo. El objeto principal de la experimentación es el equipo, sistema, arreglo o planta de experimentación “Rig”. Los demás elementos pueden estar integrados de diferentes formas o suprimidos por el control que el experimentador tiene.

Para esta estructura física, autores como Ruiz (2012) y Diwakar (2012) han propuesto la necesidad de clasificar el desarrollo o nivel tecnológico de los equipos que se implementan en las prácticas de laboratorio. Una tipología es presentada en tres niveles incrementales para delimitar el grado de incorporación tecnológica que el equipo tiene con respecto a la incorporación de los demás componentes:

Básico: Dispositivos no motorizados, manuales, sin sensores o indicadores digitales. Su principal principio es regido por la física o la química y la interacción con el medio. Ejemplo de esto en manufactura está el Péndulo Charpy ⁴⁸ manual (ver Tabla 2.29).

⁴⁸También conocida como la prueba Charpy V-notch, es una prueba estandarizada de alta tasa de deformación que determina la cantidad de energía absorbida por un material durante la fractura. Esta energía absorbida es una medida de la tenacidad de muesca de un material dado y actúa como una herramienta para estudiar la transición dúctil-frágil dependiente de la temperatura

Tabla 2.29: Péndulo Charpy manual

EQUIPO	ELEMENTO	DISP.
	Equipo – manual	SI
	Visualización de variables de entrada y resultados	Parc.
	Servidor de laboratorio	NO
	Almacenamiento y transmisión de datos	NO
	Sistema de seguridad	Parc.
	Acceso a una fuente de energía	NO

Fuente: El autor con foto de equipo Gunt

Alto: Son sistemas o equipos que disponen de movimiento propio, rotacional o lineal que es brindado por motores o accionadores neumáticos o hidráulicos. Disponen total o parcialmente de indicadores, niveles, y selectores de estado (perillas o botones) que rigen el comportamiento de las variables que maneja el fenómeno. La operación y el control la realiza el usuario de forma manual o asistida. Un ejemplo de ello es una fresadora convencional ⁴⁹ (ver Tabla 2.30).

⁴⁹ El fresado es un proceso de mecanizado que utiliza de cortadores rotativos “Fresas” para extraer el material de una pieza de trabajo al avanzar (o alimentar) la fresa hacia la pieza de trabajo en una determinada dirección.

Tabla 2.30: Taladro fresador convencional

EQUIPO	ELEMENTO	DISP.
	Equipo – motorizado	Parc.
	Visualización de variables de entrada y resultados	Parc.
	Servidor de laboratorio	NO
	Almacenamiento y transmisión de datos	NO
	Sistema de seguridad	NO
	Acceso a una fuente de energía	SI

Fuente: El autor con foto Universidad EAN

Avanzado: Sin sistemas altamente automatizados. Todos sus movimientos están regidos por un controlador computacional. Su control es por medio de mecanismos robotizados y todo el sistema de control, manejo de variables y transmisión de datos es integrado en el equipo. Un ejemplo en manufactura es un centro de mecanizado (ver Tabla 2.31).

Tabla 2.31: Centro de mecanizado fresador CNC

EQUIPO	ELEMENTO	DISP.
	Equipo – motorizado	SI
	Visualización de variables de entrada y resultados	SI
	Servidor de laboratorio	SI
	Almacenamiento y transmisión de datos	SI
	Sistema de seguridad	SI
	Acceso a una fuente de energía	SI

Fuente: El autor con foto Universidad EAN.

Respecto al tipo de tecnología que los elementos de laboratorio incorporan se puede mencionar tres tipos; Lógica directa – manual, Lenguajes programación y Software propietario. La lógica directa se entiende con el uso de compuertas básicas de la electrónica digital, contactores, relés o microprocesadores que controlan el funcionamiento de los equipos.

El uso de los lenguajes de programación lenguajes de programación facilita la creación de entornos, sistemas de interfaz y automatización de rutinas más complejas que las alcanzadas en la lógica directa. Algunos lenguajes utilizados son:

- HTML
- HTML
- Java
- Matlab/Simulink
- Visual Basic
- C++
- Corba

- LabView / datasocket

Finalmente, el software propietario ⁵⁰, que se diseña para equipos de nivel tecnológico avanzado y que son exclusivos tanto por su objetivo como el manejo de parámetros que afectan. Su desarrollo se hace bajo medida y son parte de un solo control. Ejemplos de estos software en manufactura están: MasterCAM® ⁵¹ y WinTest32® ⁵².

2.7.2. Estructura Lógica

El objetivo de tener una estructura lógica estandarizada para un sistema de laboratorios híbridos es la de facilitar el acceso al dispositivo o equipo experimental (real o virtual) de una forma estable, rápida y segura. Entre las principales funciones está; control de acceso al desarrollo de protocolos, identificación de roles, asignación de actividades y responsabilidades, facilitar la elaboración de objetos y organizar los componentes del laboratorio.

Zapata y Larrondo (2016) proponen una estructura para laboratorios remotos LR, integrado a un entorno de aprendizaje utilizando estándares educativos. Esta estructura tiene como base 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 o virtual.

La Figura 2.27. muestra una estructura lógica general para los laboratorios; HO, LVL, LVN y LH basada en el trabajo de Zapata. En el modelo se han agregado otros elementos y las posibles modalidades de laboratorios. Algunos elementos comunes de la estructura lógica son: **Clientes**—Son los usuarios que han de utilizar un laboratorio. Dependiendo de rol, el tipo de laboratorio que utilizan y el modo de operación accederán de formas diferentes formas a los demás elementos de la estructura lógica. Si su forma de acceso es remota requiere de conexión.

Ambiente Virtual de Aprendizaje/ AVA—El ambiente de aprendizaje cumple varios fines, al menos; Administra el acceso a los demás elementos, almacena datos importantes del curso, mantiene documentos necesarios para las prácticas (guías o manuales), facilita el acceso a las herramientas de tele—operación e inter—operación ⁵³.

Administrador de laboratorio remoto y Presencial—Este elemento del sistema facilita el acceso a los equipos tanto de forma presencial como en forma remota. Sus principales funciones son: mantener el sistema de reservas, solicitud de recursos y administrador de acceso

⁵⁰Software propietario o privado del cual no existe una forma libre de acceso a su código fuente, el cual solo se encuentra a disposición de su desarrollador y no se permite su libre modificación, adaptación o incluso lectura por parte de terceros.

⁵¹Software de mecanizado CNC.

⁵²Software de control de máquina universal de prueba.

⁵³Tele—operación—Propiedad del sistema que permite operar a un equipo de forma remota. Interoperación—Propiedad e dos o más sistemas o componentes para intercambiar información y utilizar la información intercambiada.

remoto y presencial al equipo (Potkonjak y cols., 2016).

Laboratorio–Este último elemento es donde se realiza la experimentación, ya sea que el laboratorio físico exista y esté disponible HO y LR , como en la plataforma WEB LVN para el caso del laboratorio virtual en la nube o Virtual local LVL.

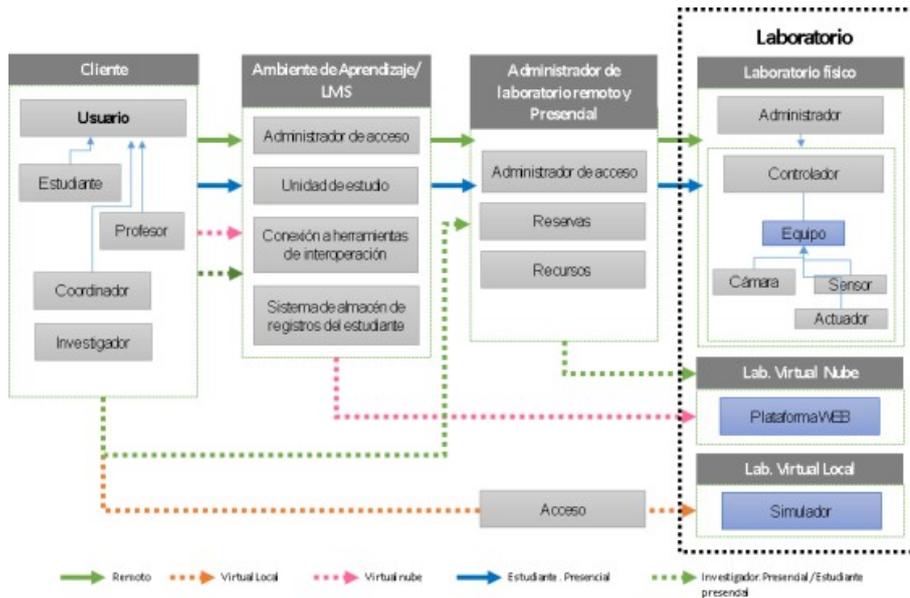


Figura 2.27: Estructura lógica de laboratorios
Fuente: El autor basado en (Zapata et al., 2016)

2.7.3. Estructura administrativa - Sistema de Gestión

La estructura administrativa cumple una función de cooperación, autenticación, seguridad y seguimiento, esta debe ser facilitada y administrada por la organización o institución. Diferentes autores que han trabajado la escalabilidad y el uso de ambientes de aprendizaje (Andújar y Mateo, 2010), (Fabregas, Farias, Dormido-Canto, Dormido, y Esquembre, 2011) sugieren que los sistemas administrativos para los laboratorios híbridos tengan al menos los componentes:

- Sistema de gestión pedagógica y aprendizaje,
- Sistema de control de acceso y afiliación a la plataforma y al equipo (plataforma y comunicaciones),
- Sistema de reservas y disponibilidad de equipos (Booking) o colas (*Scheduling*) y comunicación de su administración,

- Sistema de Gestión de Contenidos (Repositorio y divulgación),
- Sistemas de evaluación y mecanismos de eficacia del laboratorio.

2.7.3.1. Modos de operación

La asignación de roles para los diferentes actores condiciona las actividades y decisiones que puede realizar en un práctica de laboratorio estándar. Esta asignación está relacionada con los usuarios y su papel en la práctica. Los modos de operación (Sandoval Torres, 2010), (Fernandez, Ruiz, Gutierrez, Gil, y Perez, 2012) están relacionados con el sistema y son los estados en que se pueden colocar el arreglo de experimentación para el acceso y uso de usuarios en las prácticas de laboratorio.

Tabla 2.32: Modos de operación de en un laboratorio

LABORATORIO	MODOS DE OPERACIÓN
HO	Modo autónomo
	Modo de control local (manualmente)
	Modo de control local (a través de la unidad de control)
LR	Modo de control remoto (a través del cliente web)
	Modo de control remoto (a través de la unidad de control)
LVN	Modo de control virtual (creación de prototipos visuales)
LVL	Modo de control virtual (modo de prueba)
Otros	Modo de prototipado rápido (diseño de laboratorios)
	Modo Visita

Fuente: El autor (Las letras en azul están en procesos de diseño)

La importancia de los modos de operación radica en la flexibilidad que se debe dar al diseño de los laboratorios y sus componentes. Estos modos son utilizados en diferentes laboratorios y en diferentes momentos del proceso de diseño y uso.

Henke (2013) muestra diferentes aplicaciones de los modos de operación para la plataforma (REAL) en el campo del control. Algunas de las ventajas de la implementación de los modos de operación en un laboratorio son:

- Uso en toda la web con diferentes herramientas de diseño y unidades de control para controlar diferentes sistemas físicos en la sala de laboratorio.
- Acceso robusto y protegido contra fallas a cualquier sistema físico conectado.
- Acoplamiento AVA para todas las unidades de control y sistemas físicos utilizados en el laboratorio.
- Intercambio mundial de experimentos en línea con otras universidades.

- Facilidad de auditar los arreglos antes de ponerlos en funcionamiento.
- Servir de plataforma de experimentación y diseño de prácticas.
- Fortalece y aumentar el uso de los laboratorios.

En el caso de la propuesta de la investigación, la arquitectura física, lógica y administrativa se diseña con el fin de servir para los diferentes modos de operación propuestas por Henke (Henke y cols., 2015)

2.8. Evaluación de las prácticas de laboratorio en Ingeniería

Existen muchos aspectos que pueden ser evaluados en una práctica de laboratorio, que van desde; su utilización, disponibilidad, costos, riesgos y efectividad entre muchos otros. Sin embargo, para la investigación se ha concentrado en tres dimensiones; en la efectividad como aspecto fundamental de un practica de laboratorio (A. S. Diwakar y Noronha, 2016) tanto en generación de conocimiento como de competencias y la percepción de los estudiantes desde la implementación de la tecnología (Yong, Rivas, y Chaparro, 2010). Para Rashid (Rashid y cols., 2012), la evaluación de las experiencias de laboratorio desde el punto pedagógico se puede dar en varias vías, que incluyen:

- La relación entre la conferencia teórica y la práctica de laboratorio,
- El nivel de contenido
- El tipo de actividad
- El entorno de aprendizaje y
- La eficacia del manual de laboratorio.

Autores que han trabajado con la evaluación de los laboratorios en el campo formativo (Yusof y Arifin, 2016), (Son y cols., 2016), y (Garcia-Zubia y Alves, 2012), han propuesto un esquema de dos momentos de evaluación con diferentes objetivos.

Pre- laboratorio. En este primer momento el estudiante presenta un test pre-analítico del fenómeno que se va estudiar. Conoce los riesgos y procedimientos que va a realizar, las herramientas de toma de datos y los requerimientos de la práctica.

Post – laboratorio. Se hace una evaluación en tres aspectos evaluación de las competencias, de la percepción de uso y el aprendizaje del fenómeno. Los datos para esta evaluación son analizados frente al objetivo buscado y como ha sido el efecto de la experiencia en la

formación del estudiante.

Un procedimiento posterior a la obtención de la evaluación antes y después de la realización del laboratorio es verificar el efecto sobre el proceso de formación del estudiante una comparación entre el nivel antes y después del laboratorio. En el caso de esta investigación enfocada en la formación, para cada una de las tres dimensiones de evaluación se utilizaron diferentes estrategias y herramientas.

- Efectividad – Nota del laboratorio – Nota del curso
- Percepción del laboratorio – Modelo de aceptación tecnológica MAT (por sus siglas en inglés)
- Generación de competencias – Evaluación de los componentes de la competencia

Aspecto a evaluar	Pre test	Post test	Evaluación de la experiencia
Proceso de experimentación	Protocolos y Procedimientos	Análisis de datos Exactitud, Precisión Fácil colección de datos Facilidad de establecer parámetros	Resultados de la experiencia (Producto) Claridad de las instrucciones
Capacidad tecnológica	Seguridad Desarrollo tecnológico Conocimientos del equipo	Desechos residuos Costos (Dir. Indirectos) Disponibilidad Usabilidad Mantenimiento	Pertinencia tecnológica Obsolescencia tecnológica Complejidad
Proceso de formación	Conocimientos previos Nivel de competencias Estilo de aprendizaje	Resultados de la experiencia Nivel de competencia Percepción de la actividad Actitud Habilidades Blandas	Efectividad en la formación Percepción de la actividad Nivel de desarrollo de la competencia

Figura 2.28: Aspectos a evaluar en un laboratorio

Fuente: El autor basado en (Tsiatsos, Douka, Zimmer, Geoffroy, 2014) y (Li, Aziz, Esche, Chassapis, 2007)

2.9. Laboratorios en Ingeniería de Manufactura - revisión literaria

Las investigaciones en diseño y desarrollo de técnicas que apoyan los procesos de formación de los estudiantes de ingeniería han venido en aumento, y se han enfocadas principalmente en el desarrollado en áreas nucleares en la formación del ingeniero. La tecnología es un componente central y recurrente en las investigaciones, no sólo en el núcleo de la formación propia del ingeniero sino en otros campos tan variados como lo son; sostenibilidad, el trabajo colaborativo, *e-manufacturing*, y uso dispositivos hápticos, virtuales y multi-sensoriales.

Teniendo en cuenta lo anterior, los laboratorios en Ingeniería de Manufactura deben incrementar el acercamiento a las tecnologías de vanguardia en diferentes aspectos; para que ofrezcan escenarios interactivos e innovadores que motiven la atención de los estudiantes, apoyen la implementación de nuevas teorías y apoyen nuevos modelos de enseñanza acorde con las necesidades de industria actual y futura.

2.9.1. Formación en Ingeniería de Manufactura

La formación en Ingeniería de Manufactura está extremadamente relacionada con el estudio del ciclo de vida del producto y del proceso, y su vez con las habilidades y competencias profesionales (Employment and Training Administration United States Department, 2010). Desde la solicitud de una orden de producción hasta la entrega del producto terminado (Planeación y Producción) el rol de los humanos puede tener diferentes participaciones que van desde el diseño del producto hasta el entrenamiento permanente en los procesos.

El desarrollo de habilidades y competencia de estas participaciones en producción deben tener un proceso de formación apoyado en laboratorios técnicos con el fin de contextualizar su formación y hacer más efectivo el proceso de enseñanza aprendizaje. Organizaciones como SME ⁵⁴, ACOFI ⁵⁵, CONACES ⁵⁶ y ABET ⁵⁷ han establecido los requerimientos mínimos de los laboratorios para la formación de Ingenieros de Manufactura.

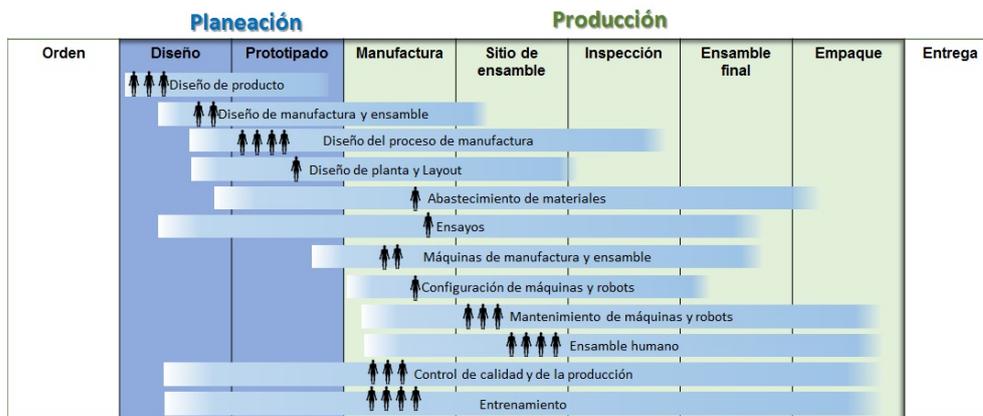


Figura 2.29: Ciclo de vida del producto desde la orden a la entrega
Fuente: El autor con base en *Augmented Reality in Manufacturing* – Webinar

⁵⁴SME–Society Manufacturing Engineering

⁵⁵ACOFI–Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería

⁵⁶CONACES–La Comisión Nacional Intersectorial de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior

⁵⁷CONACES–La Comisión Nacional Intersectorial de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior

2.9. LABORATORIOS EN INGENIERÍA DE MANUFACTURA - REVISIÓN LITERARIA99

Los pasos comunes que componen el análisis del proceso de manufactura incluyen: El diseño (Básico de proceso y prototipado), la producción y el control (control de taller o planta) (J. Cardona y cols., 2007).

Asociaciones como la SME–*Society Manufacturing Engineering* ha determinado para sus procesos de certificación una estructura básica compuesta de 8 capítulos de las áreas nucleares de conocimiento de la manufactura con sus correspondientes pesos en el esquema de formación.

1. Matemáticas, ciencias aplicadas y de ingeniería, y materiales 10 %
2. Diseño y desarrollo de productos / procesos 10 %
3. Aplicaciones de proceso de fabricación y operación 15 %
4. Sistema de producción y diseño / desarrollo de equipos 20 %
5. Sistemas automatizados y control 7 %
6. Calidad y mejora continua 13 %
7. Administración de manufactura 15 %
8. Eficacia personal 10 %

De estos 8 numerales 6 requieren la experimentación en laboratorios. Esta experimentación está enfocada en el desarrollo de las habilidades técnicas principales que incluyen: seguridad, calidad y medición, instalación y reparación de mantenimiento, producción y fabricación sostenible.

Para CONACES (2016) los laboratorios, talleres y escenarios de práctica para apoyar la formación básica en ingeniería, en el área específica de manufactura, podrán incluir los relacionados con las siguientes áreas:

- Materiales de Ingeniería.
- Procesos de Manufactura.
- Metrología. Control de Calidad.
- Mecánica de Sólidos. Mecánica de Fluidos.
- Procesos Unitarios.
- Hidráulica. Neumática
- Electrónica Análoga y Digital. Microelectrónica.
- Ciencias Térmicas.

- Ciencias Térmicas.
- Ingeniería de Control. Automatización. Robótica.
- Producción. Procesos Industriales.
- Desarrollo de Producto.
- Diseño de Planta. Logística.
- Seguridad Industrial. Salud Ocupacional

2.9.2. Competencias ABET para Ingeniería de Manufactura

Las competencias que se deben desarrollar por medio de la experimentación en laboratorios técnicos, están relacionadas con las declaradas por ABET ⁵⁸ y su referente SME ⁵⁹ para los Ingenieros de Manufactura de forma específica (Accreditation Board for Engineering and Technology Inc y ABET, 2016). Para esta entidad acreditadora con sede en los EEUU, los programas de Ingeniería de Manufactura deben preparar a los graduados para que tengan competencia en:

- **Materiales y procesos de fabricación:** capacidad para diseñar procesos de fabricación que den como resultado productos que cumplan con el material específico y otros requisitos.
- **Procesos, ensamblaje e ingeniería de productos:** capacidad para: diseñar productos y el equipo, las herramientas y el entorno necesarios para su fabricación.
- **Competitividad en la fabricación:** capacidad para crear una ventaja competitiva a través de la planificación, la estrategia, la calidad y el control de la fabricación.
- **Diseño de sistemas de fabricación:** capacidad para analizar, sintetizar y controlar operaciones de fabricación utilizando métodos estadísticos y
- **Uso laboratorio de fabricación o experiencia en instalaciones:** capacidad para medir las variables del proceso de fabricación y desarrollar inferencias técnicas sobre el proceso.

Por ello, el diseño curricular de las instituciones de formación superior en ingeniería debe incorporar en su modelo pedagógico el uso de laboratorios técnicos con énfasis en estas competencias.

⁵⁸ Accreditation Board of Engineering and Technology

⁵⁹ Society of Manufacturing Engineers

Algunos autores han desarrollado propuestas de evaluación de aspectos de la manufactura por medio de experiencias en laboratorios en temas específicos procesos, logística y uso de herramientas; Procesos de Transformación (Åström, 2004) [LV], Diseño de procesos (J. Cardona y cols., 2007), Procesos de ensamble, Proceso de mecanizado (Zeytunyan y Hajian, 2014) y logística (Palafox-Albarran, Dannies, Krishna Sanjeeva, Lang, y Jedermann, 2012).

Sin embargo, pocos han tratado de implementar la evaluación por medio de laboratorios como una implementación integral y global (Mujber y cols., 2004) tanto en competencias básicas, transversales, específicas y blandas. Y sobre todo en varios aspectos de las áreas que trabaja el Ingeniero de Manufactura.

En la Tabla 2.33 se muestran las prácticas formales más comunes y ampliamente utilizadas en Instituciones de educación en Ingeniería de Manufactura, estableciendo una relación entre las áreas que trabaja el Ingeniero de Manufactura y las competencias para este profesional declaradas por ABET. Las indicaciones H corresponden a los laboratorios híbridos propuestos que son en total 6.

Tabla 2.33: Prácticas comunes desarrolladas en Ingeniería de Manufactura

Área	COMPETENCIAS ESPECÍFICAS DEL INGENIERO DE MANUFACTURA - ABET				
	a) Materiales y procesos de fabricación	b) Procesos, ensamble e ingeniería de productos	c) Competitividad en la fabricación	d) Diseño de sistemas de fabricación	e) Uso laboratorio de fabricación o experiencia en instalaciones
Diseño de Productos*	· Procesos unitarios - · Procesos Químicos · Proceso CAD/CAM/CAE	· Manufactura aditiva - · Impresión 3D · Diseño de productos	· H4 - Diseño de procesos discretos	·	·
Diseño de manufactura y ensamble	·	·	· Simulación	· Diseño de celdas de manufactura	·
Diseño del proceso de manufactura	· Plásticos y Compuestos	· Control de variables de proceso químicos	· Simulación de procesos	·	·
Diseño de plantas y LayOut*	·	·	·	· H2 - Diseño de instalaciones y de operaciones	·
Abastecimiento de materiales	·	· Aplicación <i>Supply Chain Management</i>	·	·	·
Ensayos y pruebas* (estándar)	· H6 - Ensayos destructivos · Metalografías · Ensayos no destructivos	·	·	·	·
Uso de máquinas de manufactura y ensamble*	·	· Procesos convencionales de manufactura (mecanizado, fundición, soldadura)	· Procesos avanzados de manufactura (laser, químico y electroerosión)	·	· H3 - Uso de equipos CNC
Configuración de máquinas y Robots	·	· H1- Configuración CNC	· Automatización de procesos · IIoT	·	·
Mantenimiento de máquinas y robots	·	·	· Métodos avanzados de mantenimiento	· Seguridad de procesos · Panorama de riesgos	·
Ensamble humano*	· Seguridad industrial	· H5 - Estrategias y modelos para el ensamble	·	·	·
Control de calidad y control de producción	·	·	· Uso de sistemas MRP, CRM y CIM	·	· Control estadístico de calidad · Metrología

Fuente: El autor (Las letras en azul están en procesos de diseño)

La anterior información brinda una mirada general de las prácticas que se pueden desarrollar en un laboratorio de Ingeniería de Manufactura que aportan a la construcción de competencias específicas del área, además ayuda a especificar sobre cuales prácticas se abordara el análisis experimental.

2.10. Conclusiones Capítulo 2

Los avances tecnológicos han hecho que muchos de los paradigmas en la educación tengan ahora cambios relevantes en diferentes aspectos y alcances. Uno de estos cambios que ha afectado de forma clara el proceso de enseñanza aprendizaje, es el uso de laboratorios técnicos en la articulación con el desarrollo de competencias tanto genéricas como específicas. A medida que se utilizan e integran más estas experiencias formativas a currículos de ingeniería las ventajas y posibilidades son cada día mayores y ampliadas a campos no tan estudiados como el desarrollo de habilidades blandas o al uso de tecnologías disruptivas y emergentes como lo es la realidad virtual, la realidad aumentada y la computación en la nube.

Es por ello, que el estudio del diseño y su posterior uso de laboratorios no puede ir desligado de los elementos que componen los modelos pedagógicos; metodologías, actores y contenidos. Las características del área de formación en STEM ha hecho que se tenga que replantear la forma tradicional de diseñar laboratorios en ingeniería, ya que se requieren incorporar en ellos características que tradicionalmente no podrían brindar como es el caso de la tele presencia o tele operación de equipos.

En este capítulo se ha mostrado las ventajas de cada uno de los tipos de laboratorios básicos convencionales y sus desventajas. Y como las características de los laboratorios híbridos tanto *Flipped* como los tipo *LaaS* han podido utilizarlas en diferentes contextos. A largo de este apartado se ha realizado un recorrido completo sobre las variables que se han de involucrar en el diseño de los nuevos tipos de laboratorio, sus estructuras y las actividades que un Ingeniero de Manufactura pueden ser desarrolladas competentemente en una experiencia de laboratorio.

Finalmente, el análisis de la arquitectura describe las características de las estructura física, lógica y administrativa que hace parte del diseño de un laboratorio híbrido. El desempeño de estos laboratorios, sus dificultades de diseño y casos de implementación se desglosa de manera particularizada en el capítulo siguiente.

Capítulo 3

Propuesta SMART para Laboratorios Híbridos en Ingeniería de Manufactura

Este capítulo detalla la propuesta y las principales teorías para el diseño de experiencias de laboratorios modernos, sus variables y principales aportes. Además, se presenta el modelo general de diseño de las estructuras que intervienen en una experiencia de laboratorio, la metodología utilizada y la estrategia de desarrollo. Finalmente, los resultados apoyados sobre los dos grandes momentos de la experimentación; la realizada en la estancia doctoral en la UCLM y la aplicación de los laboratorios híbridos en situaciones reales de formación

Índice de contenidos

3.1. Hacia un modelo D–SMART para el diseño de laboratorios . . .	104
3.2. Metodologías de diseño de laboratorios en ingeniería	106
3.3. Modelo de diseño de laboratorios D–SMART	110
3.4. Validación de Variables	122
3.5. Prueba Piloto aplicada a estudiantes	125
3.6. Práctica en Prueba Piloto de Laboratorios Híbridos	141
3.7. Uso LH en prácticas de Ingeniería de Manufactura	155
3.8. Aplicación de prácticas en laboratorios híbridos LH1 a LH6 . .	168
3.9. Experimentación con laboratorios híbridos H1-H6	175
3.10. Laboratorios experimentales (híbridos)	178
3.11. Análisis de resultados y Validación	188
3.12. Conclusiones Capítulo 3	206

3.1. Hacia un modelo D–SMART¹ para el diseño de laboratorios en Ingeniería

Los modelos que se han desarrollado para el diseño de experiencias en laboratorios se han concentrado en la estructura física, algunos de ellos propuestos por Tawfik (Tawfik y cols., 2012) en electrónica, Maiti (Maiti y Tripathy, 2013) con la adaptación de un laboratorio remoto y Ferris (Ferris, 2014) con la generación de interfaz, son ejemplos de esta directriz. Aunque los modelos presentados por Zapata (Zapata y cols., 2016b) y Jiménez (Jiménez y Ceballos, 2007) en el campo de laboratorios remotos y virtuales se concentran en la estructura lógica, son pocos se han concentrado en el objetivo de diseñar experimentos para el desarrollo de competencias, acompañado con una base teórica dinámica (Cobb y cols., s.f.).

Investigaciones sobre el diseño de prácticas de laboratorio desde el desarrollo de competencia como Cubides (2015), Diez (Díez, Cotano, Yuste, 2009) y Spinel (2018) se han determinado que existen algunas consideraciones que el diseñador de un laboratorio debe tener en cuenta:

- Estructura unidad de estudio [Modelo académico]
- Competencias en ingeniería [Objetivos formativos]
- Estrategias de aprendizaje –STEM [Proceso enseñanza aprendizaje]
- Características del Estudiante [Modelo pedagógico]
- Selección del equipo/planta [Contexto tecnológico]
- Patrones [Lineamientos regulatorios]
- Lineamientos de implementación [Estrategia de la institución]

Estas dimensiones deben incorporarse de una forma sistemática y organizada para el desarrollo de una experiencia de laboratorio, para ello se requiere de una propuesta metodológica que las integre. En la investigación se propone el diseño de una propuesta metodológica para el desarrollo de prácticas de laboratorio organizado por fases y que se puede utilizar tanto para laboratorios convencionales como híbridos LaaS y Flipped.

Particularmente, para poder desarrollar el proceso de diseño de experiencias de laboratorio en las diferentes tipologías de laboratorio híbrido LH ² especialmente LH LaaS y sus configuraciones H1 a H6, es necesario involucrar las dimensiones y sus variables que influyen en la efectividad en el proceso de enseñanza aprendizaje del laboratorio de una forma sistemática y eficiente.

¹Propuesta de modelo de Diseño de experiencias de laboratorio modular SMART

²Laboratorios híbridos LaaS y Flipped

Las especificaciones técnicas de los diferentes tipos de laboratorio pueden cambiar, adicionar y necesitar componentes de otros sistemas (Castellanos, 2013). Es por ello, que el proceso de diseño requiere de estrategias (Zamora Musa y Zamora, 2010) y un modelo procedimental, flexible y progresivo, que conforme la propuesta de experiencia de laboratorio; según las necesidades de los actores, el contexto en el que se encuentra y los recursos con que dispone.

Las políticas generales ³ para el desarrollo de un modelo de diseño de las experiencias de laboratorio, para poder desarrollar las actividades, se soporta sobre los siguientes principios para cada una de las dimensiones constituyentes de un laboratorio:

Lineamientos de la estructura física:

- **Integralidad:** No se deberá modificar ni el equipo físico o su software controlador con el fin de evitar daños en su morfología, pérdida de garantía, integridad del equipo, derechos de propiedad, funcionabilidad o riesgos no previstos.
- **Soporte técnico:** Se privilegiará sobre todo el uso del software propietario del equipo, ya que manuales de uso, manuales de mantenimiento, material pedagógico y soporte técnico de los constructores viene relacionado con este software.
- **Acceso:** El acceso y el control de los equipos debe estar regido por protocolos que sean acordes con los roles de cada actor en el proceso de uso de un equipo, esto es; que no se tenga que cambiar los perfiles o competencias para su labor.
- **Inutilización:** En ningún momento se debe dejar inhabilitado el equipo para que sea tele-operado o manejado directamente por un usuario presencial que lo requiera.
- **Costo reducido:** Cualquier desarrollo deberá estar enmarcado en la estrategia de bajo costo para poder implementar fácilmente.

Lineamientos de la estructura lógica:

- **Modular y Escalable:** El sistema debe permitir crecer con una misma configuración básica.
- **Reconfigurable y versátil:** la estructura deberá permitir adaptarse a los diferentes montajes que se presenten e una experiencia de laboratorio
- **Interoperable:** Los diferentes actores o sistemas pueden tener habilidad para intercambiar información y utilizar la información utilizada.

Lineamientos de la estructura Administrativo:

³Estos son lineamientos para tener un marco del diseño de experiencias de laboratorio.

- **Estructurado:** esta soportado por otros sistemas como el control de acceso, gestión de gestión de aprendizaje y
- **Estandarizado:** La posibilidad de involucrarse en procesos de federalización requiere que existan algunos protocolos reconocidos.
- **Seguro y Auditable:** Permite mantener el control y el seguimiento a la practica en su ejecución.

Estos lineamientos hacen parte de las especificaciones que se requieren para contextualizar las metodologías de diseño de laboratorios.

3.2. Metodologías de diseño de laboratorios en ingeniería

En la literatura se encuentra el planteamiento del proceso de diseño de prácticas de laboratorio de forma estándar, por medio de pasos metodológicamente organizados, enmarcados en una linealidad que no permite retroalimentación, y donde la guía es la fuente principal de información. La práctica es centrada en la verificación, los experimentos son hechos a prueba de errores con pocas posibilidades de cambio e innovación (F. E. Cardona, 2013) y muy pocos autores estudian su efectividad. Este tipo de proceso de diseño no contribuye a comprender los principios en condiciones industriales, su contexto y las situaciones no programadas con las que se puede enfrentar un estudiante y que requieren el desarrollo de competencias y habilidades particulares del ingeniero.

Es importante mencionar que se debe hacer diferencia entre el diseño de la experiencia y el espacio de formación y la planeación de una actividad de laboratorio. La primera busca establecer una arquitectura para la experimentación y la segunda busca establecer las actividades requeridas para hacer uso del laboratorio (May y cols., 2016) (Luthon y Larroque, 2015). Aunque hay una fuerte relación entre estos dos diseños, el primero es el que se estudia en esta investigación. La Figura 3.1 presenta un esquema de diseño de una práctica de laboratorio estándar.

Autores como Calvo (2010) proponen una serie de pasos consecutivos para la determinación de los componentes de una arquitectura de laboratorio remoto. La propuesta tiene en cuenta el perfil de los actores, los objetos físicos, las ampliaciones y la implementación. La desventaja es que no incorpora la medición de la efectividad.

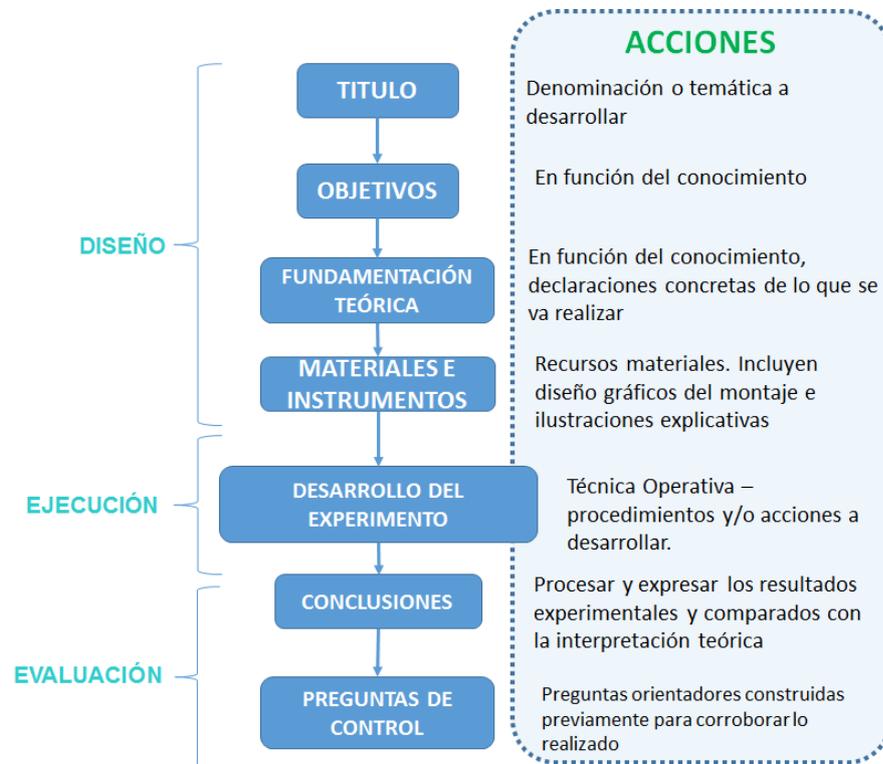


Figura 3.1: Modelo de diseño una práctica de laboratorio convencional HO

Fuente: Propia basado en (F. E. Cardona, 2013)

Una propuesta conceptual ampliamente difundida es presentada por Nickerson (Nickerson y cols., 2007). Aunque no establece una secuencia de pasos o de formas de involucrar las variables específicas utilizadas, sí tiene en cuenta en el modelo las dimensiones más importantes para investigar la efectividad relativa de laboratorios HO, LVL, LVN y LR. El modelo planteado abarca: la interfaz presencial, los sistemas y tecnología de laboratorios presencial HO y LR, y las diferencias individuales de los estudiantes, como variables independientes. Y resultados de las pruebas, puntajes de laboratorio y preferencias, como variables dependientes.

Otros autores como Pati (2012), se enfocan en modelos para medir la efectividad. El modelo compara laboratorios virtuales y laboratorios presenciales HO. De esta comparación se establecen variables de actuación, para medir en los estudiantes que tan efectivas son las actividades de laboratorio.

Existen numerosos estudios, que se centran en la evaluación de la usabilidad del sistema físico para la formación virtual y remota (Schlichting y cols., 2016), (Stull y cols., 2013) y (Herrera, Márquez, Mejías, Tirado, y Andújar, 2015). Sin embargo, muy pocos autores indagan en la utilidad de la tecnología en el proceso de enseñanza aprendizaje (Efectividad y pertinencia)

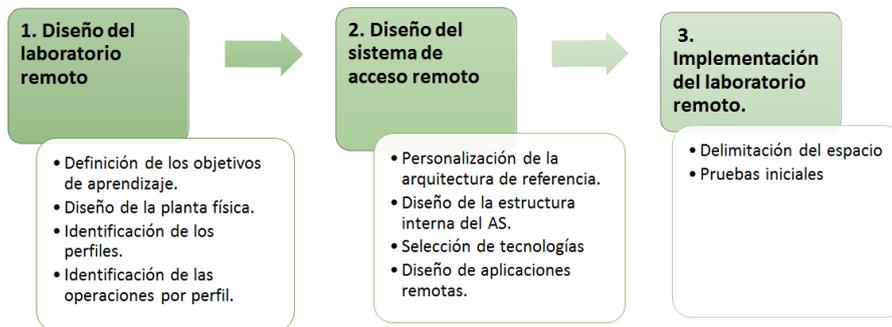


Figura 3.2: Modelo de diseño una práctica de laboratorio remoto LR
Fuente: El autor con base en Calvo (Calvo, Marcos, Orive, y Sarachaga, 2010)

(A. Diwakar, Patwardhan, y Murthy, 2012). La propuesta de Diwakar, se centra en generar competencias técnicas en los estudiantes. El modelo está compuesta por 10 de pasos que van desde la selección de la unidad de estudios hasta el desarrollo del material en línea que incorpora. En la Fig. 3.5 se ve en detalle cada paso.

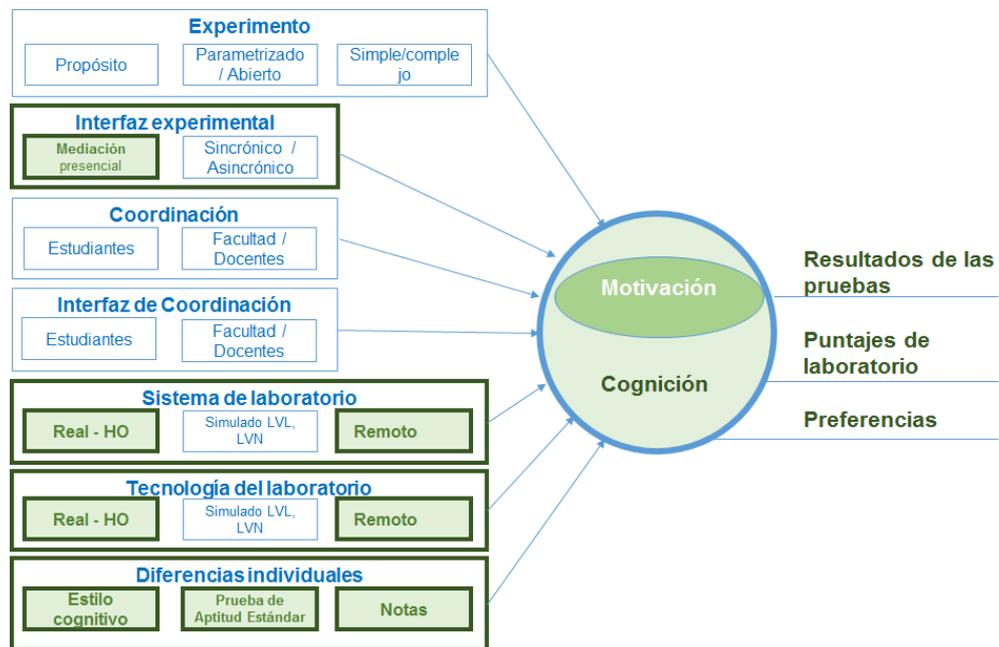


Figura 3.3: Modelo de Nickerson de efectividad

Fuente: Nickerson (Nickerson y cols., 2007)

Los grandes aportes del modelo de Diwakar son: el establecimiento de una serie de etapas que incorpora más dimensiones y variables que otros métodos no incluyen, su parámetro de control con las competencias ABET y los procesos administrativos posteriores como material en línea, generan una guía de desarrollo de la experiencia. Las desventajas son que no busca diseñar como tal un laboratorio sino que parte de un laboratorio virtual LV ya establecido, y que no tiene un proceso formal de control.

Autores como Riaño (Riaño y Palomino, 2015), han establecido por medio de la metodología Delphi un mecanismo estructurado para la selección de laboratorios virtuales. El uso de expertos en el tema de laboratorios virtuales facilita la toma de decisiones y la incorporación de variables en su caracterización del laboratorio. Su desventaja al igual que Diwakar es que no se diseña el laboratorio sino toma uno ya estructurado y probado y se centra en búsqueda de la posible efectividad.

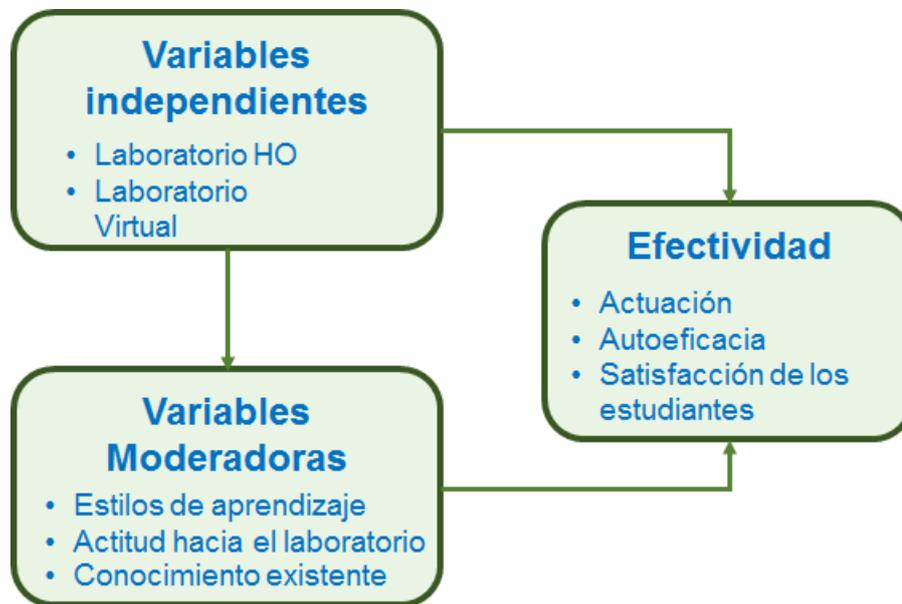


Figura 3.4: Modelo Pati de efectividad

Fuente: Pati (Pati y cols., 2012)

Con base en lo anterior se propone un modelo para el desarrollo de prácticas de laboratorio tanto convencionales como híbrido que tenga en cuenta:

- Desarrollo técnico y pedagógico en una práctica de laboratorio.
- Relación con la estructuras , física, lógica y administrativa
- Características específicas del estudiante y docente.
- Medición de la efectividad.

3.3. Modelo de diseño de laboratorios D–SMART

El modelo propuesto tiene como fin el Diseño, Uso y Evaluación de las experiencias en laboratorios en ingeniería con un enfoque pedagógico. El producto obtenido de este proceso de diseño es un módulo compuesto por las tres estructuras: física, lógica y administrativa. Este módulo denominado SMART(Sistema Modular de Acceso Rápido Temporal), es utilizado por el estudiante y sus resultados son evaluados frente a tres aspectos: tecnología, desempeño y efectividad. Este modelo propuesto D–SMART, está compuesto por varios pasos secuenciales y estructurados por 4 grandes fases:

La primera fase: involucra las etapas de requerimientos y arquitectura de la experiencia.

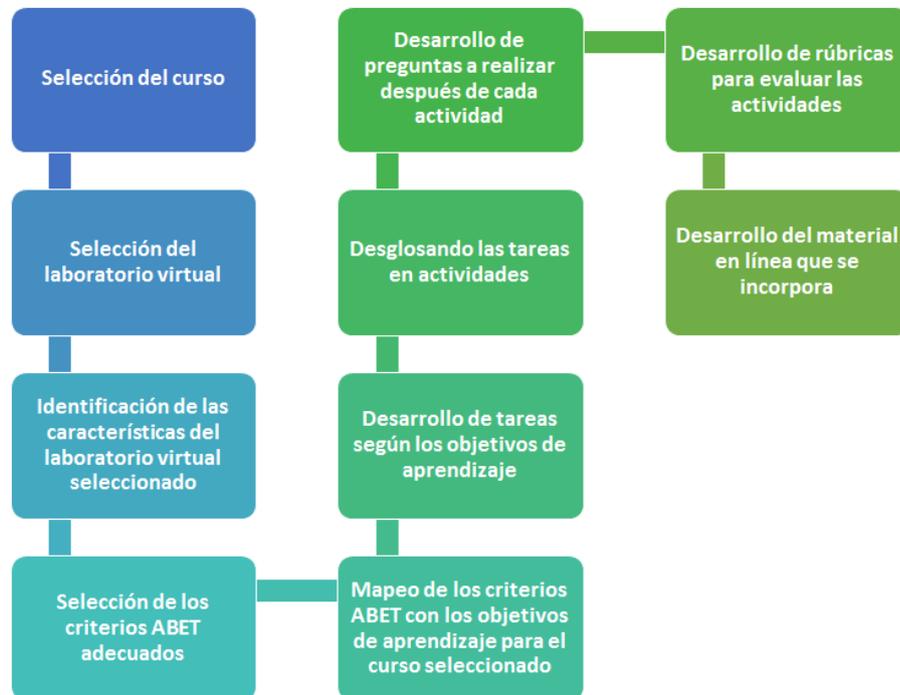


Figura 3.5: Modelo Diwakar de efectividad

Fuente: Diwakar (A. Diwakar y cols., 2012)

La segunda fase: abarca la etapa de construcción e incorpora la dimensión: de lineamiento e implementación.

La tercera fase: se concentra en el uso y la operación del módulo por parte de los actores del proceso de enseñanza aprendizaje.

La cuarta etapa: Evalúa de forma integral el modelo.

Los módulos SMART tienen como fin la integración de elementos de laboratorio LaaS (Estructura, física, lógica y administrativa), tanto para laboratorios básicos convenciones como híbridos LH. Este conjunto cumplen como fin brindar los elementos requeridos en una práctica de laboratorio y ser más eficiente en el uso de los recursos tanto físicos y de hardware (Planta y equipos, cámaras, actuadores, sensores, placas arduinos ⁴), lógicos y de software (programas, acceso a red, aplicativos, configuración, etc.), que permite establecer protocolos y pautas de acceso. Finalmente, incorporara protocolos administrativos y de gestión que le permita administrar el módulo.

⁴Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y su propio un entorno de desarrollo y facilidad de vincularlo con LabView y Matlab

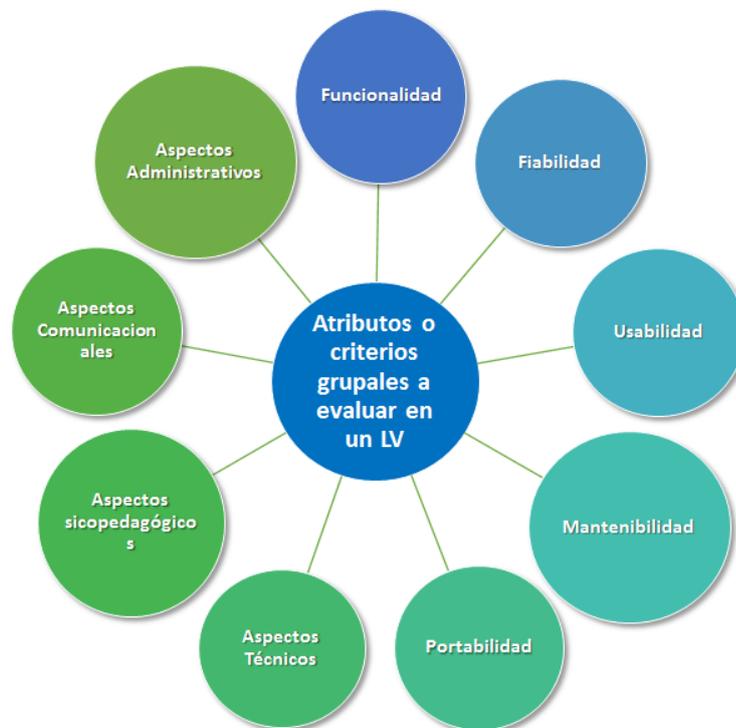


Figura 3.6: Modelo Delphi para selección de laboratorios

Fuente: el autor con base en Riaño (2015)

Las características del sistema SMART, de las cuales deriva su nombre son:

Sistema: Todos los elementos deben estar adecuados para actuar como una sola unidad robusta, esto es, deben adaptarse a cada estación de laboratorio y trabajar conjuntamente con el sistema lógico, físico y administrativo de la propuesta.

Modular: La estructura y los dispositivos deben ser de fácil adquisición y construcción. La posibilidad de replicar con facilidad su funcionamiento y uso da la posibilidad de ampliar sus aplicaciones. El módulo debe tener como lógica de acondicionamiento la propuesta *plug and play*.⁵

Acceso: Debe facilitar el acceso a cualquier estación de laboratorio tanto los que se han trabajado convencionalmente como la propuesta del híbrido. Brindando comunicación con los clientes (vídeo y audio), como I/O de señales eléctricas estandarizadas.

⁵se refiere a sistemas tecnológicos tanto software como hardware, que permita ser conectado sin tener que configurar ni proporcionar parámetros a sus controladores.

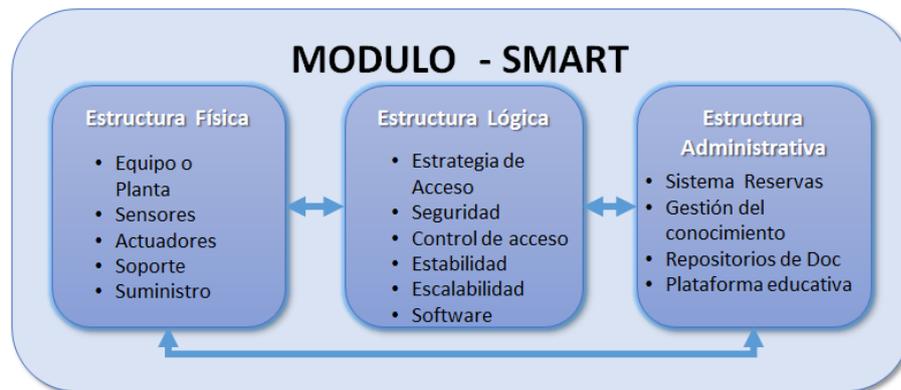


Figura 3.7: Estructura SMART de una experiencia de laboratorio

Rápido: la conexión de los sistemas y su posicionamiento debe ser ágil y no causar problemas con el funcionamiento en el modo Hands–On. Los dispositivos deben ser de fácil conexión y desmonte.

Temporal: Pasada la operación del cliente en el equipo debe retirarse ya sea para otra estación o para que el equipo entre en otro modo. Es una estructura móvil no permanente.

3.3.1. Aplicación de los laboratorios híbridos en la formación de Ingeniería de Manufactura

Para desarrollar el modelo D–SMART se propone hacer una implementación en un ambiente de formación en Ingeniería de Manufactura ⁶. La generación de laboratorios por el modelo D–SMART se concentra en la implementación de laboratorios híbridos LH ⁷ y se comparan con los genéricos convencionales ya implementados y desarrollados en las unidades de estudio.

La propuesta experimental desarrollada para la elaboración de laboratorios híbridos, integra diferentes elementos de un laboratorio en ingeniería en una misma práctica, esto conlleva a hacer la actividad con una complejidad mayor que los laboratorios convencionales básicos. La integración de elementos de laboratorio además de brindar la posibilidad de facilitar el acceso a los diferentes medios a los usuarios, busca incrementar el grado de, actitud y motivación del estudiante frente a la experimentación, la concentración mental en las acciones de experimentación y mejorar los procesos de aprendizaje del estudiante, entre otras ventajas.

⁶Se seleccionó el área de manufactura como parte del marco de implementación de los módulos SMART por facilidad del montaje de las experiencias, la estructura para la generación de competencias y la necesidad de generar experiencias para los estudiantes en esta área.

⁷Las experiencias de laboratorio combinadas o mezcladas son definidas como laboratorios Híbridos.

Para hacer evidente estos elementos, la forma de diseño del laboratorio, su implementación y evaluación, se realizaron diferentes tipos de laboratorio, en diversos cursos de ingeniería. Los laboratorios escogidos fueron seleccionados e implementados en el periodo comprendido entre 2016–S2 y 2017–S1.

3.3.2. Tipo de estudio y metodología

Para abordar la investigación y el cumplimiento de los objetivos se siguió la estructura propuesta por Son (2016, p. 230) para hacer una evaluación desde diferentes aspectos y por Nickerson (2007, p. 715) y Pati (2012) sobre los principales elementos constructivos del modelo de diseño. Para ello la investigación en experiencias de laboratorios en ingeniería se basó en las siguientes fases:

Preliminar– Comprende la formulación de la pregunta de investigación, la revisión bibliográfica y la definición de los elementos más destacados en el proceso de experimentación, y las particularidades de los individuos que hacen parte de la investigación.

Definición de los módulos de experimentación– En esta etapa se analizaron las dimensiones⁸ y variables que intervienen en el proceso de experimentación de un laboratorio. Por medio de un estudio piloto con estudiantes y equipos reales se realizó una primera aproximación en el periodo de estancia doctoral en la Universidad de Castilla-la Mancha. Conjuntamente con ayuda teórica de diferentes autores entre ellos; Nickerson (2007), Abdulwahed (2010), Tawfik (2013), Carro (Carro Fernandez, 2014) y Yi y Son(2016), se llegó una propuesta general de diseño de laboratorios.

Consecuentemente en una siguiente etapa, para indagar por el proceso de diseño se conformaron los seis módulos SMART⁹ de laboratorios híbridos tipo LaaS que se aplicaron en diferentes Unidades de Estudio UE en la Universidad EAN. Estas UE se escogieron por su integración en la formación de Ingenieros de Manufactura. Conjuntamente, se inició la recolección de información al inicio del semestre con un grupo representativo de los estudiantes de ingeniería.

Comprobación– Para esta etapa se diseñaron y aplicaron 5 instrumentos de recolección de datos y se analizaron las variables tanto del grupo de estudiantes en un semestre, como en las UE seleccionadas. La comprobación de la experimentación con los laboratorios tanto híbridos como convencionales, se realizó en tres momentos del periodo académico:

Antes de iniciar los laboratorios en el semestre– Se analizó las características de los estudiantes que realizan laboratorios en sus unidades de estudio UE. Se

⁸Las dimensiones son características generales que agrupan las variables que se quieren estudiar.

⁹Los módulos SMART (*Sistemas Modulares de Acceso rápido Temporal*), hacen referencia a la propuesta de prácticas de laboratorio híbridos. Con el fin de poder tipificarlos se organizaron en la combinación de elementos de dos tipos de los cuatro tipos de laboratorios convencionales.

concentró principalmente en los modelos de aprendizaje y en la percepción de los tipos de laboratorio y su aceptación. El instrumento utilizado es [Encuestas_ini_G](#) que se encuentra en el Anexo A.

Durante la ejecución de los laboratorios—Se analizó las características de la competencia de experimentación, tanto antes como después de cada práctica. La toma de información se hizo con el instrumento [Encuesta_ini_fin_LH](#) que se encuentra en el Anexo B.

Después de terminar el periodo académico—se realizó la toma de los datos de los estudiantes, docentes y auxiliares de laboratorio frente a los laboratorios realizados. Se aplicaron los instrumentos: [Encuestas_fin_G](#), [Encuestas_fin_DOC](#) y [Encuesta_fin_AUX](#). (ver Anexo C1, C2 y C3).

Propuesta de un sistema general— La última fase propone algunas observaciones y recomendaciones para que la propuesta de un sistema general D-SMART sea fácilmente adaptable y escalable no solo para laboratorios convencionales sino para laboratorios híbridos *LaaS* y *Flipped*.

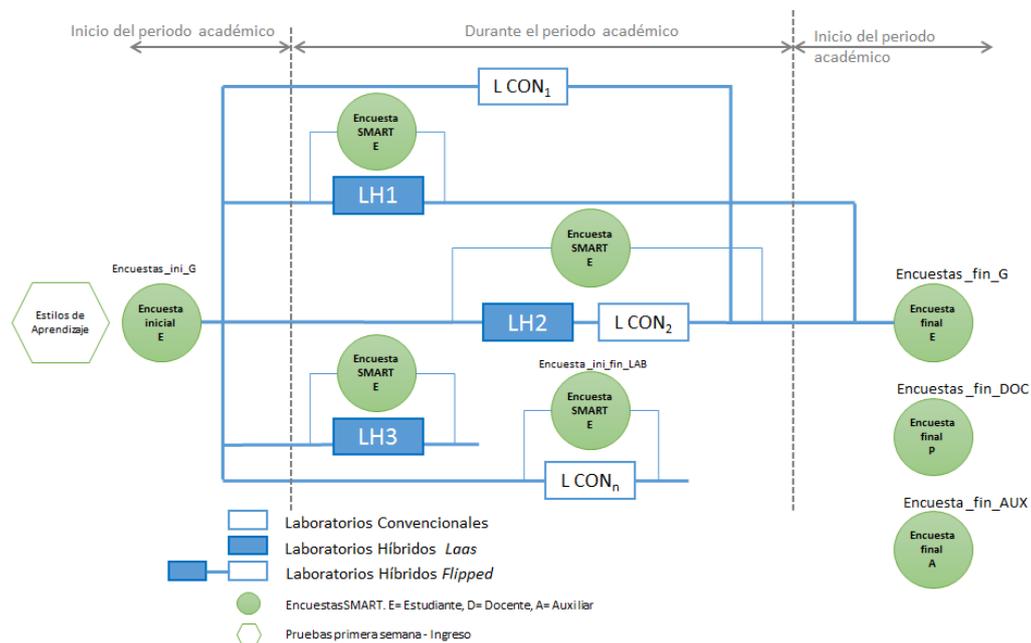


Figura 3.8: Diseño de las actividades de evaluación.

En una primera etapa se hace un estudio teórico y bibliográfico con el fin de definir las variables y sus factores. Basado en ello los factores de estudio se proponen como variables y se construye un primer modelo para validar algunas suposiciones. Con ayuda de estos

resultados se propone la aplicación de un modelo SMART más minucioso que se aplica en la construcción de seis laboratorios híbridos. Las actividades pueden verse con mayor detalle en el siguiente diagrama de flujo con las actividades que se siguieron a lo largo de la investigación.

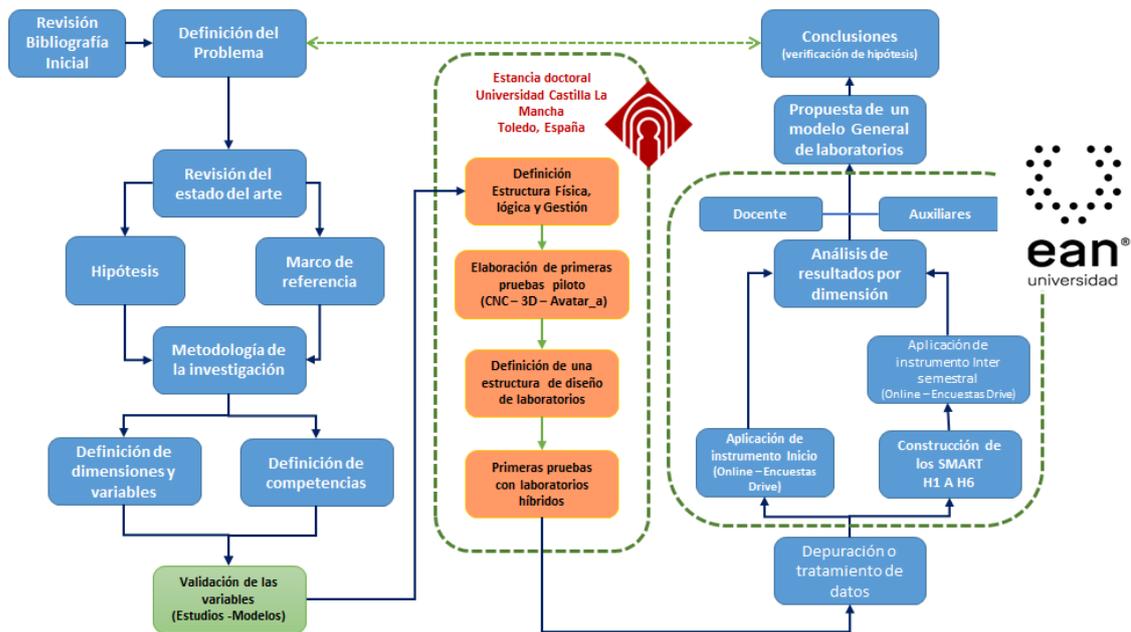


Figura 3.9: Desarrollo de la investigación

3.3.3. Dimensiones y variables

En el desarrollo del modelo de diseño para los laboratorios tanto híbridos como convencionales se identificaron factores las cuales fueron después agrupadas de acuerdo a las temáticas en dimensiones. A continuación, se presentan las siete dimensiones identificadas y los factores asociadas a cada una de ellas.

- (Modelo académico) Estructura Unidad de estudio
- (Objetivos formativos) Competencias en ingeniería
- (Proceso enseñanza aprendizaje) Estrategias de aprendizaje –STEM
- (Modelo pedagógico) Características del Estudiante
- (Contexto tecnológico) Selección del equipo/planta
- (Lineamientos regulatorios) Patrones
- (Estrategia de la institución) Lineamientos de implementación

Las dimensiones y sus correspondientes factores además de brindar los elementos necesarios para establecer un modelo, nos da lugar a establecer las herramientas para indagar por

su grado de importancia al definir una experiencia de laboratorio.

1. *Estructura Unidad de estudio:*

Esta dimensión establece los lineamientos iniciales que rigen las temáticas que se imparten en una unidad de estudio en Ingeniería. Estos elementos son imprescindibles para establecer el objetivo y contexto en el diseño de una práctica de laboratorio ya que determina 'que se quiere hacer'. Algunos lineamientos son obligatorios y otros son voluntarios (ver Tabla 3.1).

Tabla 3.1: Factores agrupadas en la dimensión UE

	Nombre del factor	Autores
F1	Contenidos SME ¹⁰	(David et al., 2013)
F2	Créditos por área conocimiento MEN	(CONACES, 2016),(MEN, 2003)
F3	Recomendaciones Asociaciones ACOFI	(Lerena, 2016)

2. *Competencias en ingeniería:*

Esta dimensión hace referencia del enfoque hacia el desarrollo de competencias en profesionales de ingeniería, sus metodologías y orientaciones, que diferentes organismos establecen dependiendo su especialidad y contexto. Se puede asumir una Educación de Calidad cuando un estudiante ha adquirido conocimiento, habilidades y competencias más amplias como se describe a través de los Resultados de Aprendizaje. Algunos referentes se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Factores agrupados en la dimensión Competencias en ingeniería

	Nombre del factor	Autores
F4	ABET, EUR-ACE, AHELO	(ABET, 2016)(OECD, 2011)
F5	Competencia en manufactura - SME	(ABET, 2016),
F5.1	OCDE	(OECD, 2003)

Para el caso de aplicación se definió el área de manufactura por los elementos que involucra, y la necesidad de mejorar los procesos de formación en esta area tan importante para la industria.

3. *Estrategias de aprendizaje-STEM*

Para el desarrollo de las competencias en el proceso de enseñanza aprendizaje, es necesario hacer dinámicas que combinen habilidades cognitivas, interpersonales y psico-

¹⁰Society Manufacturing Engineering

motoras, en diferentes momentos y alcances (ver Tabla 3.3). Particularmente las UE en STEM, deben incorporar estrategias y metodologías acordes con este tipo de unidades.

Tabla 3.3: Factores agrupados en la dimensión estrategias STEM

	Nombre del factor	Autores
F6	Estrategias de laboratorio	(Domingues, Rocha, Dourado, Alves, & Ferreira, 2010)
F7	Estrategias de clase	(Chanduví, Curay, & Escobar, n.d.), (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2014)
F8	Uso (modo de operación)	(K. Henke et al., 2013)
F35	Tipo de laboratorio	(Heradio, de la Torre, & Dormido, 2016a),

Las estrategias de aprendizaje deben ser coherentes con ‘la competencia’ que se quiere desarrollar y la definición de esta condiciona el desarrollo de las actividades a desarrollar.

4. *Características del Estudiante*

Los estudiantes como el centro de los procesos de formación aportan características que deben ser incorporadas en el diseño de diferentes experiencias de aprendizaje. Algunos Factores de los estudiantes son mostrados en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Factores agrupados en la dimensión característica del estudiante

	Nombre del factor	Autores
F9	Modelo de aprendizaje	(Pedraza, 2003) (Díez et al., 2009)
F10	Modalidad (presencial, virtual, b-learning)	(Díez et al., 2009)
F11	Trabajo colaborativo	(Kolb, 2000)(Tovar, 2010)
F12	Actitud hacia la manufactura	(Abdel-Malek, Wolf, & Guyot, 1998)
F13	Conocimiento de los procesos - teoría	(Kalpakjian & Schmid, 2014)
F14	Conocimiento de los procesos - práctica (Lab)	(Kalpakjian & Schmid, 2014)

Elementos como modelos de actividades, dispositivos y objetos de aprendizaje deben ser incluidos en las experiencias en laboratorios técnicos.

5. *Selección del equipo/planta*

La selección del equipo o sistema que se va a utilizar en las prácticas de laboratorio son una labor importante dentro del proceso de diseño del laboratorio. Ya sea real o virtual, un equipo o la representación requieren de una correcta elección porque esté conlleva a los estudiantes a ser competentes en su vida profesional con equipos reales y en el contexto donde desarrollaran su operación. Los factores agrupados en esta tabla buscan la selección óptima de un montaje para el aprendizaje (ver Tabla 3.5).

Tabla 3.5: Factores agrupados en la dimensión selección del equipo/plantan

	Nombre del factor	Autores
F15	Requerimientos de equipos	(Brofferio, Grotto, & Maderna, 2000)
F16	Tecnologías disponibles	(Heradio et al., 2016b)
F17	Tecnologías emergentes	(Restivo & Cardoso, 2014)
F35	Adquisición Tecnológica	(Bochicchio & Longo, 2009)

La tecnología al ser variada y cambiante requiere que el equipo sea acorde con las necesidades de formación en el contexto del estudiante.

6. *Patrones*

Esta dimensión se refiere a la normativa y lineamientos tanto de la institución como de

lo entes y organismos regulatorios. Comprende tanto la estructura física y sus equipos, como la estructura lógica y las buenas prácticas y herramientas ampliamente utilizadas en los laboratorios en ingeniería (ver Tabla 3.6).

Tabla 3.6: Factores agrupados en la dimensión Patrones

	Nombre del factor	Autores
F18	Normativas existentes	(Zalewski, 2014), (Farance & Tonkel, 2001).(IEEE, 2003)
F19	Referentes Laboratorios existentes	(Orduña et al., 2016)
F20	Ambientes de aprendizaje (Moodle)	(Rößling et al., 2008)
F21	Requerimientos del sistema (Sheduling, control de acceso)	(Lowe et al., 2011)
F36	Rol del docente	(Wong, Chai, Zhang, & King, 2015)

El cumplimiento de los patrones facilitará incorporar a las experiencias de laboratorio en modelos colaborativos entre instituciones, así como generar proceso de mejoramiento.

7. *Lineamientos de implementación*

La implementación del sistema incluyente la medición del desempeño del laboratorio, su control y mantenimiento en el cual se enmarca, ya sea en un sistema general institucional más amplio que tiene la institución o un sistema federado de laboratorios con el fin de compartir recursos entre instituciones (ver Tabla 3.7).

Tabla 3.7: Factores agrupados en la dimensión Lineamientos de implementación

	Nombre del factor	Autores
F22	Recursos disponibles de la institución	(J. Cardona et al., 2007)
F23	Planes (riesgos, manejo de materiales, etc)	(ICONTEC, 2005)
F23.5	Mecanismos de evaluación y efectividad	(Jaya, Haryoko, & Dirawan, 2016), (A. S. Diwakar & Noronha, 2016)
F24	Adaptación al sistema actual	(Orduña et al., 2014)

Para determinar cuáles variables se han de utilizar en el estudio empírico, de los anteriores factores presentes en el diseño de laboratorios en ingeniería, se decidió hacer

un tamizaje aprobando los factores anteriormente presentados por medio de técnica de validación de variables.

3.4. Validación de Variables

Algunos de los métodos más utilizados para la validación de variables de investigación son técnica por consenso, técnicas cualitativas y técnicas cuantitativas. De las técnicas cualitativas se pueden mencionar.

- Técnicas conversacionales
- Técnicas grupales
- Técnicas de observación
- Técnicas documentales – Revisión bibliográfica

Para depurar las variables que se han de utilizar en la experiencia de laboratorios se propone inicialmente hacer un análisis de variables utilizadas en otros estudios. Entre ello, se mencionan los trabajos de Nickerson(2007), Abdulwahed(2010), Tawfik(2013), Carro(2014) y Yi y Son(2016).

Nickerson (2007)–El principal aporte de este trabajo es la determinación de un modelo de evaluación integral. Contiene los componentes básicos para el diseño. Equipo, Interfaz de la experiencia, Coordinación, Coordinación de la interfaz, estructura del laboratorio, estructura tecnológica y diferencias individuales. Una propuesta de evaluación también es incorporada en el modelo (Nickerson y cols., 2007).

Abdulwahed (2010)–Es un referente en el uso de laboratorios híbridos del tipo *Flipped* en ingeniería . El principal aporte está en la determinación de la secuencia en la implementación de combinación de laboratorios en ingeniería. Su principal hallazgo está en establecer la eficacia de esta combinación (Abdulwahed, 2010).

Tawfik (2013)–Es uno de los primeros autores en proponer el sistema de laboratorios híbridos bajo demanda y de forma mezclada. Su propuesta es conocida como LaaS ya que los dispositivos, y los elementos de apoyo se pueden acceder desde protocolos de internet (Tawfik, Lowe, y cols., 2013).

Carro(2014)–En su investigación plantea un prototipo modular de acceso a diferentes tipologías de robots. En su trabajo se analizan los tipos de necesidades de comunicación de los usuarios, los medios de interacción y en especial las características tecnológicas del sistema (Carro Fernandez, 2014).

Yi y Son(2016)–La importancia de su trabajo radica en los métodos de evaluación aplicados a laboratorios híbridos tipo *Flipped*. Aunque en la literatura es el primero en llamar este tipo de aplicaciones de laboratorios ya se conocían al potencial para la formación. Tanto la encuesta como sus resultados ayudan a descartar muchos de los factores que no son determinantes en el laboratorio (Son y cols., 2016).

A continuación, la Tabla 3.8 muestra la identificación de las variables trabajadas en las investigaciones anteriores y las dimensiones propuestas en la investigación, con sus factores. Estas investigaciones son pertinentes por las temáticas trabajadas y por sus referencias. De este análisis se descartan factores que por no ser indagados por su interés práctico se han descartado del estudio piloto y en el trabajo experimental posterior con los laboratorios híbridos propuestos de H1 a H6.

Las dos dimensiones que se descartan en su totalidad del trabajo experimental son; la estructura de la unidad de estudio, porque es direccionada por la facultad, la profesional y las asociaciones en el contexto en el cual se desenvuelve la profesión. Y los lineamientos de implementación. Ya que dependen de la estructura tecnológica que depende de cada institución de forma particular (Tawfik y cols., 2015).

Tabla 3.8: Validación de variables con trabajos referentes

DIMENSIONES	NF	FACTOR EVALUADO	Nickerson ¹¹ (2007) N=29	Abdulwahed ¹² (2010) N=110	Tawfik ¹³ (2013) N=64	Carro ¹⁴ (2014) N=197	Yi y Son ¹⁵ (2016) N= 376
		Variables de Control	· Nivel de escolaridad · Carrera	· Nivel de escolaridad	·	· Edad	· Nacionalidad · Edad · Genero
Competencias en Ingeniería	F5	Competencia en el área de formación	· Eficacia: remota versus práctica · Puntuación de prueba de laboratorios remotos · Puntaje de prueba de los laboratorios prácticos · Modelo de aprendizaje	· Competencias en sistemas de control · Examen final p<0.05	·	·	· Valor final del curso p<0.001
Características del estudiante	F12	Actitud hacia el área de formación	· Satisfacción general	· Disfrute · Motivación para estudiar el tema · Rol en la actividad de experimentación. · Aplicación en la industria · Mantener la atención	· Sensación de realidad	· Experiencia previa de laboratorios · Motivación y atención en clase.	· Actitud hacia la ciencia de estudio. · Apreciación por la ciencia de estudio – Trabajo en cada laboratorio.
	F13	Conocimiento de los procesos - teoría	· Presencia física en el laboratorio	· Evaluación pre/post · Compresión conceptual · Mejorando el entendimiento teórico · Retención de información	·	·	· Evaluación pre/post p>0.2
	F14	Conocimiento de los procesos - práctica (lab)	· Instrucciones preparatorias · Adquisición de datos · Reporte de laboratorio · Claridad de instrucciones	· Test pre/post · Reporte de laboratorio	·	· Percepción de la dificultad en el uso de las reservas y el acceso.	·
Selección de equipo/planta	F35	Adquisición Tecnológica	· Sensación de inmersión · Fiabilidad de las configuraciones · Facilidad de uso · Obvedad de uso · Conveniencia en el acceso · Conveniencia de programar	· Uso de la combinación de laboratorios	· Factibilidad · Ejecución	· Costos de implementación · Uso del laboratorio · Software de soporte	· Costos por modalidad de laboratorio
Patrones	F36	Rol del docente	· Trabajo en equipo · Tiempo total requerido	· Destacando las partes importantes de la conferencia	·	· Tiempo de uso	·

¹¹Trabajo sobre el modelo de evaluación de laboratorios Híbridos tipo Flipped. – Tesis Doctoral

¹²Investigación en laboratorios remotos – Artículo

¹³Trabajo de investigación laboratorios LaaS – remotos modulares – Tesis Doctoral (encuesta realizada por la UNED)

¹⁴Sistema de integración de laboratorios de robótica SiLaRR – Tesis Doctoral

¹⁵Propuesta de laboratorios Híbridos tipo Flipped – Artículo de revista

Autores como Abdulwahed (Abdulwahed y Nagy, 2013), con un módulo de control electrónico, García–Zubia (2012, p. 192), Miladin (Stefanovic, Tadic, Nestic, y Djordjevic, 2015) con un sistema de control de tanques de agua, Rodríguez–Gil (2017) y en especial los módulos VI-SIR (Odeh y cols., 2015), (Tawfik, Sancristobal, Sergio, y cols., 2013), y Romero (2015), han desarrollado en sus investigaciones, montajes de interconexión (Rig) o prototipos funcionales para poner a prueba sus características. Con el propósito de que lo utilicen con estudiantes para involucrar características de efectividad; usabilidad y de adquisición tecnológica en el proceso de enseñanza aprendizaje.

Las principales características del proceso de aplicación de estos estudios pilotos son:

- Se requiere de un entrenamiento previo, por parte de los estudiantes, y se explicación las bases teóricas
- Se requiere de un entrenamiento previo, por parte de los estudiantes, y se explicación las bases teóricas
- Se establece un objetivo y un periodo de tiempo específico
- Se efectúa un montaje específico y se hacen pruebas
- Se realiza un test pre y/o post al utilizar el montaje y su eficacia

Para la ensayo inicial y con el fin de evaluar la propuesta de estructura física, lógica y de gestión, en el periodo 2016–S2, se realizó la prueba piloto en la Universidad de Castilla-La Mancha utilizando la infraestructura de procesos: impresión 3D y mecanizado CNC principalmente además se elaboró una experiencia de tele – presencia con la maquina universal de pruebas y el proceso de soldadura eléctrica GMAW y SMAW y la red Interna de la Universidad. El proceso llevado corresponde al flujograma que se muestra en la Fig. 3.10.

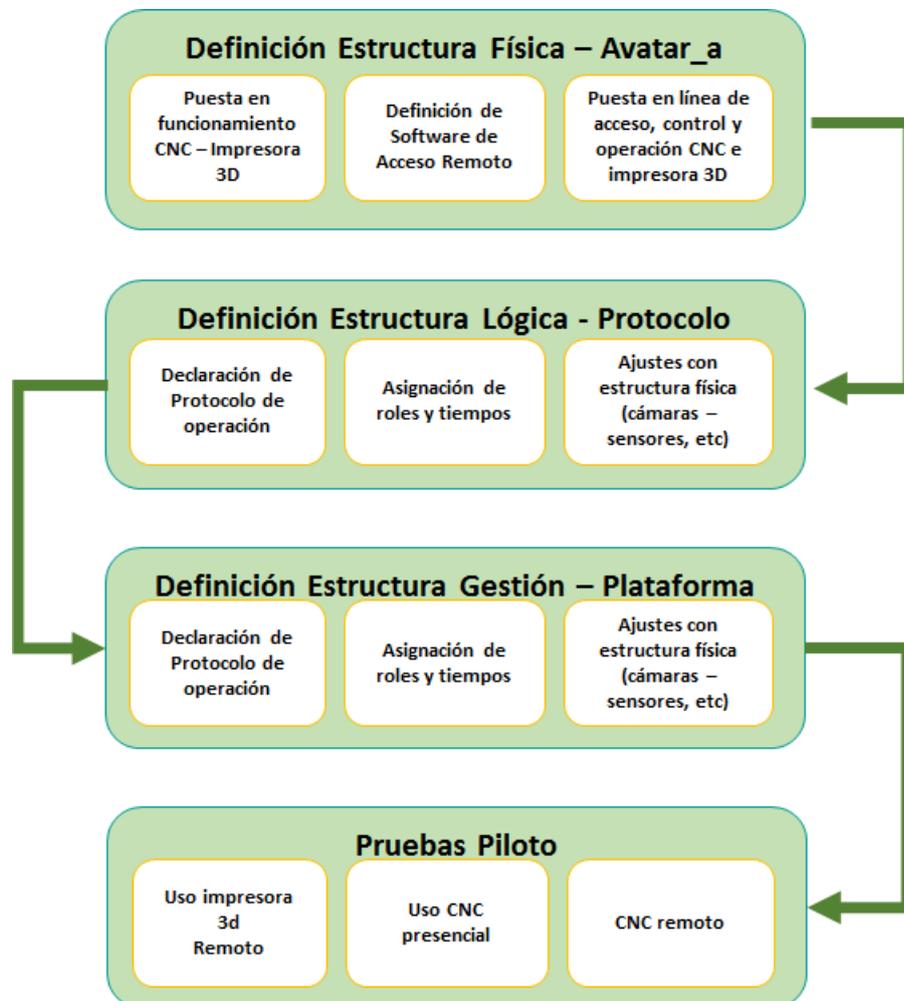


Figura 3.10: Flujograma prueba piloto

3.5. Prueba Piloto aplicada a estudiantes

La prueba piloto con la interacción de las estructuras (física, lógica y de gestión), se desarrolló en un lapso de 6 meses, su objetivo fue verificar el grado de usabilidad y de interconexión de sistemas necesarios. Se aprovechó adicionalmente para poder hacer la experimentación en diferentes tipologías de laboratorios; presencial OH, virtual LVL, laboratorio remoto LR y laboratorio híbrido LH.

Se definieron dos módulos denominados SMART1 y SMART2 con un arreglo básico de las tres estructuras definidas. Como primera instancia se concentró la práctica con los módulos en su funcionamiento y acondicionamiento para que los estudiantes pudieran utilizar los

equipos en diferentes modalidades. Esto incluye:

- Conocimiento del equipo -
- Plan de riesgos -
- Solicitud de permisos -
- Disponibilidad de tiempo y recursos

Esta estructura para estos dos módulos de prueba está compuesta de tres equipos básicos: Las impresoras 3D – Universidad UCLM (sala 3D), Equipo CNC – Universidad UCLM (sala automatización-lab19) y estructura móvil – Universidad UCLM (Avatar_a)¹⁶.

3.5.1. Definición estructura Física prueba piloto

Para el diseño de una prueba piloto se organizó con los dos módulos cinco experiencias de laboratorio. Las características de la estructura física se centraron en dos tipos de equipos principales que tuvieran características especiales como: Sistemas controlados por computador, control de operación por paquete ¹⁷, sistemas redundantes de control, usos estandarizados y de larga operación en una experiencia. Para la estructura física de los módulos se utilizaron los siguientes equipos.

Principales:

- Impresora 3D Prusa e Impresora 3D Witbox- Universidad UCLM
- Equipo CNC EMCO – Universidad UCLM

Secundarios:

- Equipo de soldadura Universidad EAN
- Máquina universal de Pruebas
- 3 PC escritorio
- 2 Portátiles
- Una estructura Avatar-a
- Cámaras, sensores, Arduino UNO

¹⁶Avatar: Arquitectura física que nos ayuda a acceder a los equipos reales sin intervenir directamente a ellos.

¹⁷Los equipos o máquinas pueden ser operados de forma continua, por paquetes o mixto

Una de las estructuras que se construyeron específicamente para las experiencias fue el avatar_a :

Avatar_a: Estructura móvil portátil con conexión a Internet. Para ello se adecuó una estructura denominada Avatar_a con el fin de servir de plataforma de asistencia con diferentes elementos físicos y de apoyo, con acceso para la tele-operación o tele-presencia, y elementos operación y apoyo logístico. Uno de los primeros casos exitosos fue en sistema de monitoria en la puesta en funcionamiento Impresora 3D. Las funciones de este dispositivo en el proceso de experimentación fueron:

- Ofrecer de estructura física y móvil para el apoyo del PC, cámaras, sensores de movimiento, indicador de operación y apoyo a las placas de control (Arduino uno ¹⁸).
- Mantener la señalización perimetral para que no se accediera al sistema que se estaba utilizando sin autorización.
- Servir de plataforma de acceso por medio del PC de conexión Wifi a la red de la universidad, fuente de energía y de adquisición de datos.

Además, se hicieron dos pruebas de tele-presencia con el fin de servir de asistencia a la experimentación con la máquina universal de pruebas y la asistencia al proceso de soldadura presencial. Los instrumentos y sistemas utilizados en la construcción y uso del Avatar_a se muestran en la Fig.3.11.

¹⁸Arduino UNO es una placa de microcontrolador de código abierto basada en el microcontrolador Microchip ATmega328P y desarrollada por Arduino.c

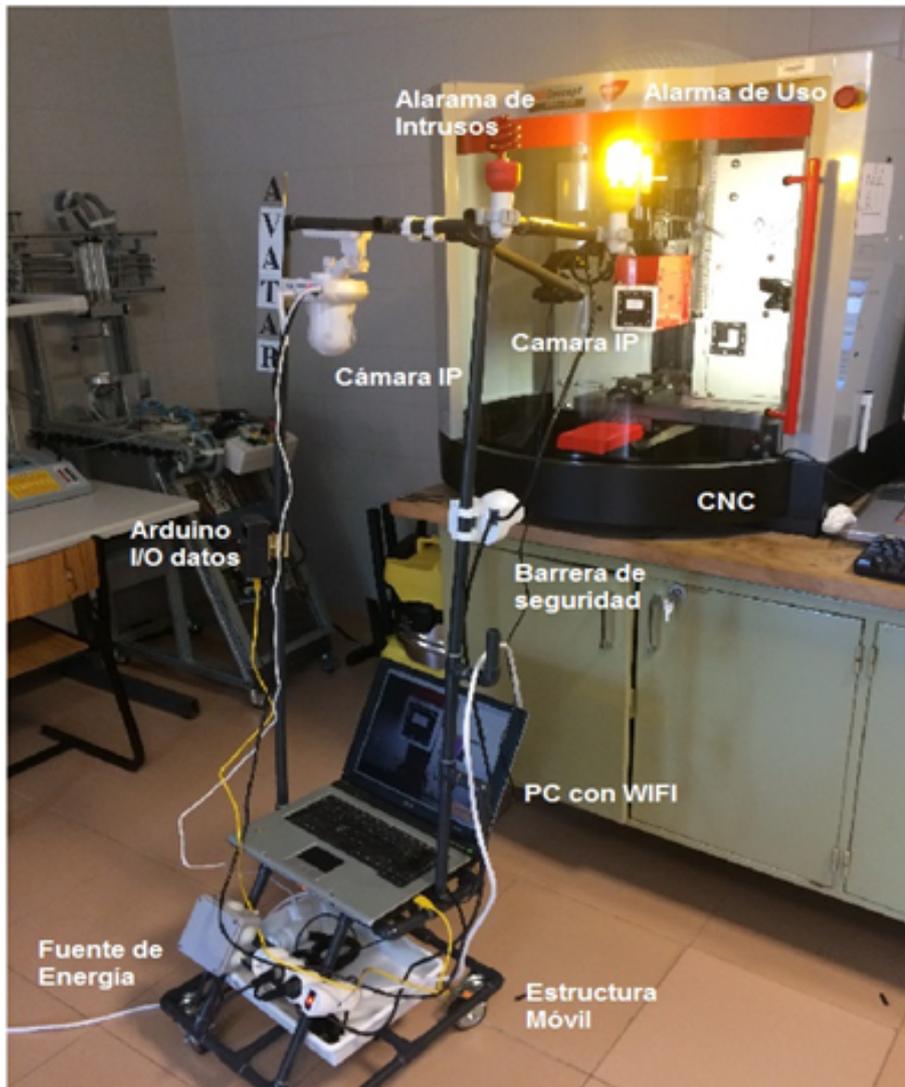


Figura 3.11: Estructura final Avatar.a

Para servir de apoyo a la experimentación básica se acondiciono una estructura física modular de bajo costo (**Avatar.a**), que apoya las estrategias y acciones de logística. El acondicionamiento de esta estructura se hace sin importar el nivel de desarrollo ¹⁹, entre al sistema de laboratorio que se esté trabajando. Las actividades adelantadas fueron las siguientes:

- a) **Proveer de acceso de los ordenadores a la red WIFI de la Universidad y a su vez Internet**

¹⁹El nivel de desarrollo de los equipos de laboratorio está relacionado con la tecnología que rige su funcionamiento

Se conectaron los equipos que brindan acceso a la red LAN de la universidad UCLM por medio de un adaptador WIFI–nano. En fueron dos accesos diferentes para cada equipo, en el caso del centro CNC, la tarjeta Ethernet del PC controla la máquina y la tarjeta externa WIFI para el acceso a la red. La dificultad con este tipo de conexión fue la velocidad alcanzando 12,6 Mbps en la máquina CNC y 17,7Mbps que está disponible para las impresoras.

b) Desarrollo de un experimento sencillo

Con el fin de replicar sin riesgo los experimentos en diferentes ambientes se creó un prototipo de prueba básica, en el caso de las impresoras 3D fue un cubo al 20 % de densidad de 15x15x15 mm en diferentes materiales ABS ²⁰ y PLA ²¹ y en la fresadora CNC fueron las letras UCLM al interior de un rectángulo en madera de 100x50mm.

c) Montaje de software de control remoto y pruebas de acceso

Luego de realizar diferentes pruebas se determinó la instalación de dos tipos de software de control remoto VNC. El primero Zoho ²², estas aplicaciones se distribuye como software gratuito como servicio (SaaS), con el fin de facilitar el acceso a los equipos y de asistencia remota. Y la aplicación de escritorio remoto de Google Chrome, para tener un respaldo de conexión y servir de soporte.

d) Adquisición, calibración y enlace al sistema de equipo periférico como cámaras y micrófonos y parlantes

Los sistemas periféricos fueron tres cámaras; dos WEB–USB y una IP robotizada. La configuración se realizó en los equipos así:

Para la red de conexión con el sistema de acceso remoto; El PC del laboratorio CNC–EMCO se denominó **pc01labiti** con la cámara TRUST, únicamente, y la PC del laboratorio 3D denominada **pc02labiti** se instaló la cámara FOSCAM (Robotizada) y USB–Logitech (ver Fig. 3.12).

e) Desarrollo de protocolos de uso de cada equipo

Los equipos del laboratorio para la experimentación se mantuvieron disponibles para otras prácticas y no se dejaron inutilizaron ²³ se implementó un protocolo sencillo para no ocasionar errores o fallas:

²⁰ABS–acrilonitrilo butadieno estireno plástico termoplástico

²¹PLA–ácido poli–láctico plástico termoplástico

²²Antes AdventNet. Este software dispone de diferentes aplicaciones *On–line*. Para la experimentación se utilizó la aplicación de negocios ‘*Zoho assist*’ y la de Colaboración ‘*Zoho meeting*’

²³Lineamiento del sistema SMART



Figura 3.12: Cámaras utilizadas en la estructura física

- 1) Se accede al PC por medio del sistema de respaldo de Google y se constata el estado
 - 2) Si las cámaras advierten de su uso se cancela la práctica y se posterga para un nuevo espacio.
 - 3) Si se puede realizar la práctica se informa por medio de un mensaje en pantalla y se procede a realizar la práctica.
 - 4) Se verifican los parámetros de uso y seguridad
 - 5) Se autoriza el acceso por medio de Zoho meeting a los usuarios
 - 6) Y se realiza la práctica
 - 7) Se retira el mensaje y se libera la PC
- f) **Pruebas y ajuste de la red (velocidad y conectividad)**
Debido al resultado de una primera configuración del acceso fue necesario hacer un cambio en el conector WIFI externo. Se instaló en cada PC el software Zoho Meeting y se realizaron pruebas de velocidad en el acceso a las rutinas previamente descritas.
- g) **Prueba real de tele operación en cada uno de los ambientes desarrollados**
Se realizaron pruebas de conexión y operación al interior de la UCLM, antes de hacer las actividades con cada uno de las propuestas desarrolladas

Las cámaras fueron instaladas en diferentes PC, tanto en la Universidad UCLM como EAN, para para hacer un control de la operación es especial la tele operación.

3.5.2. Definición estructura Lógica prueba piloto

Los cuatro elementos que se definieron de la estructura lógica para la propuesta de las dos experiencias propuestas prototipo SMART1 Y SMART2 son: (ver Tabla 3.9)

Tabla 3.9: Elementos de la estructura lógica utilizados

ELEMENTO	SMART1	SMART2
Cliente	Estudiantes con PC	Estudiantes con PC / presenciales
Ambiente Virtual de Aprendizaje/ AVA	Moodle/Blackboard	Moodle
Administrador de laboratorio remoto y Presencial	Calendario Drive Zoho Meeting/Zoho assist	Calendario Drive Zoho Meeting/Zoho
Laboratorio	Impresoras 3D	Mecanizado con fresadora EMCO Mill55
Gestor de contenidos	Google sites	Google site

Adicionalmente se tuvieron en cuenta lineamientos generales del sistema para garantizar su funcionalidad, estabilidad y autorizaciones.

- Servicio WEB permanente: Para eso se establece una plataforma de aprendizaje LMS ²⁴ y una plataforma de gestión de contenidos en Google Sites ²⁵, completamente editable y totalmente WEB, externa a la Universidad pero con los recursos más comunes
- Mínima instalación de software, principalmente del lado del cliente para que el servicio sea multiplataforma y de fácil acceso.
- Respaldo del lado del servidor, debido las posibles desconexiones, autorizaciones y disponibilidad, los equipos tiene respaldo de un sistema de control alterno independiente de la plataforma WEB
- Control de acceso al sistema y control de la sesión de tele operación por parte del encargado del lado del servidor.

Las actividades en este frente de la plataforma WEB fueron:

a) **Elección del sistema LMS idóneo, para alojar todo el laboratorio híbrido.**

Se revisaron las alternativas de *Blackboard*, *Moodle* de la EAN y UCLM, y *MoodleCloud* ²⁶. Debido a las características; de acceso abierto, libertad de realizar cambios, desconexión con los sistemas de gestión de las dos universidades EAN y

²⁴Learning Management System

²⁵<https://goo.gl/Zo5hDt>

²⁶<https://moodlecloud.com/>

UCLM, gran cantidad de desarrollos como Apps, concepción constructivista, y conocimiento de los administradores de las Universidades, se escogió a *MoodleCloud*.

b) Elección del software de acceso remoto

Se estudiaron y evaluaron diferentes tipos de software de conexión remota, que fueran acordes con la estrategia y los lineamientos anteriormente descritos. Además, que no causaran conflicto con los sistemas de seguridad informática de la Universidad.

Ya con la elección del software se estableció un procedimiento para acceder a los equipos que tiene software propietario o especializado para el manejo de los equipos. El principal funcionamiento cliente servidor es brindado por el software Zoho On-line, y el de respaldo por escritorio remoto de Google. (ver Tabla 3.10)

Tabla 3.10: Procedimiento de conexión

PROCEDIMIENTO DE ZHO MEETING	PROCEDIMIENTO ESCRITORIO REMOTO DE GOOGLE
<p>Posibilidad 1: instalar la aplicación permanentemente en el computador servidor.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acceder a la aplicación - Obtener código de acceso - Envió del código al cliente por correo o por chat <p>Posibilidad 2: recibir un correo para abrir en el PC del laboratorio.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Celebrar una reunión - Descargar y abrir un programa temporal - Obtener código de acceso - Envió del código al cliente por correo o por chat 	<ul style="list-style-type: none"> - Abrir el correo en Gmail. - Acceder al espacio google Store. - Descargar la aplicación de escritorio remoto - Inscribir el PC para acceso remoto y generar código de acceso. - Enviar código al usuario por correo o por chat. - La persona debe tener también instalada la aplicación

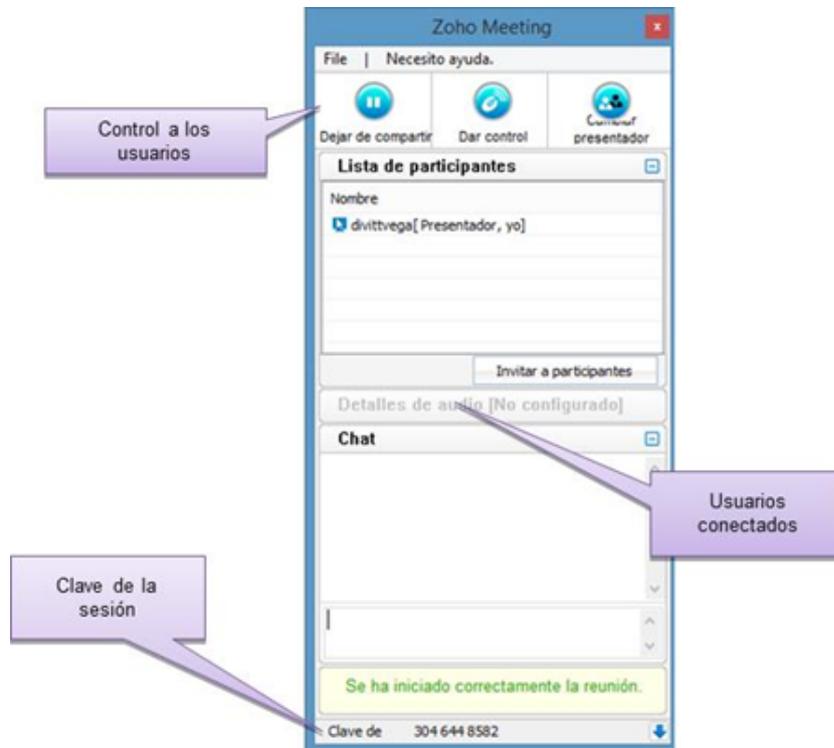


Figura 3.13: Pantalla de control para acceso al software para tele–operación

Fuente: Software Meeting

Para el acceso normal de una actividad de tele operación, el usuario del lado de cliente debe ingresar al computador servidor por medio un link enviado por correo o del área de ingreso vinculada al ambiente de aprendizaje o al ambiente de gestión de contenidos desarrollado ²⁷.



Figura 3.14: Modo de acceso al sistema de tele operación de forma remota

Fuente: Zoho assist

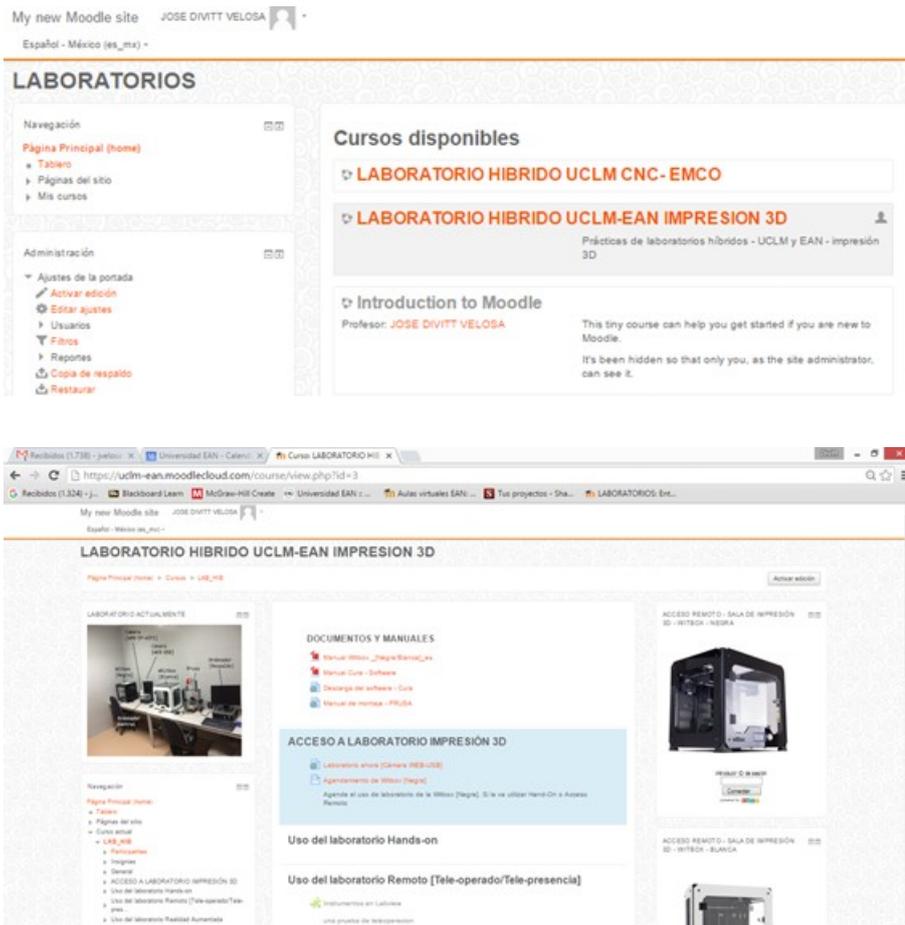
Ya al interior de la sesión del computador, el cliente puede observar lo que se está haciendo en el laboratorio y solicitar el control de la máquina (ver Fig 3.13

²⁷<https://sites.google.com/a/ean.edu.co/laboratorios-hibridos-en-ingenieria-de-manufactura>

y 3.14).

c) **Creación del ambiente de aprendizaje**

Se desarrolló un portal educativo en *MoodleCloud* y se crearon dos ambientes que tenían acceso desde el portal, uno para impresoras 3D y uno para la fresadora CNC–EMCO, sirviendo de medio vinculante entre el cliente y el servidor ²⁸. La página principal y los ambientes se muestra en la Fig 3.15.



²⁸ Este software se está utilizando en su versión de gratuita

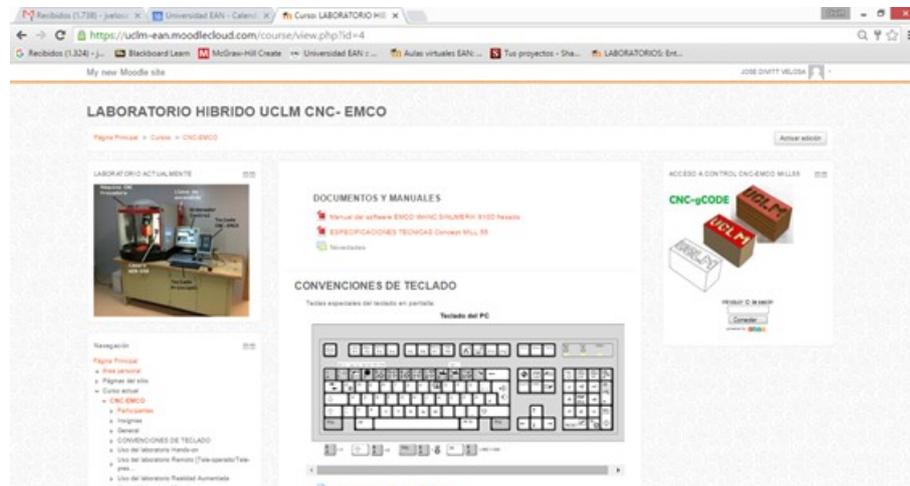


Figura 3.15: Cursos disponibles de Moodle de los laboratorios utilizados
Fuente: Moodle Cloud

d) Configuración de la aplicación de acceso remoto.

Luego de instalar del lado del servidor la aplicación de control de sesión (ZOHO Meeting)²⁹ y software de respaldo y software de control de dispositivos periféricos, se configuró un protocolo de acceso directo y de acceso asistido, así:

- El PC del laboratorio debe estar encendido y en línea.
- El operario del laboratorio puede dar acceso al control de Zoho, o se puede utilizar el acceso de respaldo para dar acceso.
- Ya con la aplicación Zoho corriendo se genera y se envía en código de la sesión al cliente, esto puede ser por chat o por correo.
- El cliente ingresa con este código y puede observar la sesión. Si está interesado el tomar el control lo solicita al servidor por medio de la aplicación.
- El controlador de la sesión del lado del servidor establecerá el control.

En la Fig. 3.16 se puede observar el diagrama de flujo del proceso de acceso a tele operación implementado; y a relación con el usuario (cliente), laboratorio (servidor) y sistemas de administración (reservas y afiliación).

²⁹Este software se está utilizando en su versión gartuita

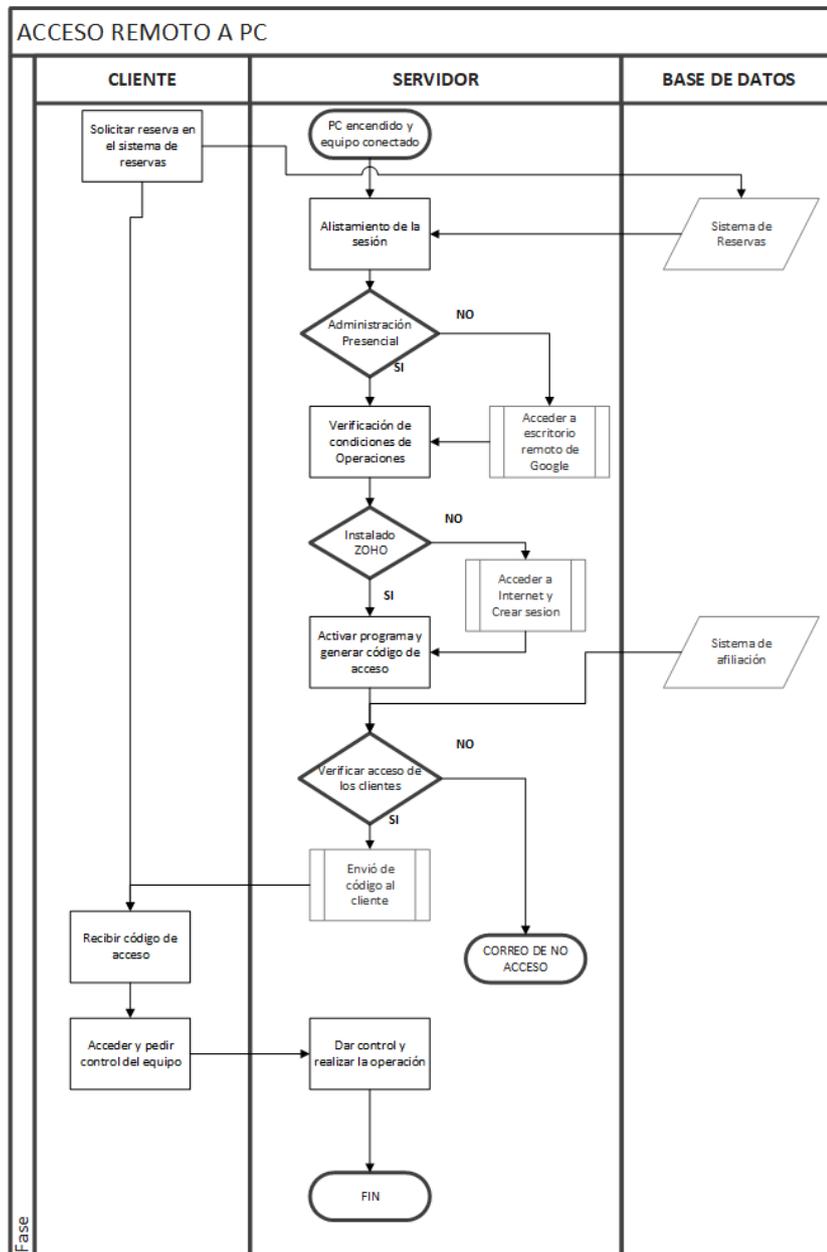


Figura 3.16: Flujo de proceso de acceso al laboratorio de forma remota

Este proceso es útil para los diferentes modos de operación; Formación, Investigación, Fabricación y expositivo.

- e) Se virtualizaron las cámaras WEB y se acoplaron al ambiente desarrollado

Para poder programar los espacios de sistemas de administración y operación, se virtualizaron las cámaras WEB por medio del programa libre Yawcam asignando una dirección IP fija.

f) Se diseñó un ambiente para la gestión de contenidos del proyecto

El diseño y el alojamiento se realizó en Google sites, con edición el lenguaje HTML para personalizar el ambiente, el ambiente tiene varios servicios:

- Servir de acceso a modos de operación diferentes a la enseñanza
- Medio de comunicación y divulgación
- Comunicación del sistema de reservas
- Artículos relacionados con los laboratorios

La página se puede consultar en la WEB, se ha actualizado a mayo de 2019. ³⁰

3.5.3. Definición de estructura administrativa prueba piloto

Sistema Reservas: Debido la necesidad de mantener control sobre el la disponibilidad de los equipos y brindar la posibilidad de escoger un periodo práctica remota a los estudiantes, se seleccionó como gestor de reservas al Google Calendar ³¹. Las ventajas son varias; el poder compartir con los estudiantes el acceso y sincronizar los horarios de Colombia y de España, llevar a la par el sistema de alertas al correo y identificación de usuarios por contraseña.

Para coordinar la reserva presencial y virtual, las sesiones de Zoho Meeting se establecieron con disponibilidad de tiempo suficiente para cada práctica, y el docente controlaba los accesos (ver Fig. 3.17).

³⁰Disponible en: <https://sites.google.com/a/ean.edu.co/laboratorios-hibridos-en-ingenieria-de-manufactura/>

³¹Google Calendar es una agenda y calendario electrónico desarrollado por Google. Permite sincronizarlo con los contactos de Gmail de manera que podamos invitarlos y compartir eventos.

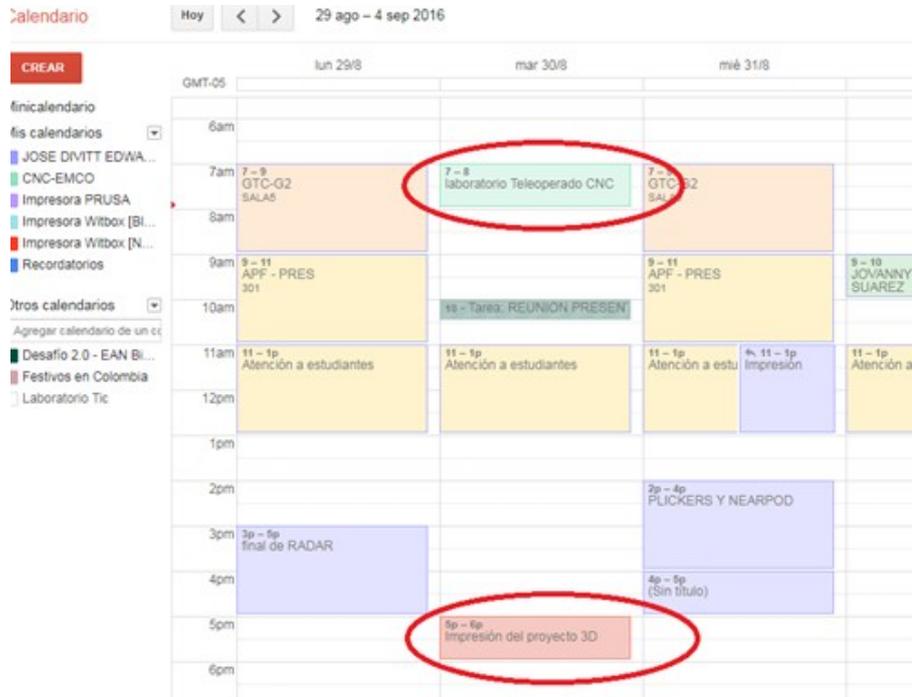


Figura 3.17: Sistemas de reservas
 Fuente: El autor con ayuda de Google Calendar®

Gestión del conocimiento: Los contenidos necesarios como las guías, los manuales, las rubricas y las plantillas de evaluación, se subieron a las plataformas disponibles:





Figura 3.18: Página WEB para la gestión de conocimiento

El ambiente desarrollado está compuesto por seis páginas adicionales. Con servicio RSS, Noticias, eventos próximos, encuestas y acceso resultados de las pruebas iniciales. El link de acceso lo pueden seguir desde la misma pagina ³². La estructura de esta pagina se puede ver en la Fig. 3.19.

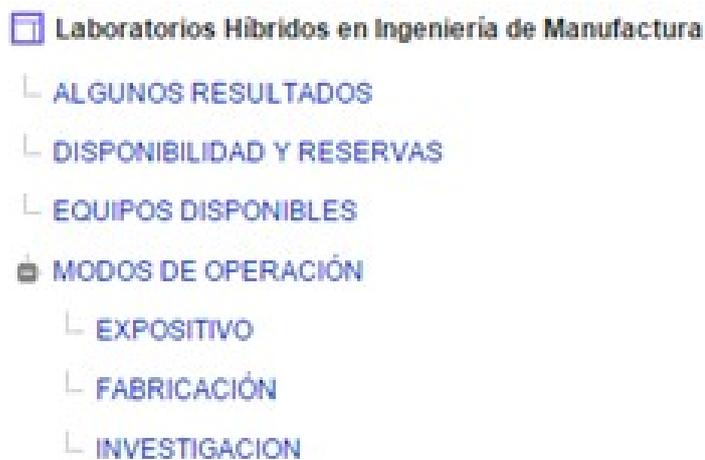


Figura 3.19: Estructura de la página WEB

La finalidad de este ambiente es de servir de comunicación, punto de contacto con otros servicios, independientemente del contexto formativo académico y gestión de contenidos.

Repositorios de Documentos Se utilizaron las plataformas *MoodleCloud* (CNC) y *Blackboard* (CNC e Impresión 3D), principalmente para los estudiantes virtuales, en el aula virtual

³² <https://sites.google.com/a/ean.edu.co/laboratorios-hibridos-en-ingenieria-de-manufactura/>

de la Unidad de Estudios EU y Una página WEB desarrollada en Google Sites® que sirve de visualización de los ejemplos previos.

Plataforma educativa: Se utilizó las misma de utilizada en la gestión de Documentos.

En resumen, la configuración básica de cada módulo realizada fue:

SMART1: Laboratorio de impresión 3D:- La impresora 3D: WITBOX + Prusa i3, Controlada con ordenador de mesa, con conexión a Internet directa. La estructura particularizada del sistemas se representa en la Fig. 3.20:

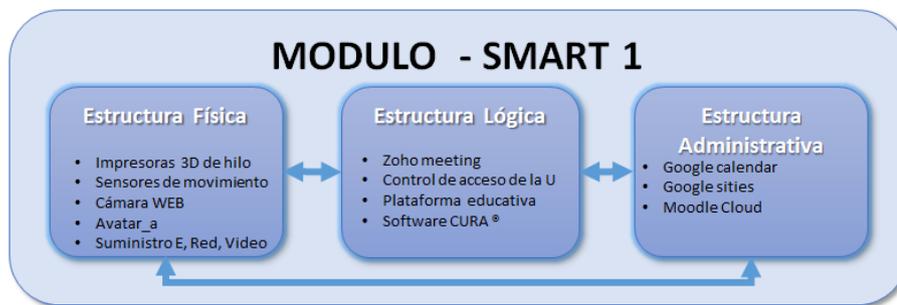


Figura 3.20: Estructura del módulo SMART1

El objetivo operativo de este módulo es acceder a las impresoras 3D para tele-operar y vigilar la impresión de 3D en procesos largos fuera de la Universidad. Además, se analiza los procesos de uso y la coordinación entre sistemas se tomaron las primeas impresiones a los estudiantes sobre su uso.

SMART2: Laboratorio de mecanizado CNC: - Equipo CNC –EMCO MILL55. Controlado por PC y acceso Wifi (externo). El uso dado a este módulo es de servir de apoyo a las experiencias de manufactura con la CNC. La estructura conceptual diseñada se puede observar en la Fig. 3.21.

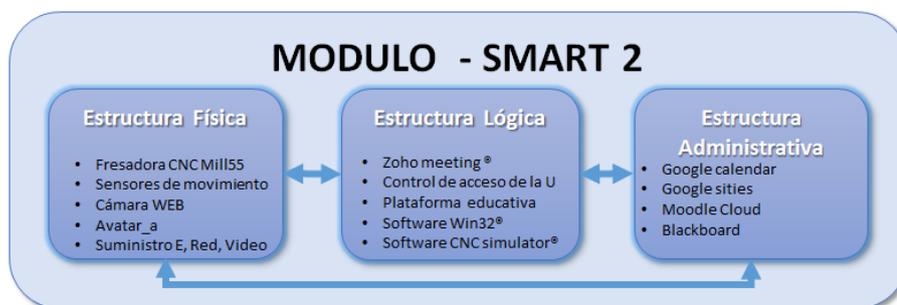


Figura 3.21: Estructura del módulo SMART2

3.6. Práctica en Prueba Piloto de Laboratorios Híbridos

El ejercicio experimental piloto se centró en evidenciar la respuesta de dos grupos estudiantes de ingeniería en modalidad presencial y virtual frente a los laboratorios híbridos en Ingeniería (mezcla de modalidades de laboratorio) ³³, y convencionales, para ello se realizaron cinco pruebas con diferentes equipos utilizados en manufactura en diferentes modos de operación y diferentes formas de acceso. Con el fin de determinar cómo influye en los estudiantes la tecnología en el proceso de enseñanza aprendizaje utilizando en el laboratorio, se utilizó el Modelo de Aceptación Tecnología MAT.

El modelo MAT (Abdullah y Ward, 2016) está compuesto de dos predictores primarios; la Utilidad Percibida PU y Percepción de Facilidad de Uso PFU, se obtuvieron los valores de las variables descriptoras asociadas a cada respuesta para establecer una metodología general de diseño de laboratorios híbridos y una evaluación cualitativa/cuantitativa de las evidencias del taller de mecanizado propuesto.

El Modelo de Aceptación Tecnológica MAT o (*Technology Acceptance Model*, TAM en inglés) (ver Fig. 3.22) es capaz de recoger información acerca de cómo los usuarios llegan a aceptar y utilizar una tecnología (Davis, Bagozzi, & Warshaw, 1989). El modelo de aceptación tecnológica MAT, tiene sus orígenes en el trabajo desarrollado por Davis (1989), el cual trabaja dos factores; en primer lugar, la Utilidad Percibida **UP** donde se señala que los estudiantes tienden a utilizar una herramienta tecnológica en la medida en que ellos creen que les ayudará a realizar mejor su trabajo o conocimiento de un concepto.

Y un segundo componente es la Percepción de la Facilidad de Uso **PFU** de la herramienta tecnológica desplegada, esto está en relación a las ventajas y la facilidad de uso ya que si es muy difícil utilizar la tecnología no se verá compensado realizar su manejo, aunque se sepa que si es útil.

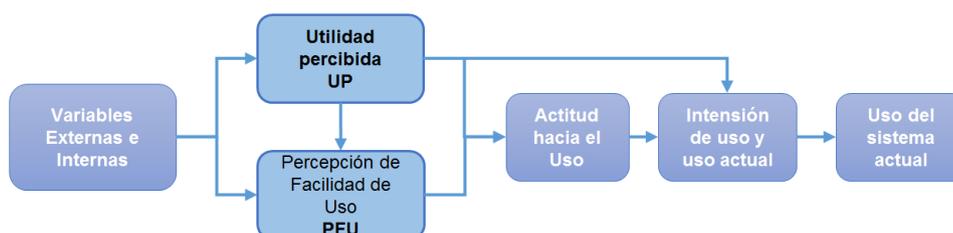


Figura 3.22: Modelo conceptual de MAT³⁴

Fuente: Turan (Turan, Tunç, y Zehir, 2015) y (Abdullah y Ward, 2016)

Para evaluar como el estudiante se enfrenta los laboratorios, y en particular a la combinación

³³Dependiendo del lugar del experimentador y la práctica se reconocen cuatro tipos; Hands–On, Remoto, Virtual Local y Virtual WEB

de ellos en diferentes modos de operación, se diseñó una serie de prácticas en el área de manufactura, aprovechando el desarrollo que se debe hacer para la formación de la metodología de diseño en ingeniería.

Para la elaboración de la experimentación se llevó el proceso de diseño en ingeniería que en general cumple cinco etapas:

- Definición de los requerimientos de manufactura
- Desarrollo de una propuesta conceptual
- Prueba y análisis [**laboratorio virtual local o en la nube**]
- Desarrollo de un diseño de detallado
- Construcción de un prototipo y ensayos
- Puesta en acción [**laboratorio presencial o laboratorio remoto**]
- Evaluación y validación.

3.6.1. Características de la población

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 La Mancha de España y la Universidad EAN de Colombia. Aprovechando las tecnologías CNC, Impresión 3D y de procesos de manufactura (Soldadura GMAW/SMAW) con que cuentan las instituciones.

Las características de las dos muestras de población se presentan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.11: Características de la muestra

	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, Impresión 3D, Soldadura, ensayo de tensión
Tipos de laboratorio	HO: <i>Hands-On</i> LVL: Virtual Local	LR: Laboratorio remoto LVL: Laboratorio Virtual Local HO: <i>Hands-On</i>

3.6.2. Pruebas desarrolladas

Las pruebas se desarrollaron en el transcurso del primer semestre de estancia doctoral, tenían varios objetivos: Consolidar las plataformas seleccionadas, identificar factores y riesgos, obtener los primeros informes de los estudiantes y evaluar las propuestas de implementación y medición de la literatura. Las pruebas fueron las siguientes:

Prueba 1. Impresión 3D–estudiantes de la EAN en laboratorio virtual y laboratorio remoto en equipos de la UCLM .

Prueba 2. Mecanizado CNC–estudiantes de la EAN en laboratorio virtual y laboratorio remoto en equipos de la UCLM .

Prueba 3. Ensayo de tensión–estudiantes de la EAN en laboratorio presencial en equipos de la EAN

Prueba 4. Mecanizado CNC–estudiantes de la UCLM en forma presencial en equipos de la UCLM

Prueba 5. Manufactura con soldadura – estudiantes de la EAN de forma presencial y tele–presencia en equipos de la EAN

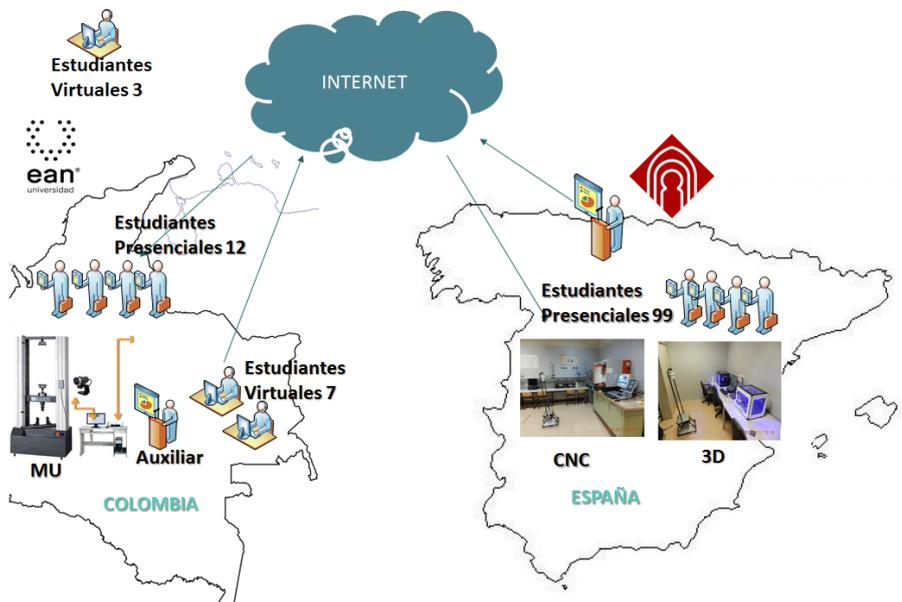


Figura 3.23: Visión general de las pruebas

PRUEBA 1–IMPRESIÓN 3D

La primera prueba se realizó con el grupo de estudiantes de la EAN (Colombia), consistió en la selección y acondicionamiento para impresión 3D de un objeto seleccionado por ellos y que se imprimiría en el laboratorio de impresión 3D de la UCLM–Toledo (España), con la impresora Witbox. El primer objetivo fue buscar o desarrollar un objeto en CAD con volumen en 3D, luego convertirlo o guardarlo a la terminación .stl, que luego importarlo a un software de rebanado, para ello se utilizó el software Cura [®]. Se verificaron los recorridos en la página de **Gcode Analyser** ³⁵. Ya en la ejecución los estudiantes se conectaron inicialmente al AVATAR.a ³⁶ y luego al PC de control de las impresoras para su impresión final. El esquema de la conexión se observa en la Fig. 3.24.

³⁵<http://gcode.ws/>

³⁶Estructura con diferentes servicios de hardware y software. Que sirve de ente para hacer tele-presencia.

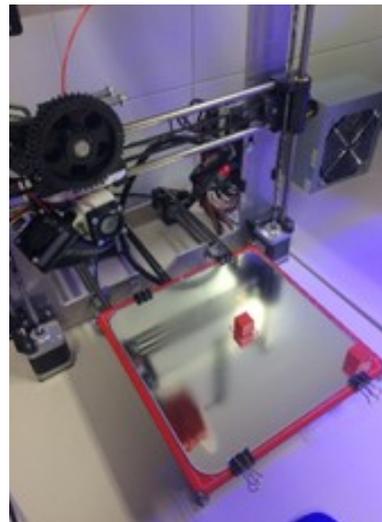
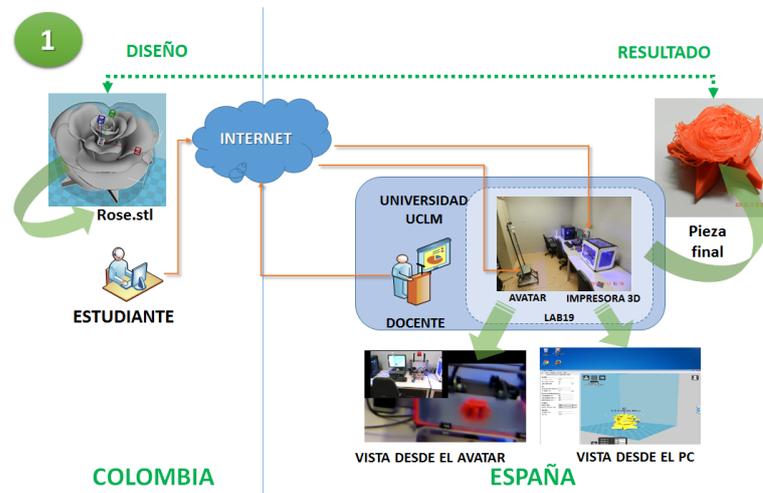


Figura 3.24: Prueba de impresión 3D en teleoperación

PRUEBA 2-MECANIZADO CNC-EAN

La segunda prueba se realizó con el grupo de estudiantes de la EAN, que consistió en el diseño de un mecanizado CNC en un bloque de madera. Se acordó un protocolo de práctica que terminaría con el mecanizado en el laboratorio de CNC-EMCO de la UCLM-Toledo. Inicialmente, definían los dígitos que se mecanizarían, se generarían archivos *.cnc, se importaría a un software de simulación, para ello se utilizó el software CNC Simulator®. Se verificaron los recorridos con el software. Ya en la ejecución, los estudiantes se conectaron inicialmente al AVATAR y luego al PC de control de la fresadora CNC-EMCO Mill55. El esquema de conexión se puede ver en la figura:

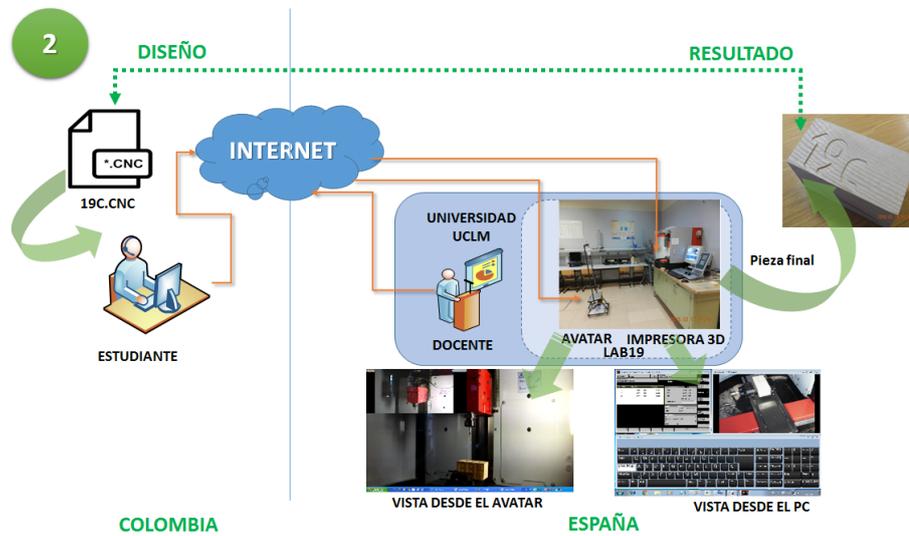


Figura 3.25: Prueba de mecanizado CNC–tele–operación

PRUEBA 3 – ENSAYO DE TENSIÓN

La tercera prueba se realizó con el grupo de estudiantes de la EAN de forma presencial, ésta consistió en el ensayo de tracción de una varilla corrugada en la Máquina Universal de la Universidad EAN–Bogotá. Inicialmente definían los parámetros de la prueba, para que luego se ingresaran en el software de control de la máquina Ibertest®. Terminada la ejecución se generaba el resultado en un archivo plano y la gráfica del ensayo. El esquema de la actividad se presenta en la Fig. 3.26.

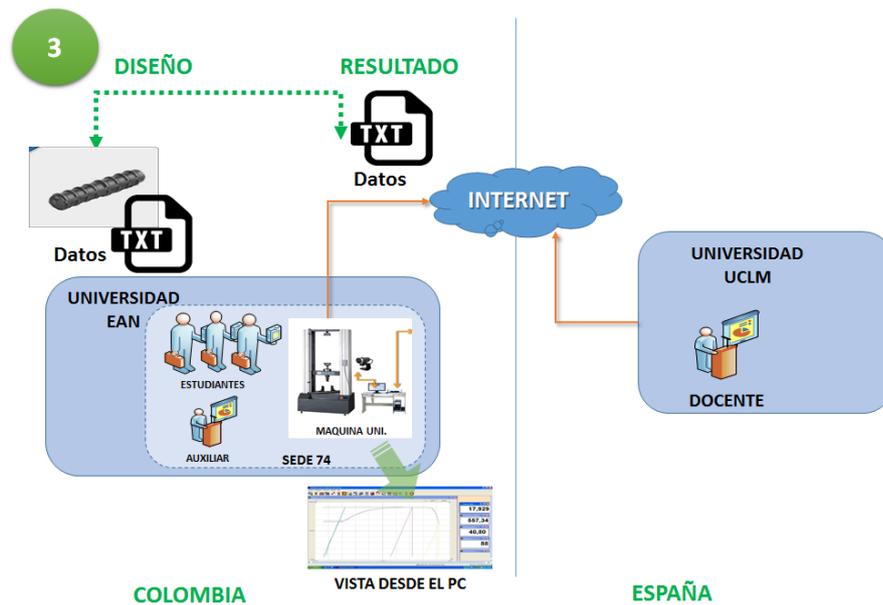


Figura 3.26: Prueba de Tensión–tele presencia.

PRUEBA 4–MECANIZADO CNC–UCLM

La cuarta prueba se realizó con el grupo de estudiantes de la UCLM, que consistió en el diseño de un mecanizado CNC en un bloque de madera. Se acordó un protocolo de práctica que terminaría con el mecanizado en el laboratorio de CNC–EMCO de la UCLM–Toledo. Inicialmente, definían los dígitos que se mecanizarían, luego generarían archivo .cnc, acto seguido se importaría a un software de simulación, para ello se utilizó el software CNC Simulator®. Se verificó los recorridos en con el software. Ya en la ejecución, los estudiantes se presentaron en grupos al laboratorio de forma presencial, se realizó una simulación inicial con el software de la máquina WinNC® y luego se ejecutó el mecanizado en la fresadora CNC–EMCO Mill55. El esquema de conexión se puede ver en la Fig. 3.27.

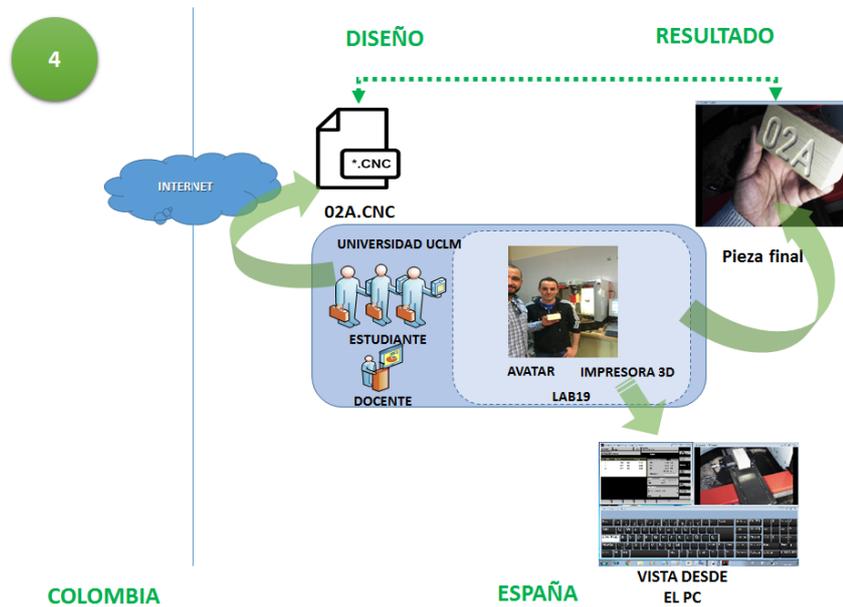


Figura 3.27: Prueba de mecanizado CNC-presencial.

PRUEBA 5-MANUFACTURA CON SOLDADURA ELÉCTRICA

La quinta prueba se realizó con el grupo de estudiantes de la EAN de forma presencial, ésta consistió en el desarrollo del proceso de manufactura con soldadura GMAW/SMAW de una pieza metálica con los equipos de la Universidad EAN-Bogotá. Inicialmente, los estudiantes recibían el plano CAD de la manufactura en SolidWorks® para que luego se desagregara en operaciones de proceso. Terminada la ejecución se verificaban las características básicas de los procesos involucrados. El esquema de la actividad se presenta en la Fig. 3.28:

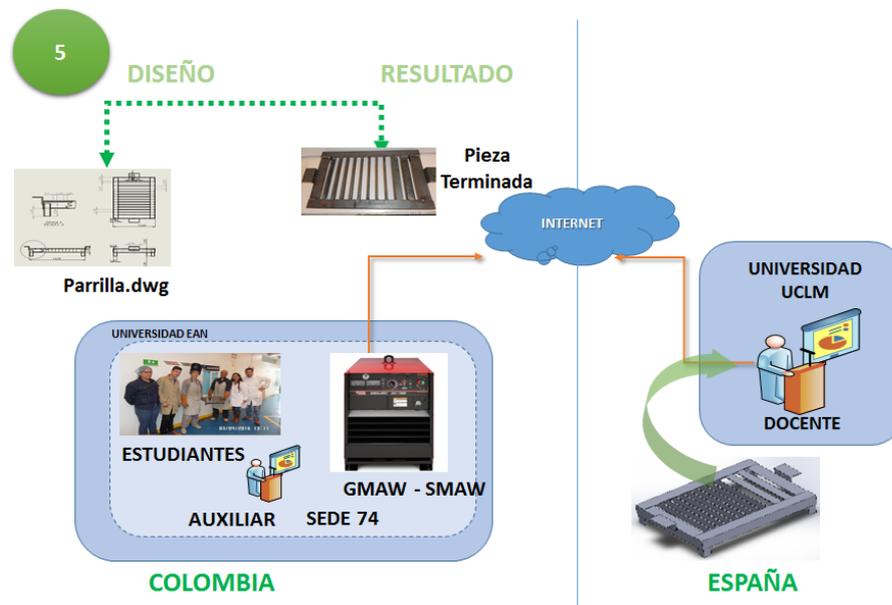


Figura 3.28: Prueba de manufactura utilizando soldadura-presencial

Un resumen de las herramientas tecnológicas utilizadas en cada proceso se presenta en la siguiente Tabla 3.12.

Tabla 3.12: Elementos y características de las tecnologías utilizadas

PROCESO	TECNOLOGÍA/HERRAMIENTA/SOFTWARE por LABORATORIO			
	Hands-On HO	Laboratorio Virtual local LVL	Laboratorio Virtual WEB LVN	Laboratorio Remoto LR
CNC	EMCO-CNC	CNCSIMULATOR	Intuwiz MicrotechStella Data	ZOHO Meeting
IMPRESIÓN 3D	WITBOX PRUSA	CURA	Gcode Analyser	ZOHO Meeting
SOLDADURA	GTAW/SMAW	SOLIDWORKS	Boehler (WEB) Millerwelds(WEB)	BLACKBOARD (Tele-presencia)
ENSAYO TENSIÓN	MAQUINA UNIVERSAL	SOLIDWORKS	Ensayo de tracción mecánica	Teamviewer

Para el validar las variables que de estudio se aplicó el cuestionario MAT, la evaluación de las prácticas cuantitativamente por estudiante. Las variables que se utilizan en la encuesta MAT³⁷ se denominaron variables descriptoras.

³⁷MAT Modelo de Aceptación Tecnológica

3.6.3. Análisis de usabilidad, utilidad en laboratorios híbridos

Basado en la investigación realizada por Tirado (R. Tirado, 2015), se realizó un primer análisis con el fin de identificar las diferencias entre las modalidades de los dos grupos de estudiantes frente a la facilidad de uso y la utilidad de los laboratorios híbridos. Y un segundo análisis para priorizar las variables descriptoras importantes utilizadas en la caracterización de los diferentes laboratorios utilizados. Para ello, se desarrolló una herramienta de recolección de información clasificada en tres ítems: primero, Utilidad Percibida – **UP** de los laboratorios en general. Segundo, Percepción de Facilidad de Uso de laboratorios VIRTUAL **PFU_v**, y tercero, Percepción de la Facilidad de Uso de laboratorios PRESENCIALES **PFU_p**. Las variables se evaluaron en escala de *Likert* donde 1 era un “nivel bajo aprobación” a 10 un “nivel alto de aprobación”.

Además, a cada pregunta se le asoció una variable descriptora del comportamiento, Las variables descriptoras son tomas del trabajo de Tirado (R. Tirado, 2015) y son básicamente los componentes y las características sensibles de los laboratorios. Las preguntas se muestran en el Anexo D, y la clasifican en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13: Clasificación de las variables descriptoras y las preguntas asociadas

Conv.	Variable descriptoras	ITEMS		
		Utilidad percibida del laboratorio (general como sistema) UP	Percepción de la facilidad de uso	
			(laboratorios VIRTUAL) - PFU_v	(laboratorio PRESENCIAL) - PFU_p
0	Laboratorio	Q0, Q4, Q4.1		
1	Comprensión teórica	Q1		
2	La práctica teórica más fácil	Q2, Q2.2		
3	Realismo		Q5_v	Q5_p
4	Autosuficiencia		Q6_v	Q6_p
5	Tiempo suficiente		Q7_v	Q7_p
6	Instrucciones		Q8_v	Q8_p
7	Facilidad de la interfaz		Q9_v	Q9_p
8	Facilidad de acceso		Q10_v	Q10_p

Luego de cada una de las pruebas desarrolladas, los estudiantes respondieron las preguntas en el instrumento de encuesta. Los datos capturados se analizaron en el programa *PASW Statistics V18* y se analizó la fiabilidad de la escala del instrumento utilizando el alfa de *Cronbach*, que para todo el instrumento fue de 0.89, es recomendable que este valor este por encima de 0,7.

3.6.3.1. Resultados Iniciales

El primer análisis describe como cada grupo (presencial UCLM y Virtual EAN) aprecia la utilidad presidida PU y Percepción de Facilidad de Uso PFU y de los laboratorios desarrollados de forma conjunta. A partir de los primeros resultados se descartaron los datos con baja

significancia (mayor de $p > 0.05$). Los datos generales se encuentran en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14: Resultados del instrumento aplicado a los dos grupos

PREGUNTA	UCLM		EAN		TOTAL		F	SIG.
	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica		
Q0	6,82	1,328	8,14	1,556	7,16	1,503	23,487	,000
Q1	7,78	1,250	9,20	,901	8,15	1,324	38,205	,000
Q2.1	8,19	1,283	8,69	1,430	8,32	1,335	3,605	,060
Q2.2	8,33	1,414	8,17	1,435	8,30	1,414	,236	,628
Q3	8,15	1,198	9,49	,742	8,50	1,243	38,101	,000
Q4	8,27	1,048	8,86	1,438	8,43	1,185	6,552	,012
Q4.1	7,68	1,427	8,78	1,347	7,89	1,473	11,432	,001
Q5_v	7,83	1,254	7,71	1,949	7,80	1,460	,157	,693
Q6_v	6,43	2,071	6,54	2,715	6,46	2,247	,060	,807
Q7_v	8,56	1,379	8,80	1,876	8,62	1,521	,666	,416
Q8_v	8,49	1,388	8,86	1,438	8,59	1,405	1,729	,191
Q9_v	7,89	1,308	8,86	1,556	8,14	1,436	12,797	,000
Q10_v	7,99	1,282	8,46	1,771	8,11	1,434	2,784	,098
Q5_p	7,79	1,198	9,09	1,311	8,03	1,317	21,190	,000
Q6_p	5,62	1,920	6,91	2,448	5,86	2,082	7,637	,007
Q7_p	8,21	1,655	9,04	1,186	8,37	1,607	5,168	,025
Q8_p	8,10	1,313	9,26	1,054	8,32	1,344	15,577	,000
Q9_p	7,41	1,370	9,04	1,022	7,72	1,456	28,727	,000
Q10_p	8,24	1,610	9,39	,988	8,46	1,575	10,724	,001

La respuesta con mayor valor para los estudiantes presenciales se relaciona con la importancia a la integración de laboratorios en diferentes modalidades para el aprovechamiento, pregunta Q4. Con un valor de 8,27. En tanto para los estudiantes virtuales, la importancia está referida a la pregunta Q3 que indaga por la claridad de las herramientas utilizadas en el laboratorio (documentos, equipos y material 3D y software). De otra forma, la pregunta con menor valor de la encuesta, para ambos grupos, es Q6_p que indaga por la autonomía del estudiante frente al uso de los equipos especialmente en la modalidad de Laboratorio presencial, con un 5,62 y para los estudiantes modalidad virtual y 6,91.

En términos generales los estudiantes virtuales dan una mayor puntuación a todas las preguntas frente a los estudiantes presencial. Particularmente, donde más coinciden en valores altos ambos grupos es en la integración de laboratorios, pregunta Q4. Y en la que más discrepan es en Q9 que analiza la facilidad del uso de los equipos.

Esta información es coherente cuando organizamos la tabla en variables descriptoras. Donde el valor más bajo corresponde a la autosuficiencia y/o autonomía del estudiante frente el laboratorio. Seguida del valor que se le da propiamente al uso del laboratorio con un 7,82. Además, la variable “la práctica teórica es más fácil” obtiene e valor más alto con un 8,5. Los valores de las variables descriptoras son mostrados en la tabla 3.15.

Tabla 3.15: Valores de las respuestas por variable descriptora

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

3.6.3.2. Utilidad percibida UP de los laboratorios

Analizando puntualmente el ítem de Utilidad Percibida PU, el cual se examina con las preguntas Q0, Q1, Q2.1, Q2.2, Q3, Q4, Q4.1. Las dos preguntas con una baja significancia la Q2.1 y Q2.2 corresponden a si los laboratorios presencial y virtual hacen más fácil el entendimiento teórico-práctico.

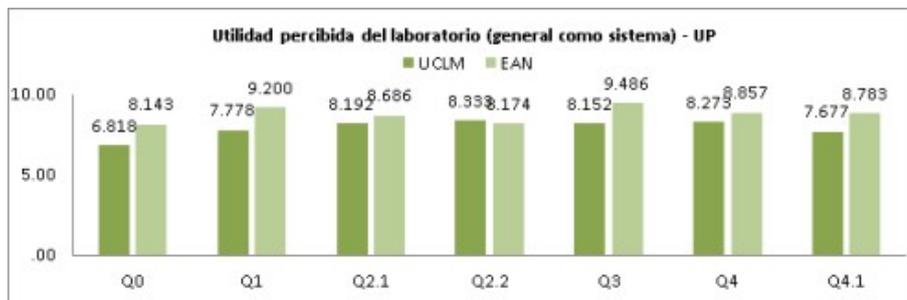


Figura 3.29: Resultados de utilidad Percibida

3.6.3.3. Percepción de la facilidad de uso laboratorios virtuales

Este ítem tuvo muchas preguntas poco significativas. La única pregunta de este ítem que respondieron ambos grupos de forma explicativa fue la Q9_v en relación con el uso fácil de la interfaz utilizada en el proceso de práctica.

Aunque la pregunta Q6_v, tiene un grado de significancia bajo esta refuerza la importancia que los estudiantes dan a la autonomía en el desarrollo del experimento así sea virtual.

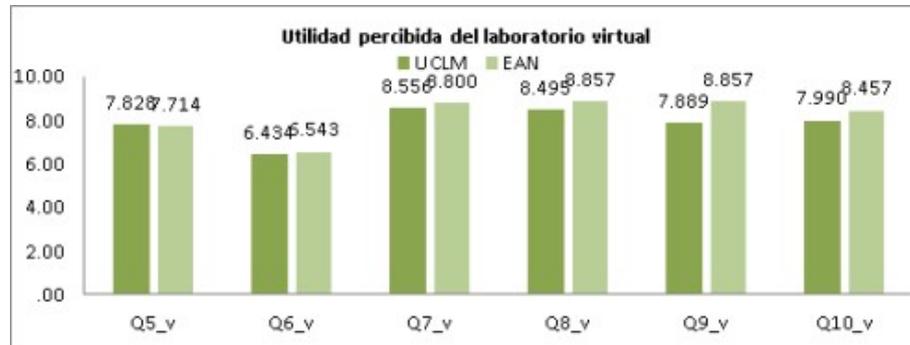


Figura 3.30: Resultados PFU–virtual

3.6.3.4. Percepción de la facilidad de uso laboratorio PRESENCIAL

Al contrario del ítem anterior, todos los ítems de la percepción de la facilidad de uso PFU_p, de los laboratorios presenciales tuvieron una significancia alta. Destacando con el nivel más alto de calificación en ambas modalidades a la pregunta Q10, que examina por el acceso a los laboratorios de forma fácil.

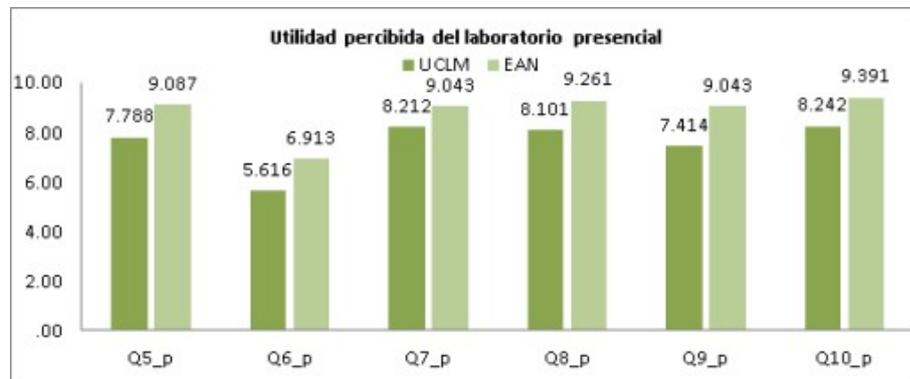


Figura 3.31: Resultados PFU–presencial

De forma general para la mezcla de laboratorios en ingeniería de procesos de manufactura, las variables mejor calificadas son: es la comprensión teórica que se puede alcanzar y las variables más bajas son la autosuficiencia y el realismo.

Un análisis general de los tres ítem evidencia que los estudiantes de modalidad virtual perciben mucho mejor el uso de la mezcla de laboratorios que los estudiantes de formación presencial. Para los estudiantes presenciales el principal valor de los laboratorios está en la utilidad percibida, mientras que el estudiante virtual le da un valor importante la facilidad de uso que puede tener al hacer laboratorios presenciales.

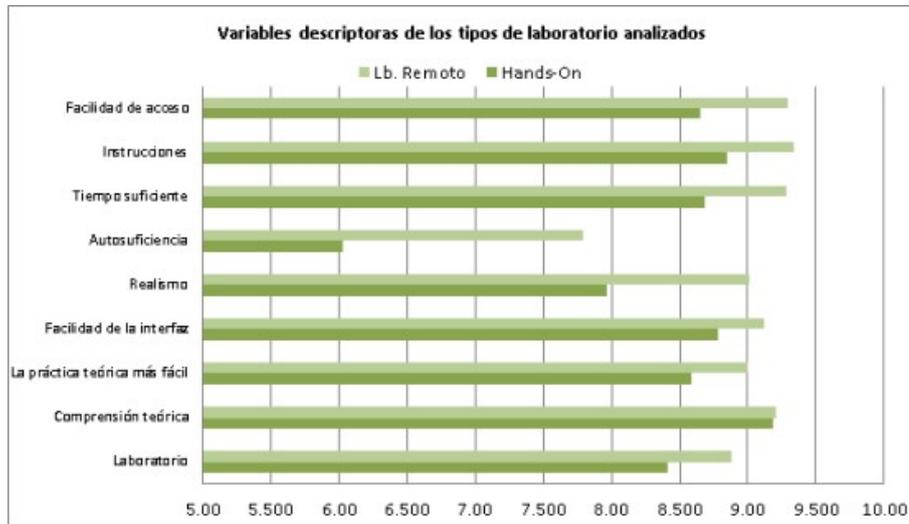


Figura 3.32: Variables descriptoras de los laboratorios remoto y presencial

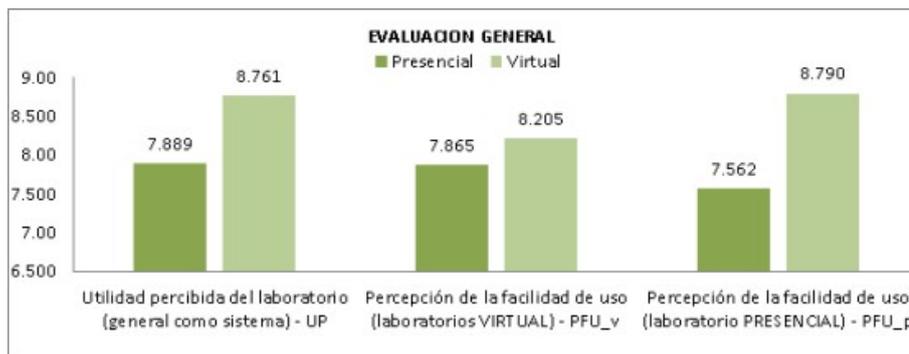


Figura 3.33: Evaluación general del modelo MAT

3.6.3.5. Conclusiones del estudio piloto

Por medio de esta prueba piloto se observó cómo los estudiantes de dos modalidades de formación (presencial y virtual) percibían la utilidad y la facilidad de uso de la combinación de laboratorios; *Hands-On*, Remoto y virtual (local y en la nube) en prácticas en Ingeniería de Manufactura. Además, se analizaron las variables descriptoras con el fin de visualizar las características fundamentales para establecer una metodología de diseño de laboratorios híbridos. Entre los principales hallazgos cabe resaltar que los estudiantes de modalidad virtual califican con el mayor valor a la propuesta de combinar diferentes tipos de laboratorios que los estudiantes en modalidad presencial.

Del análisis de las variables descriptoras se destaca la necesidad de brindar mayor autonomía y trabajo autónomo en ambas modalidades de laboratorio virtual y presencial, y formalizar

el proceso de laboratorio en las unidades de estudio con el fin de evidenciar la pertinencia en el campo de la formación (ver Tabla 3.16). Además los estudiantes, dan como variable bien valorizada por ambos grupos, “la comprensión” teórica que se puede alcanzar de una temática en manufactura al realizar diferentes prácticas con diferentes modalidades y grados de profundidad.

Tabla 3.16: Resumen de la prueba piloto

A favor	A mejorar
<ul style="list-style-type: none"> · Se realizaron diferentes tipos de prácticas técnicas con una infraestructura básica. · Se determinaron los protocolos de uso y gestión sobre los diferentes sistemas de Software y hardware. · Se determinaron los problemas más sensibles para la repetición de estos módulos en otros procesos: características técnicas, usabilidad, y recursos. · Se corrobora la utilidad de las estructuras propuestas (lógica, física y administrativa). · Se establecieron los componentes más útiles y el papel que realiza el Avatar en la experiencia de laboratorios. · Se observó un alto grado de aceptación por este tipo de prácticas. · Se determinaron los elementos funcionales clave de los módulos SMART y su posible parametrización-. 	<ul style="list-style-type: none"> · Los tiempos de respuesta son muy largos y los mecanismos de acceso poco estables · Es importante estudiar en detalle la influencia del montaje y del papel del auxiliar · Se debe gestionar mejor el uso de la cámara IP y la WEB (no tiene un administrador específico) · No se sabe con claridad los errores de compilación cuando se utilizan otros programas de edición · Se observa la necesidad de involucrar otras variables como; el rol del docente y la efectividad de la práctica. · Se debe profundizar en la propuesta pedagógica tanto en las estrategias metodológicas como en la evaluación de las competencias. · Se requieren otros instrumentos para verificar la efectividad de los laboratorios.

Siguiendo la metodología propuesta en Subsección 3.3.2 y con el fin de hacer el modelo D.SMART para el diseño de experiencias de laboratorio, más robusto y eficiente, se desarrolló una actividad experimental con estudiantes de la Universidad EAN en formación en Ingeniería de Manufactura. Y paralelamente se indagó con un instrumento de recolección de datos a toda la población de los estudiantes de ingeniería.

La actividad experimental se realizó en un periodo delimitado, comparando los diferentes tipos de laboratorios; algunos de ellos ya diseñados y otros nuevos incluyendo los híbridos LH, con el objetivo de sortear las falencias e interrogantes planteados luego de la prueba piloto y proponer un sistema D.SMART integral que pueda servir de generador de más experiencias de laboratorio. Este sistema se verá descrito en el Capítulo 4.

3.7. Uso LH en prácticas de Ingeniería de Manufactura

Para el abordaje de la investigación y el cumplimiento de los objetivos aplicando laboratorios híbridos LH, se desarrolló un caso de estudio aplicado, incorporado modelos de evaluación de competencias y efectividad de las prácticas de laboratorio. Para ello se determinaron las características tanto de la práctica como la de los estudiantes participantes.

3.7.1. Características de la práctica en ingeniería de manufactura

Las prácticas seleccionadas correspondían a algunas de las más comunes que se utilizan en la formación en Ingeniería de Manufactura ³⁸ y que buscan desarrollar las competencias específicas del Ingeniero de Manufactura. En total 22 prácticas y 13 unidades de estudio.

Tabla 3.17: Características de caso de estudio

Prácticas de laboratorios	Número de prácticas	Número de unidades de estudio UE
Convencionales básicos: LH, LVL, LVN, y LR	12	7
Híbridos <i>Flipped</i>	4	1
Híbridos <i>LaaS</i>	6	5
TOTAL	23	13

Selección de equipo/planta: se utilizaron diferentes niveles de tecnología en las prácticas de laboratorio. Las de nivel básico fueron las más utilizadas con un 61 % de mismas, de nivel alto 26 % y solo se realizaron 13 % prácticas de laboratorio con tecnología de nivel avanzado.

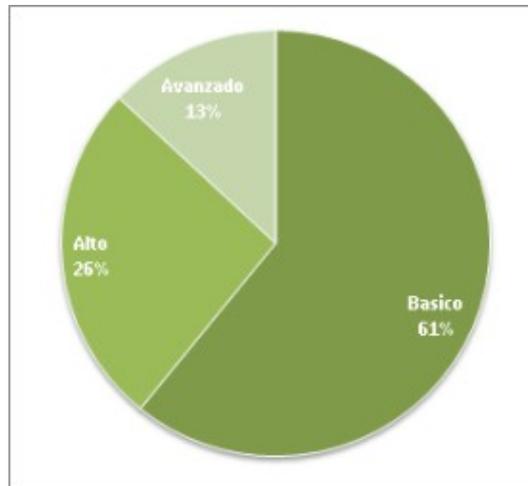


Figura 3.34: Tipo de nivel tecnológico en las prácticas del caso de estudio
Fuente: El autor con ayuda de los auxiliares de laboratorio EAN - UN ³⁹

Las competencias específicas ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology Inc y ABET, 2016): para Ingeniería de Manufactura que fueron expuestas en las UE para

³⁸La formulación de las prácticas en laboratorio esta estrechamente relacionadas con el area del conocimiento, el modelo pedagógico y los estándares de las asociaciones de profesionales.

cada una de las prácticas de laboratorio que se estudiaron en el caso de estudio, tuvieron la siguiente distribución:

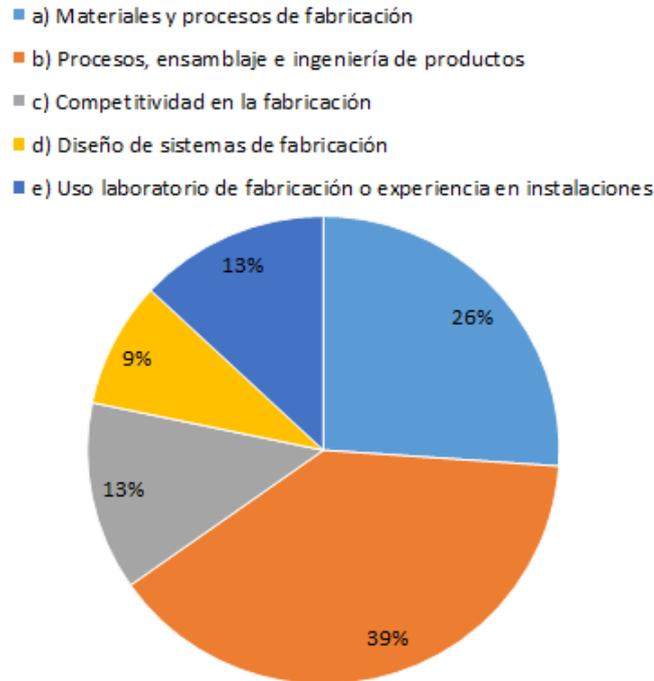


Figura 3.35: Competencias ABET en las prácticas del caso de estudio

Fuente: El autor con base en las competencias Syllabus de las UE - UEAN y UCLM

3.7.2. Características de la práctica en Ingeniería de Manufactura

Para describir las características de la población que participaría en la actividad de experiencias de laboratorio, se determinaron algunas variables de control como la edad, el semestre que cursa, modalidad de estudio y el estilo de aprendizaje. Estos datos fueron tomados e indagados por medio de un instrumento virtual aplicado al principio del periodo de experimentación. Ver anexo A

Edad: Diferentes autores han estudiado el efecto que tiene la edad en la aceptación y desempeño que los estudiantes en el uso de laboratorios (Magdalena, 2015). La población que participa en dar respuesta a este instrumento tiene el siguiente comportamiento respecto a su la edad.

Semestre: El nivel alcanzado en el desarrollo de competencias por parte de los estudiantes, tanto generales como específicas está estrechamente relacionado con el semestre cursado (Magdalena, 2015).

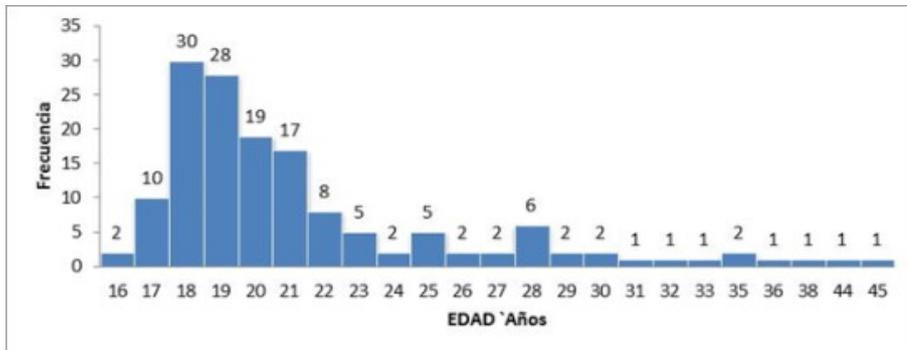


Figura 3.36: Edad de la población

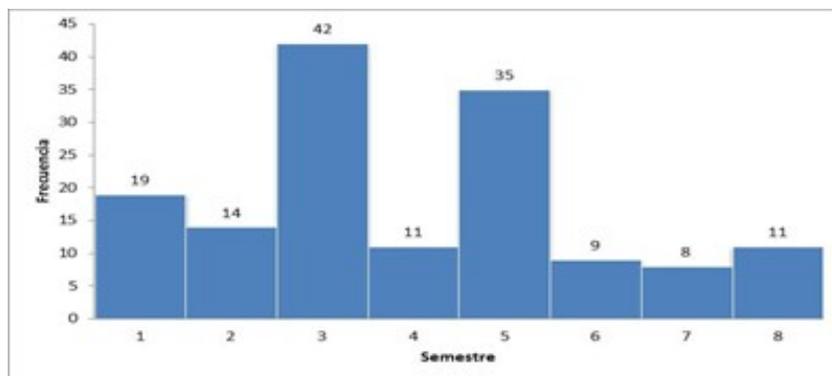


Figura 3.37: Comportamiento del semestre que cursa el estudiante

Modalidad: Hace referencia a el modelo educacional base en el cual está inscrito el estudiante. La distribución de este análisis correspondió a presencial 91 % y virtual 9 % virtual.

Estilos de aprendizaje de los estudiantes: Muchos de los estudios que evalúan el nivel de efectividad de las prácticas de laboratorio (Ossandón Núñez y Castillo Ochoa, 2006) han tenido en cuenta el estilo de aprendizaje de los estudiantes, ya este variable condiciona fuertemente su aceptación y motivación en la experiencia de laboratorios (Kolb, 2000) (Figueroa y Vigliecca, 2006).

Se utilizó para este estudio el resultado de la evaluación de primera semana que la se aplica en los estudiantes de ingreso a primer semestre, esto con el fin de conocer el estilo de aprendizaje presente en los al momento de iniciar su carrera.

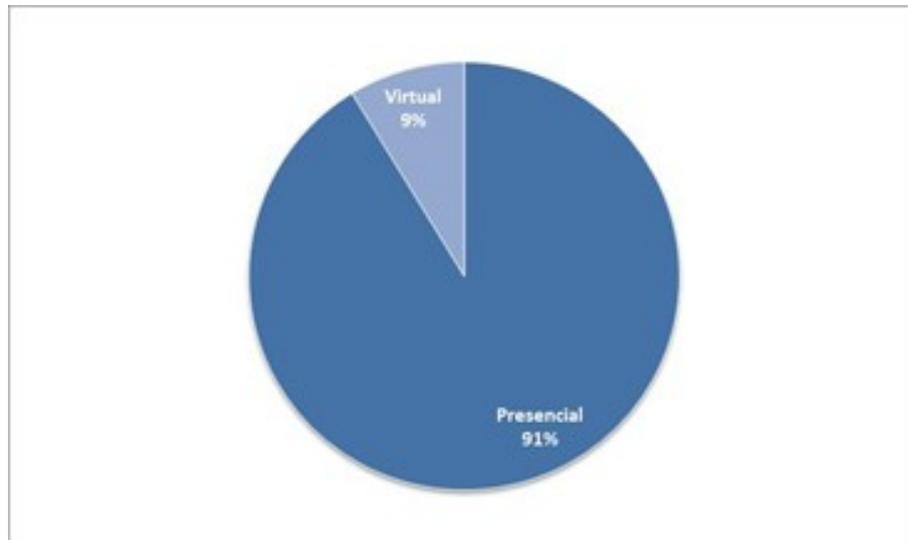


Figura 3.38: Modalidad de los estudiante del estudio

Los cuatro estilos de aprendizaje básicos hacen parte de la teoría de *Ned Herrmann*⁴¹ (Herrmann, 1995) y que se aplican a ingeniería son: Experto, Estratega, Organizador y Comunicador. La gráfica muestra otros estilos fruto de las combinaciones evidenciadas en los estudiantes.

3.7.3. Análisis pre y pos asignaturas con laboratorios

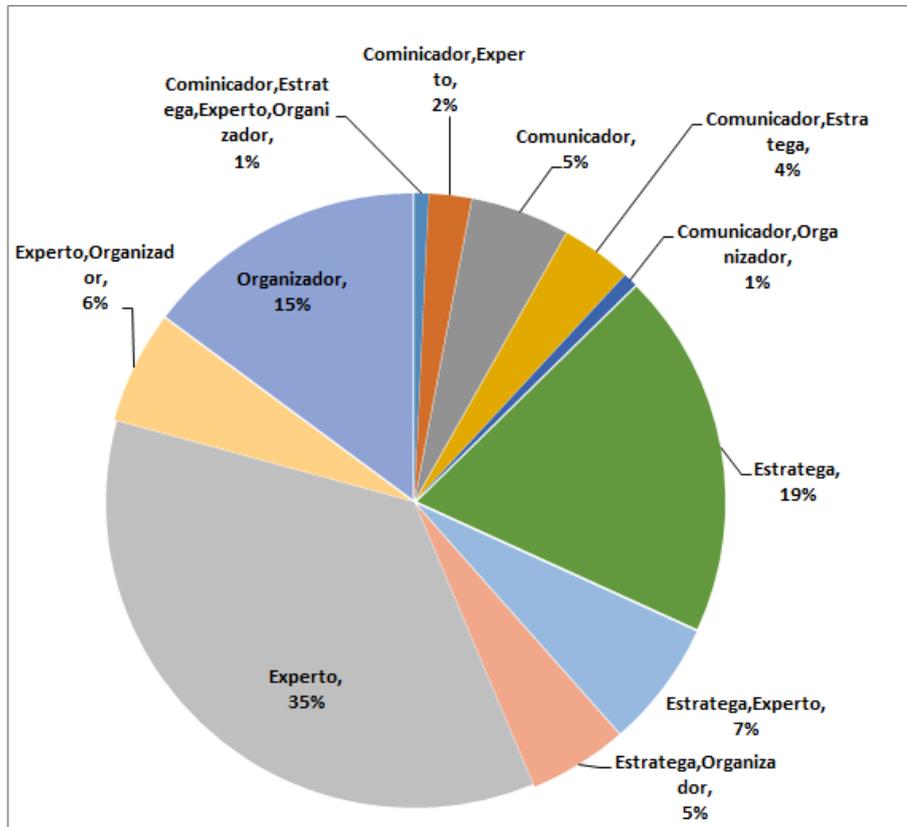
El objetivo de este paso es conocer las expectativas y preferencias de los estudiantes para hacer una práctica de laboratorio antes de iniciarla y al terminar la unidad de estudios (semestre). Para ello, se construyeron dos instrumentos compuestos de cuatro partes (los instrumentos se encuentran anexo A (Antes de iniciar semestre) y B (Al terminar las clases del semestre).

1. Datos generales del estudiante (cuatro preguntas)
2. Preferencia en el rol posible en la práctica de laboratorio (cinco preguntas)
3. Tipo de laboratorio esperado (cinco preguntas)
4. Actitud hacia la experimentación (11 preguntas)

Evaluación al inicio del curso

La encuesta la respondieron 149 estudiantes en un tiempo de dos semanas al inicio del periodo académico. La forma de envío fue por medios electrónicos al correo institucional del estudiante. Las características de los estudiantes que participaron es esta primera muestra

⁴¹William Edward “Ned” Herrmann (1922–1999) se interesó en clasificar los métodos y dominancias cerebrales de las personas y la aplicación de este conocimiento para encauzar los roles personales y profesionales de las personas



Fuente: El autor con base en encuesta de primera semana.⁴⁰

fueron:

Tabla 3.18: Característica de la muestra inicial

Características	
Promedio de Edad del estudiante	21.47 años
Edad mínima	16 años
Edad máxima	45 años
Semestre 1-8	3.95

El valor de consistencia interna para los instrumentos inicial y final fue alfa de *Cronbach* 0.785 de los 21 elementos presentados. La escala *Likert* aplicada para las encuesta, se basó en respuesta de 5 niveles de valor, donde 1 era el menos preferido y el 5 es el tipo más preferido.

3.7.3.1. Rol del estudiante preferido en una práctica de laboratorio

La segunda parte de la herramienta, indaga por la preferencia de los estudiantes frente a su rol en la práctica (observador, diseñador del experimento, controlador de variables, tomar los datos y analizador de datos). El resultado de esta pregunta se presenta en la Figura 3.39

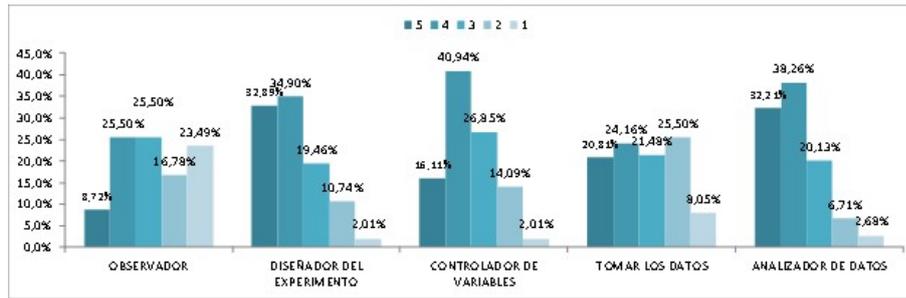


Figura 3.39: Rol del estudiante en una experiencia de laboratorio.

Para hacer una mejor lectura de los roles, el valor dado a la preferencia se clasificó en dos grupos, así: rol calificado 5 y 4 se agrupo como claramente preferido. Y 3, 2 y 1 se agrupo como no preferido. Para poder determinar si existían diferencias entre los roles se realizó una prueba T para muestras relacionadas.

Tabla 3.19: Comparación entre los roles preferidos y los no preferidos

Significancia (bilateral)	Observador	Diseñador del experimento	Controlador de variables	Tomar los datos	Analizador de datos
Observador		0.000	0.032	0.032	0.000
Diseñador del experimento			0.029	0.000	0.595
Controlador de variables				0.016	0.008
Tomar los datos					0.000
Analizador de datos					

Hallazgos–Rol estudiante

- Los roles ‘Analizador de datos’ y ‘Diseñador del experimento’, son claramente diferentes al resto de roles. Los valores de aceptación para estos dos tipos de roles son significativamente mayor que para los demás.
- Inicialmente, los roles mejor calificados son: controlador de variables, diseñador del experimento y analizador de datos, ver Figura 2.14. Y los que tienen poca aceptación, son el rol de ‘Observador’ y el que rol ‘Toma los datos del experimento’.

- Ningún tipo rol de los estudiados obtuvo una preferencia clara para el estudiante (selección 5 como la más preferida) los roles que tuvieron la mayor aceptación fueron; ‘diseñador del experimento’ con 32,89 % y analizador de datos 32.21 %. Una observación sobre los roles específicos se observa que el comportamiento entre el más y el menos deseado, rol ‘Observador’ tiene un comportamiento diferente al resto de roles.
- El promedio de las edades de los estudiantes es 21.5 años, valor que se utilizó para dividir el grupo en dos muestras uno denominado jóvenes que va de 16 a 21.5 años y el grupo denominado mayores de más de 21.5 años.

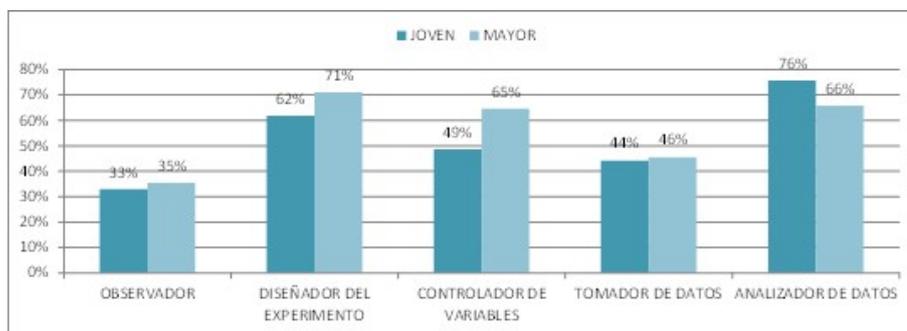


Figura 3.40: Preferencia de rol dependiendo el grupo de edad

- Los roles con menor divergencia son ‘el tomador de datos’ y ‘controlador de variables’, con una diferencia entre los preferidos y no preferidos de 10 % y 9 % respectivamente.

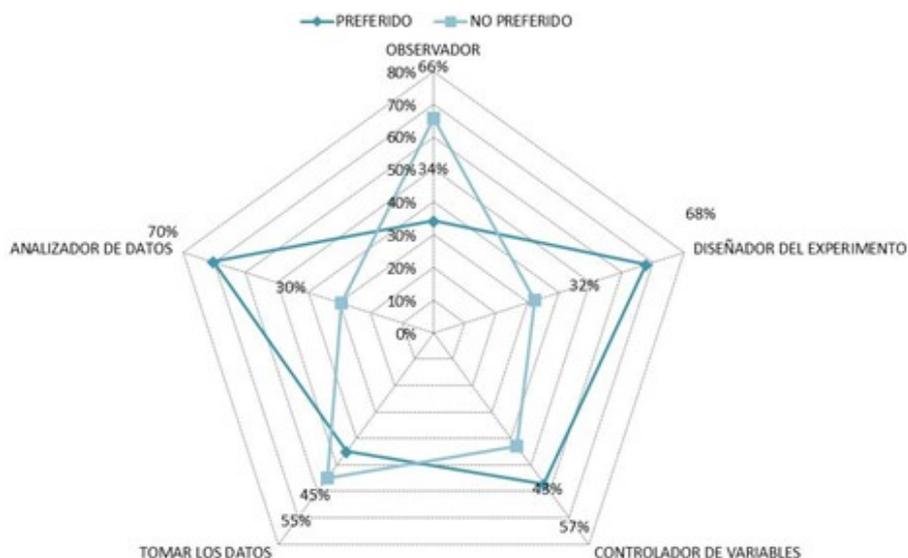


Figura 3.41: Roles preferidos y no Preferidos

3.7.3.2. Tipo de laboratorio preferido en una práctica de laboratorio

La tercera parte de la herramienta, indaga por la preferencia de los estudiantes a los cinco tipos de laboratorio que se usan en ingeniería, cuatro convencionales y el tipo híbrido (L. Presencial, L. Virtual Local, L. Remoto, L. On-Line e L. Híbridos). Los resultados se presentan en la Figura 3.42.

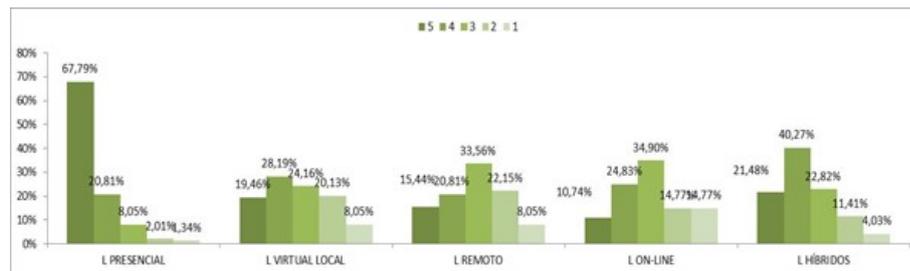


Figura 3.42: Tipos de laboratorios preferidos y no Preferidos

Para hacer una mejor comparación de los tipos de laboratorio se realizó una clasificación de tal forma que los laboratorios calificados con 5 y 4 se agrupan en laboratorios preferidos y los calificados de 3 a 1 como poco preferidos. Por medio de la *prueba T* para muestras relacionadas se compararon los grupos. Ver Figura 3.43.

Tabla 3.20: Comparación entre tipos de laboratorio

Significancia (bilateral)	L presencial	L virtual local	L remoto	L on-line	L híbridos
L presencial		0.000	0.000	0.000	0.000
L virtual local			0.002	0.006	0.007
L remoto				0.858	0.000
L on-line					0.000
L híbridos					

Hallazgos–Tipo de laboratorio

- Existe una significancia apreciable entre los tipos de laboratorios evaluados a excepción de los laboratorios Virtual en la nube LVN y Laboratorio Remoto LR. Estos dos laboratorios son diferentes a los demás pero parecidos entre ellos.
- El tipo de laboratorio más preferido por los estudiantes de ingeniería fue el laboratorio presencial, el 67,79 %, esto es que 101 estudiantes calificó este tipo como el más preferido (calificación 5).
- Como segundo laboratorio preferido de ubica el Laboratorio Híbrido LH , la diferencia entre los que lo prefieren y los que no es de 24 %. El laboratorio virtual local LVL tiene

una puntuación muy cerca solamente entre los que lo prefieren y los que no es de 4%, mientras los menos preferidos está el On-line y el Laboratorio Remoto.

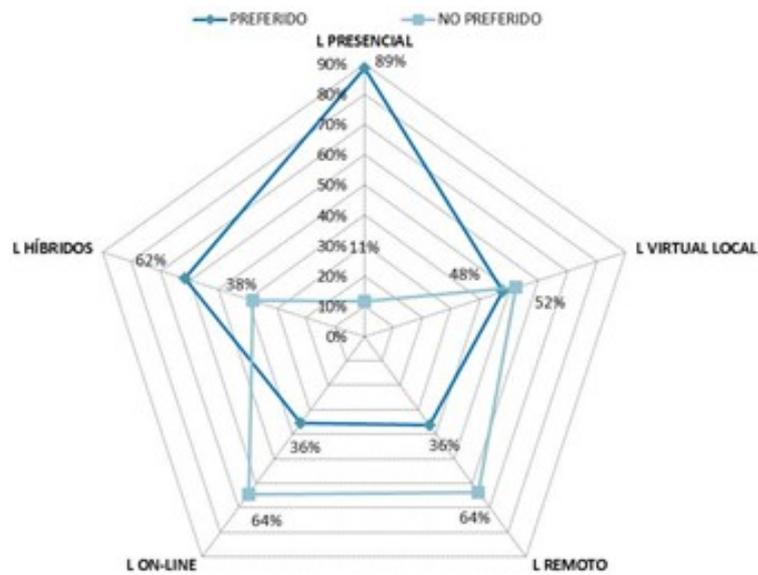


Figura 3.43: Laboratorios preferidos y no preferidos

3.7.3.3. Actitud hacia la experimentación

Basado en la investigación propuesta de Ji Y Son (2016), sobre la medición de las actitudes frente a temas STEM con el uso de laboratorios, se tomó la medición de 8 categorías o aspectos. Por medio de preguntas de calificación se buscó determinar “*Que tan satisfecho se siente como estudiante frente a cada una de los aspectos indagados*” en el área de la Ingeniería de Manufactura. Las categorías (dimensiones) son:

1. Todo la carrera (Actitud frente a la carrera)
2. Dificultad para resolver problemas
3. Esfuerzo de resolución de problemas
4. Estrategias de resolución de problemas
5. Conexiones conceptuales
6. Conexiones del mundo real
7. Razonamiento
8. Disfrute

Se adicionaron 3 categorías:

9. Importancia de la Experimentación
10. Gusto por la experimentación
11. ”Trabajo en equipo”

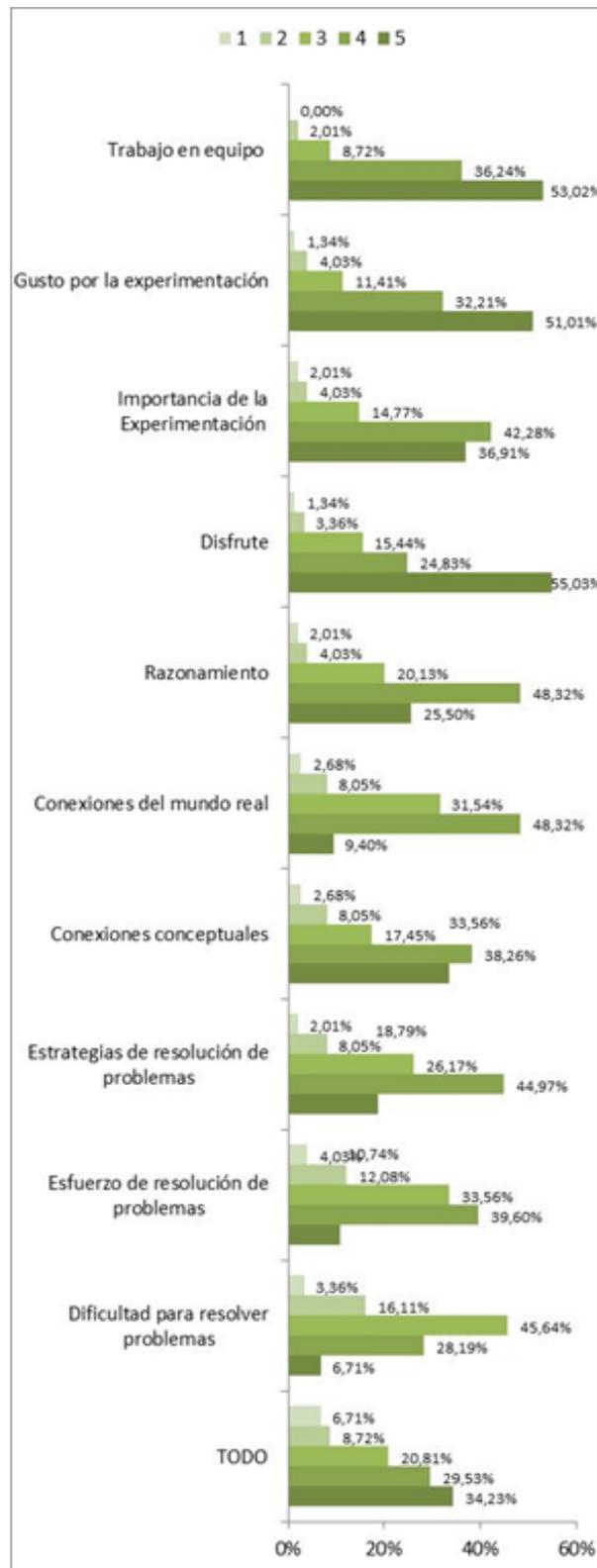


Figura 3.44: Actitud hacia la experimentación

Como parte de un primer análisis se observa que las categorías más valoradas se encuentran: Disfrute 55,03%, Trabajo en equipo 53,02 y gusto por la experimentación.

Hallazgos–Actitud

- La mayoría de los estudiantes se sienten satisfechos con el trabajo en grupo que se hace en el desarrollo de las actividades del curso, la experimentación y la importancia que se le da a la experimentación.
- Las puntuaciones más bajas se en la comprensión que se tiene la dificultad la resolución de los problemas por medio de otras ayudas diferentes a los laboratorios.
- La brecha más corta de los aspectos indagados sobre la actitud, es el “esfuerzo que se pone en la solución de problemas”.

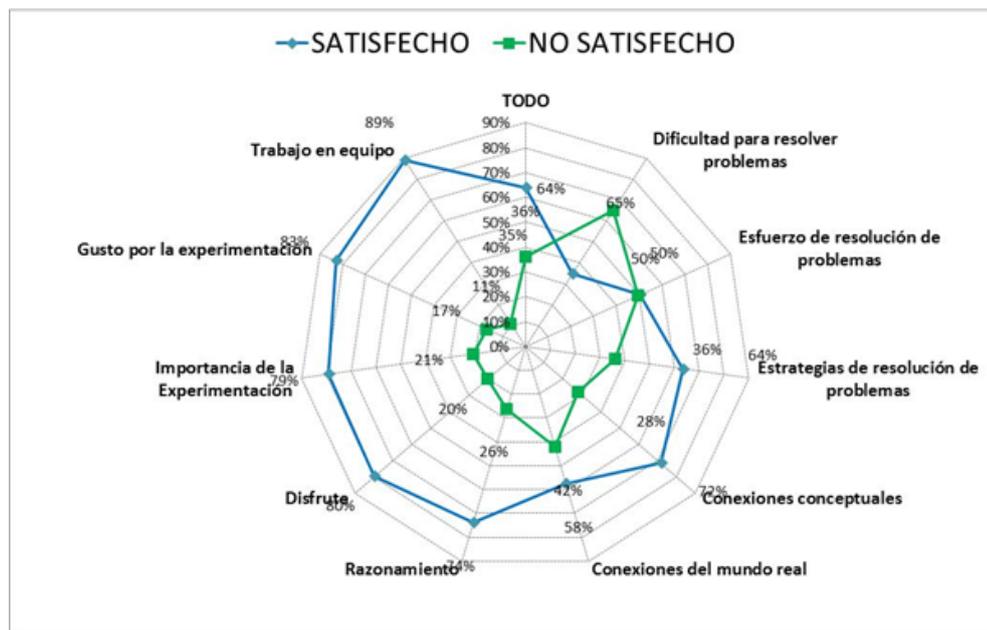


Figura 3.45: Actitud frente a los laboratorios

Resumen:⁴² Los estudiantes quieren tener el rol de los controladores de variables o los analizadores de datos en las prácticas de laboratorio. Además prefieren las prácticas presenciales HO claramente seguido las prácticas en laboratorios híbridos LH. Los estudiantes indagados

⁴²De los resultados de la aplicación del instrumento al inicio del semestre. Es de mencionar que no se han realizado de manera formal prácticas de laboratorio híbridos en el grupo de personas que participan en el caso de estudio.

tienen buena actitud frente al trabajo en equipo, muy poca frente a resolver problemas fuera de los laboratorios y su actitud es casi indiferente frente a la Ingeniería de Manufactura.

3.8. Aplicación de prácticas en laboratorios híbridos LH1 a LH6

Luego del diagnóstico de los estudiantes sobre las prácticas de laboratorio controladas, su rol en ellas y su actitud frente a la formación STEM (Inicio del semestre), la investigación continúa realizando prácticas reales con estudiantes los dos grandes grupos de laboratorios;

Básicos convencionales: Son los presenciales HO y Simulados LVL., trabajados tradicionalmente con estudiantes en formación en áreas técnicas. Además se consideran en este grupo, los laboratorios *Online* LVN, y los remotos LR ya que son del conocimiento de los estudiantes en las áreas que experimentan. Este grupo es un grupo de control.

y

Laboratorios híbridos: Este grupo está compuesto por los laboratorios tipo *LaaS* y sus tipologías LH1 a LH6 (estos son denominados SMART). Cada tipología involucra de forma intencional componentes funcionales de una práctica de laboratorio emparejados de los anteriores. Además se analizan en este grupo los laboratorios híbridos tipo *Flipped*. Este grupo es el grupo de tratamiento.

3.8.1. Objetivos de la experimentación: Convencionales Vs Híbridos

El objetivo principal de la propuesta experimental está en evidenciar las diferencias en el uso y la efectividad de los módulos SMART (laboratorios híbridos) frente a los laboratorios tradicionales, en el campo de Ingeniería de Manufactura cumpliendo con sus objetivos formativos.

Otros objetivos:

- Aumentar la eficacia de los procesos enseñanza–aprendizaje
- Motivar al estudiante a realizar prácticas de laboratorio complejas y pertinentes
- Aumentar el uso de los equipos y sistemas de laboratorio
- Facilitar el acceso a las prácticas de laboratorio debido a las condiciones de los usuarios
- Disminuir costos de operación
- Facilitar equipos a otras actividades e instituciones
- Desarrollar nuevas prácticas docentes y motivar su uso

- Desarrollar equipos y sistemas de apoyo a las estructuras del laboratorio
- Integrar experiencias con otras actividades de formación
- Tener una metodología de desarrollo de prácticas de laboratorio estandarizada

3.8.2. Competencias a desarrollar para Ingeniería de Manufactura

Con la experimentación se busca desarrollar dos tipos de competencias en ingeniería: las generales por medio del desempeño al interior de la práctica (Por ejemplo; el trabajo en equipo) y las específicas relacionadas con la temática propia del Ingeniero de Manufactura (Por ejemplo: Diseño de procesos).

3.8.2.1. Competencias generales del ingeniero a evaluar con los laboratorios

Se han tomado para esta tipología como base la competencia ABET :b) *Capacidad para diseñar y conducir experimentos, así como para analizar datos de interpretación.*

Esta competencia se desagregó en varios componentes o capacidades, ver Subsección 2.4.1 con el fin de hacer posible, la implementación en los laboratorios y la evaluación en el estudiante. En la práctica se evaluó los componentes de la competencia por una rúbrica ⁴³ (ver Anexo E1) para cada uno de los componentes (Morales, 2015).

3.8.2.2. Competencias específicas del Ingeniero de Manufactura a evaluar con los laboratorios

Las prácticas de laboratorio, tanto convencionales como híbridas, se implementaron en las unidades de estudio nucleares que tenían declaradas las competencias ABET para el ingeniero en el campo de la manufactura, buscando que todas las competencias específicas para Ingeniería de Manufactura declaradas fueran trabajadas por los estudiantes en las experiencias de laboratorio.

Para ABET las competencias para la Ingeniería de Manufactura son en 5 áreas de formación:

- (a) Materiales y procesos de fabricación: capacidad para diseñar procesos de fabricación que den como resultado productos que cumplan con el material específico y otros requisitos.
- (b) Procesos, ensamblaje e ingeniería de productos: capacidad para diseñar productos y el equipo, las herramientas y el entorno necesarios para su fabricación.
- (c) Competitividad en la fabricación: capacidad para crear una ventaja competitiva a través de la planificación, la estrategia, la calidad y el control de la fabricación.

⁴³Una rúbrica es un instrumento cuya principal finalidad es compartir los criterios de realización de las tareas de aprendizaje y de evaluación con los estudiantes y entre el profesorado.(Cañada, 2013)

- (d) Diseño de sistemas de fabricación: capacidad para analizar, sintetizar y controlar operaciones de fabricación utilizando métodos estadísticos y
- (e) laboratorio de fabricación o experiencia en instalaciones: capacidad para medir las variables del proceso de fabricación y desarrollar inferencias técnicas sobre el proceso.

El desempeño propio de la experiencia se evaluó con un test antes y después de cada experiencia y su valor es dado por los docentes con ayuda de una rúbrica sobre los resultados (ver Anexo E2).

3.8.3. Objetivos educacionales y variables de verificación

Cuando el objetivo del laboratorio es académico, su resultado está basado en los procesos de enseñanza–aprendizajes y la evaluación de su eficacia se hace sobre los resultados formativos y de comportamientos del estudiante. Esto se hace evidente en cuatro de las variables dependientes:

Tabla 3.21: Variables dependientes

VARIABLES	COD.	NOMBRE DEL FACTOR
Calificación y valoración de los reportes de laboratorio y el resultado del producto	F26	DESEMPEÑO (nota curso)
	F26	DESEMPEÑO (nota laboratorio)
Evaluación de la experiencia – Desagregación de capacidades	F24	EFFECTIVIDAD Evaluación de competencias
Actitud frente a la experimentación en Ingeniería de Manufactura	F29	Actitud hacia la manufactura

3.8.4. Descripción de la actividad experimental con laboratorios

La actividad básica para cualquiera de los diferentes tipos de experiencias de laboratorio en esta investigación estuvo determinada por las siguientes acciones:

- Conocimiento por parte del estudiante del fenómeno seleccionado (Variables, modelo, etc.).
- Explicación del docente de la actividad experimental (Procedimientos, riesgos, resultados esperados, etc.)
- Aplicación del test de entrada al estudiante de la experiencia, basado en los componentes de la competencia.
- Realización de la experiencia de laboratorio por los estudiantes.

- Aplicación del test de salida al estudiante de la experiencia, basado en los componentes de la competencia.

Para las experiencias de laboratorio convencionales ya diseñadas, que fueron seleccionadas para la experimentación, fueron adaptadas y programadas en el sistema de reservas ⁴⁴, para su realización. A su vez, las experiencias de laboratorios híbridos que son nuevas, inician su proceso de diseño, desarrollo e implementación mucho antes que su aplicación.

La experiencia para estos LH se basa en cuatro fases; la primera es la fase de diseño de laboratorios híbridos, en esta fase se proponen los módulos experimentales LH1 al LH2 con el fin de desarrollar la competencia general seleccionada y algunas específicas (dependiendo de la actividad que se desarrolla en el curso).

La segunda fase corresponde al montaje de la actividad, esta inicia con adaptación al sistema de laboratorios que dispone la universidad, la calendarización, implementación y pruebas. La tercera fase, corresponde a la realización de la actividad de laboratorio con estudiantes como tal. Y la última es una fase evaluativa.

3.8.4.1. Fase 1

El diseño de laboratorio de basa en la implementación de la modelo D–SMART, esta propuesta de pasos, estructurados e integrales se basa sobre la metodología convencional de diseño⁴⁵. En esta fase se determinan los requerimientos y la arquitectura de la experiencia de laboratorio y las estructuras lógica y física. La definición del tipo de laboratorio híbrido H1 a H6 dependerá de las dimensiones involucrados:

- Estructura Unidad de estudio
- Competencias en Ingeniería
- Estrategias de aprendizaje–STEM
- Selección del equipo/planta
- Patrones

⁴⁴El sistema lo administran los auxiliares de laboratorio según programación académica

⁴⁵Metodología *Bottom Up*—esta estrategia asemeja al modelo “semilla” en el cual se parte de algo pequeño y se va desarrollando hasta llegar a un producto terminado.

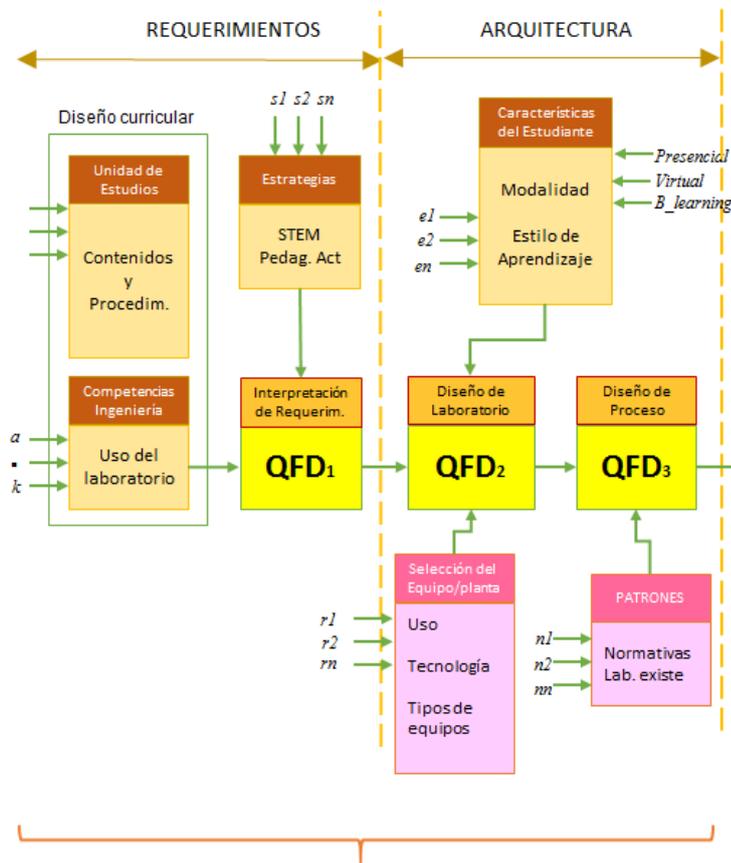


Figura 3.46: Fase 1 Requerimientos y Diseño de laboratorios híbridos.

3.8.4.2. Fase 2

Esta fase corresponde al montaje e implementación de la actividad de laboratorio propuesta en el sistema general de laboratorios, consultando el lineamiento de implementación general que dispone la organización.

Esta fase determina la estructura administrativa que se implementara en el módulo SMART, que se está desarrollando. Estos procesos corresponden al control de acceso y actividades administrativas para la ejecución de la experiencia. Se consulta si hay disponibilidad, están autorizados y/o los actores involucrados, y si están asequibles los equipos para continuar con el montaje de la práctica. Esta fase se involucra las pruebas del experimento y planes de contingencia si llegara a pasar algún fenómeno fuera de lo esperado (Riesgos). El producto de esta fase es el módulo integral.

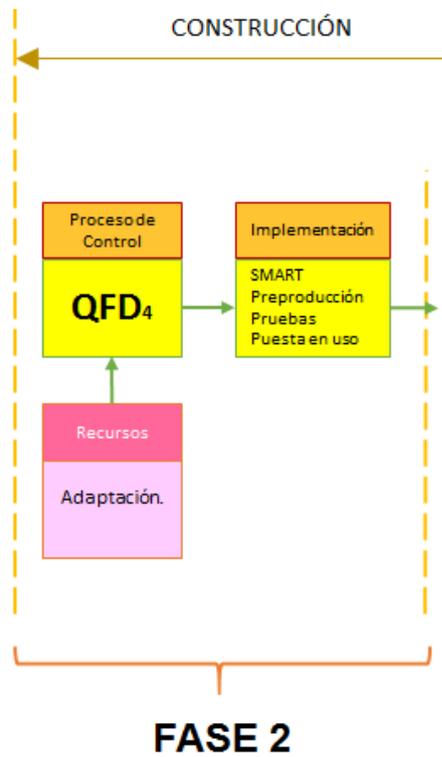


Figura 3.47: Fase 2 de implementación de laboratorios híbridos.

3.8.4.3. Fase 3

La tercera fase corresponde a la ejecución del laboratorio por parte de los estudiantes. Se realiza la actividad según lo planeado y se debe garantizar la participación de los estudiantes con el fin de desarrollar la competencia. Otro elemento importante en esta fase es la presentación de los resultados basado en los datos preliminares y en la evaluación de la experiencia.

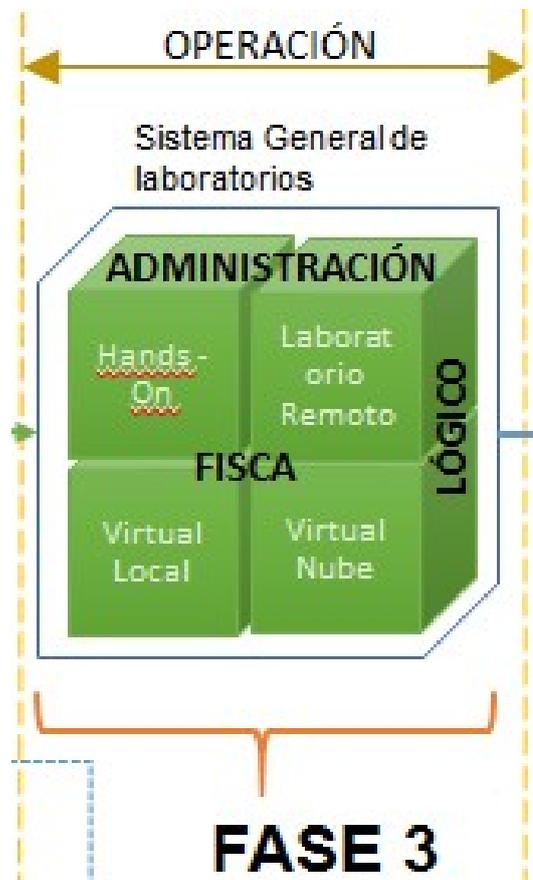


Figura 3.48: Fase 3 La operación.

3.8.4.4. Fase 4

La cuarta fase corresponde al proceso de evaluación y mejoramiento. Inicia con la estimación en los tres aspectos más relevantes de la práctica, incorpora proceso de retroalimentación permanente y herramientas de evaluación objetivas. En su implementación tiene en cuenta los actores principales en el proceso de formación.

Para realizar un procedimiento global de evaluación se evalúan tres aspectos con su correspondiente modelo de evaluación:

- Tecnología: Se utiliza el test MAT ⁴⁶. Su objetivo es evaluar la estructura del módulo y su grado de aceptación.
- Desempeño: Se evalúa la competencia desagregando los componentes. Se utiliza para

⁴⁶El Modelo de Aceptación de la Tecnología fue diseñado para realizar medidas evaluadoras de la calidad de los sistemas de información y de su adaptación a las necesidades del trabajo y, por lo tanto, se utiliza para hacer predicciones de aceptación y uso de nuevas tecnologías (López-bonilla, 2011).

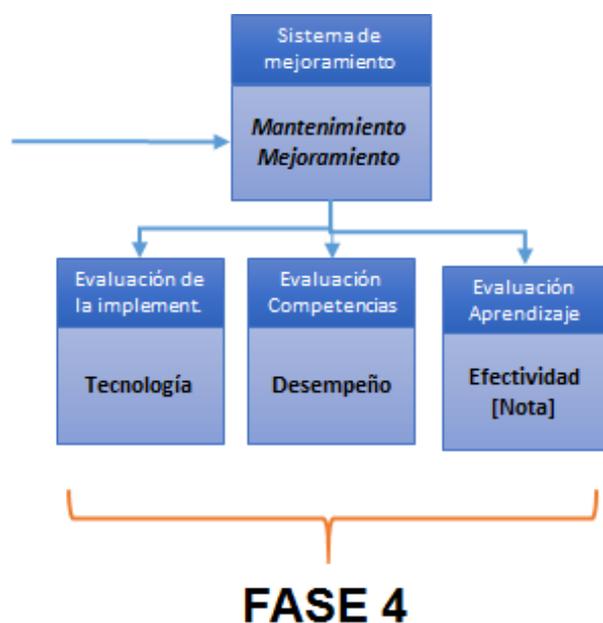


Figura 3.49: Fase 3 Evaluación y mejoramiento

tener un parámetro estándar de medición el modelo de evaluación por rúbrica⁴⁷. Su objetivo es evaluar el desempeño del estudiante.

- Efectividad se tomó como referencia la nota del curso. Su objetivo es establecer en el general de la Unidad el impacto de este tipo de experiencias en el curso.

3.9. Experimentación con laboratorios híbridos H1-H6

Para el análisis en la efectividad en el uso de los laboratorios se dividieron en dos grandes grupos uno de control; los laboratorios convencionales (*Hands-On*, Remotos y virtuales) y el grupo de los híbridos compuesto por dos subgrupos Los híbridos *Flipped* y los híbridos LaaS. Para ello, se aplicaron dos tipos de instrumentos de toma de datos; una herramienta basada en el proceso de uso de los laboratorios [Encuesta_ini_LAB](#), ver anexo C. Y una herramienta para conocer el grado de aceptación tecnológica (MAT). [Encuesta_MAT](#), ver Anexo D.

⁴⁷La rúbrica tiene sus orígenes en escalas de medida utilizadas en los campos de la psicología y de la educación (Cañada, 2013)

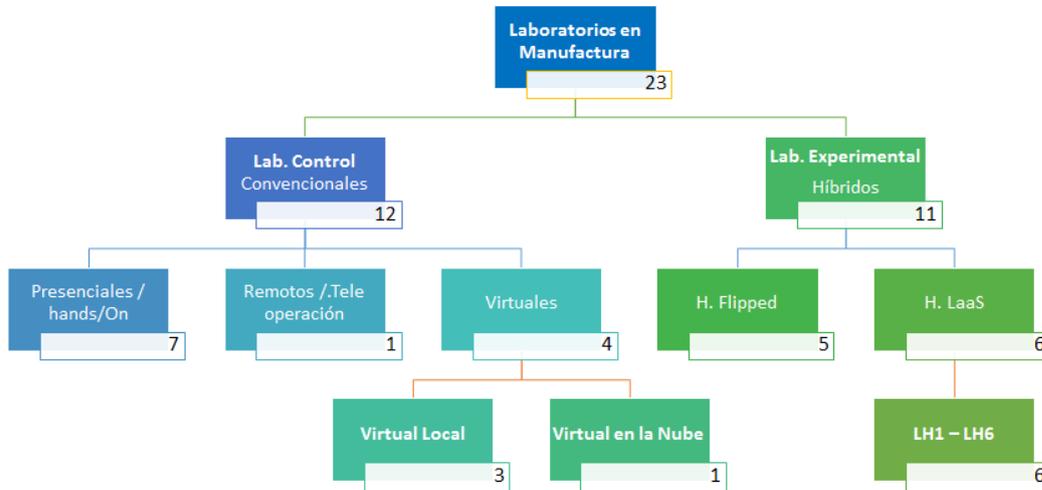


Figura 3.50: Estructura de las prácticas de laboratorio analizadas

3.9.1. Tamaño muestral

Para determinar el tamaño de la muestra, se tuvo en cuenta las unidades de estudio UE nucleares con los temas y competencias específicas en manufactura para el 2017–S1 de la Universidad EAN que requirieran laboratorios técnicas. Además se calculó el número de estudiantes a entrevistar basado por número de matriculados en esas UE.

Dado que; el grado de error (e) es el intervalo en el cuál se espera encontrar el dato que se desea medir en la población objeto de estudio (N), y el nivel de confianza expresa la certeza que realmente el dato que se busca esté dentro del margen de error (G. Duque, 2017) se calculó para ese periodo un número de UE ideal teórico. Basados autores como Han (S. W. Han, 2016) y Means (Means, Toyama, Murphy, Bakia, y Jones, 2009) en estudios sobre el tema de laboratorios, se consideraron los niveles de confianza del 95 % y el margen de error del 10 % (UE) y del 5 % (estudiantes). La cantidad de experiencias a desarrollar se estableció por la fórmula

$$n = \frac{\frac{Z^2 * p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{Z^2 * p(1-p)}{e^2 N} \right)} \tag{3.1}$$

n : tamaño de muestra

p : Probabilidad. Si no se tiene estudios previos es 50 %

e : Margen de error %

N : Tamaño de la población

Z : Estadístico – es la cantidad de desviaciones estándar que una proporción dada

se aleja de la media. Y depende del nivel de confianza.

Los datos se consignan en la siguiente tabla.

Tabla 3.22: Tamaño de muestra – experiencias de laboratorio

Población	Total	Nivel de confianza %	Margen de error %	Muestra Teórica	Muestra Real
Número de UE	25	95	10	21	23
Estudiantes por UE	436	95	5	205	308

3.9.2. Laboratorios convencionales (Control)

Para el contraste se utilizaron 12 laboratorios de control o laboratorios convencionales, estos se realizaron con la metodología tradicional de experimentación y se agruparon en tres tipos básicos: *Hands-On HO*, Remotos LR, y Virtual (Virtual Local LVL y Virtual en la Nube LVN).

Laboratorios Hands-On – OH

Los laboratorios presenciales también conocidos como *Hands-On*, son aquellos laboratorios donde los equipos como como los usuarios se encuentran de forma física en el espacio de laboratorios. Para confrontar la efectividad en la formación se seleccionaron 7 laboratorios de este tipo en la Universidad EAN.

Tabla 3.23: Laboratorios Hands-On - OH estudiados

	Nombre del laboratorio	Números de estudiantes en la practica	Unidad de estudio en la que se desarrollo
1	APQ-1 Desarrollo y análisis de producto con valor agregado	10	Análisis de Procesos Químicos
2	EXT-1 Encuesta de inicio fermentación	10	Grupo externo
3	FI-1 Laboratorio de diseño	95	Fundamentación en Ingeniería
4	GM-1 Metalografía	15	Gestión de Materiales
5	GM-2 Partículas magnéticas	9	Gestión de Materiales
6	GM-3 Ensayos destructivos – tensión	13	Gestión de Materiales
7	UCLM Mecanizado CNC	113	Grupo externo

Laboratorios Virtuales Locales – LVL

Son experiencias en equipos que simulan las condiciones reales de equipos y sistemas en una estación. A diferencia de los virtuales en la nube estos laboratorios son realizados en un equipo con acceso directo por los usuarios.

Tabla 3.24: Laboratorios Virtuales Locales – LVL estudiados

	Nombre del laboratorio	Números de estudiantes en la practica	Unidad de estudio en la que se desarrollo
1	APF-V P – Soldadura y Mecanizado	9	Análisis de Procesos Físicos - Virtual
2	GM-V – Metalografía / Solidworks	6	Gestión,de materiales - Virtual
3	TMAT-1 Paquete de fluidos – Modelo termodinámico	38	Eléctrica: Técnicas Modernas De Análisis Termoquímico - Presencial

Laboratorios Remotos LR

En este tipo de laboratorios se utilizan con elementos reales con ayuda de plataformas o medios de conexión a distancia. La experiencia de laboratorio se desarrolló la unidad de manufactura:

Tabla 3.25: Laboratorios Remotos LR estudiados

	Nombre del laboratorio	Números de estudiantes en la practica	Unidad de estudio en la que se desarrollo
1	APF-1V Tele operación Uso de ·3D UCLM	12	Análisis de Procesos Físicos - Virtual

3.10. Laboratorios experimentales (híbridos)

Para el análisis de las experiencias en Laboratorios Híbridos – LH, la investigación se centró en la tipología LaaS ⁴⁸, descrita por Tawfik. (Tawfik, Lowe, y cols., 2013) y los resultados fueron comparados frente a los laboratorios convencionales o básicos. La construcción de las experiencias de laboratorio híbridos tipo LaaS se basa en que al menos dos de los componentes de experimentación son tipos de diferentes de laboratorio convencional. En la siguiente tabla se muestran las combinaciones.

A continuación, se describen cada uno de ellos, su desarrollo y sus elementos funcionales.

⁴⁸LaaS : Laboratory as a Service

Tabla 3.26: Combinación de laboratorios utilizados

Componente de la Práctica de laboratorio	Total	Nivel de confianza %	Margen de error %	Muestra Teórica	Muestra Real
Pre procesamiento	25	95	10	21	23
Ejecución	436	95	5	205	308

Fuente: El autor

3.10.1. LH1: Presencial (Hands–On) y Laboratorios Virtual Local

La experiencia de laboratorio híbrido H1, se concentra en la parametrización del mecanizado por control número CNC en una máquina real [Hardford SMC-5:], utilizando componentes virtuales para el pre-procesamiento del código CNC (simulación) [CNCsimulator [®] ⁴⁹] y presenciales en su ejecución. El objetivo es la correcta parametrización de las variables de pieza, herramientas y equipos para el mecanizado.

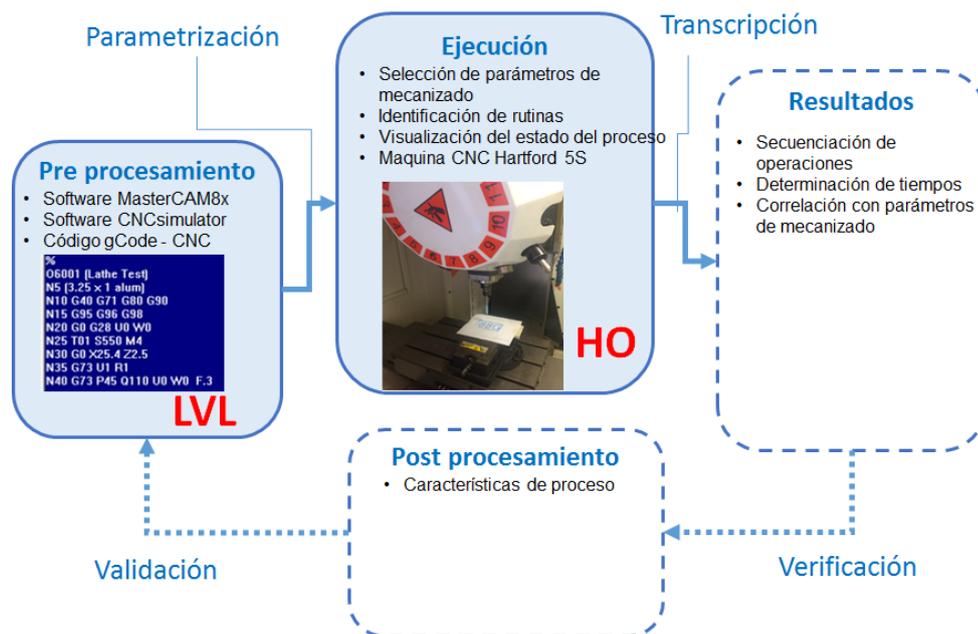


Figura 3.51: Elementos funcionales LH1

Foto 1– Laboratorio híbrido tipo LH1

⁴⁹Software de simulación local de recorridos simulados basado en el código CNC FANUC



Grupo de estudiante ejecutando el proceso final de mecanizado CNC luego del diseño del recorrido, simulación y parametrización de variables de mecanizado.

Tabla 3.27: Escenario LH1 – Proceso Mecanizado CNC

Fase	Pre procesamiento	Ejecución	Resultados	Pos procesamiento
Competencia ABET	b) Procesos, ensamblaje e ingeniería de productos Su objetivo es determinar las variables que componen una experiencia CNC			
Tipo de experiencia	Virtual - LVL	Presencial - HO		
Objetivo	Generación del código	Realización del recorrido CNC	Pieza generada por mecanizado	Determinación de los procesos importantes
Tipo de comunicación	Escrita	Códigos CNC	Listado	Medio magnético
OUTPUT	Código CNC	Pieza Mecanizada	Listado de características	Reporte de descripción de procesos
DEBILIDADES ENCONTRADAS	Es necesario llevar el código por medios magnéticos, desde el PC a la máquina			

3.10.2. LH2: Laboratorio Virtual Local en la Laboratorio en la Nube

Para este tipo de laboratorio se vinculó dos sistemas de apoyo [Software Flexsim ®⁵⁰ y Arena®⁵¹] con el fin de incrementar el detalle de análisis en una actividad de simulación. Para ello se involucraron en un ambiente de realidad simulada la realidad virtual y la interpretación de los datos con ayuda de software de post procesamiento de datos [Arena – Output Analyzer⁵² en modo de escritorio remoto.

⁵⁰Software de simulación de eventos discretos utilizado en operaciones y logística (Virtual local)

⁵¹Software de simulación con módulos de análisis antes y después de la simulación (Acceso con escritorio remoto)

⁵²Es una útil herramienta de Arena que permite analizar data generada a partir de la ejecución de modelos.

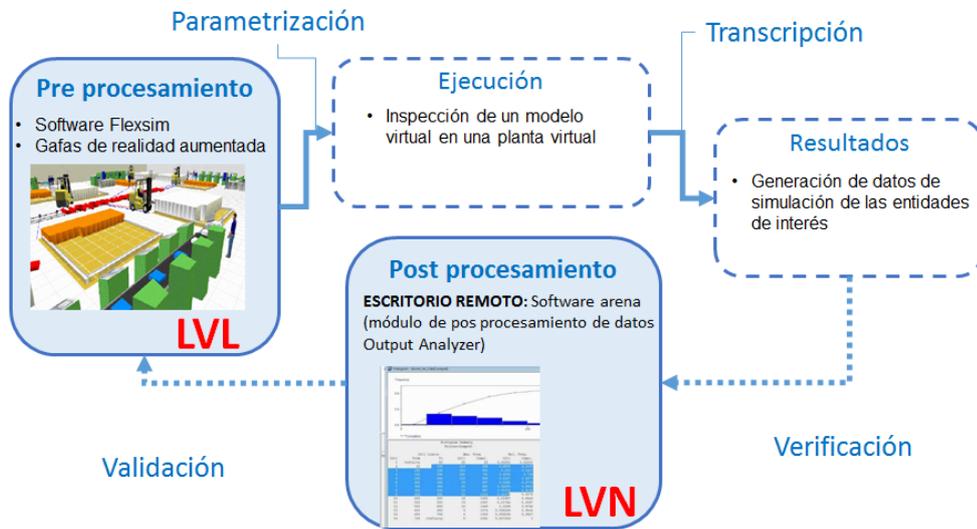
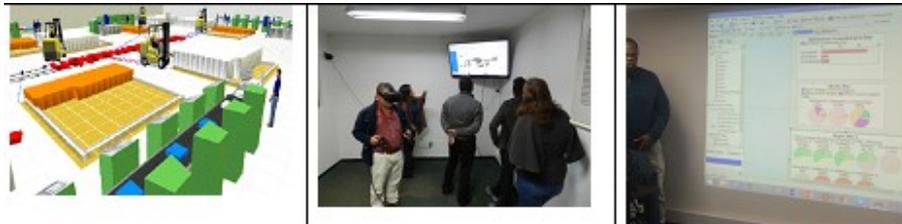


Figura 3.52: Elementos funcionales LH2

Foto 2– Laboratorio híbrido tipo LH2



Grupo de estudiantes analizando una planta virtual para establecer estrategias de operación y logística. Un estudiante utilizaba las gafas para ubicar los detalles importantes en la planta simulada. Presentación de los resultados analizados en el escritorio remoto

Tabla 3.28: Escenario LH2 Diseño de sistemas de fabricación

Fase	Pre procesamiento	Ejecución	Resultados	Pos procesamiento
Competencia ABET	d) Diseño de sistemas de fabricación			
Tipo de experiencia	Virtual - LVL			Virtual LVN
Objetivo	Generar el espacio virtual	Realidad Aumentada con gafas	Listado de datos en Excel	Analizar el comportamiento de la capacidad del sistema
Tipo de comunicación	En línea	En línea	En línea	En línea
OUTPUT	Modelo virtual	Listados de comportamiento	Basa de datos en formato digital	Ecuación de comportamientos
DEBILIDADES ENCONTRADAS	Tiempos de reacción lentos, problemas de autenticación de usuarios en el escritorio remoto			

3.10.3. LH3: Laboratorio Remoto y laboratorio en la Nube

Para este tipo de laboratorio híbrido se unieron el uso de un equipo CNC académico [Concept Mill 55: EMCO lathes (áquinas disponibles de la UCLM para el apoyo de la tesis doctoral y los estudiantes fueron de la Universidad EAN que accedieron de forma remota desde Colombia., máquinas disponibles de la UCLM para el apoyo de la tesis doctoral y los estudiantes fueron de la Universidad EAN que accedieron de forma remota desde Colombia.)] de forma remota y el uso de software editor de código. En el software de edición se escriben los caracteres gcode (código CNC FANUC) y simulan los recorridos a ser mecanizados y en el equipo real se ejecuta el código generado de forma remota en un bloque de madera.

Tabla 3.29: Escenario LH3 Simulación de operaciones

Fase	Pre procesamiento	Ejecución	Resultados	Pos procesamiento
Competencia ABET	d) Diseño de sistemas de fabricación			
Tipo de experiencia	Virtual - LVL			Virtual LVN
Objetivo	Generar el espacio virtual	Realidad Aumentada con gafas	Listado de datos en Excel	Analizar el comportamiento de la capacidad del sistema
Tipo de comunicación	En línea	En línea	En línea	En línea
OUTPUT	Modelo virtual	Listados de comportamiento	Basa de datos en formato digital	Ecuación de comportamientos
DEBILIDADES ENCONTRADAS	Tiempos de reacción lentos, problemas de autenticación de usuarios en el escritorio remoto			

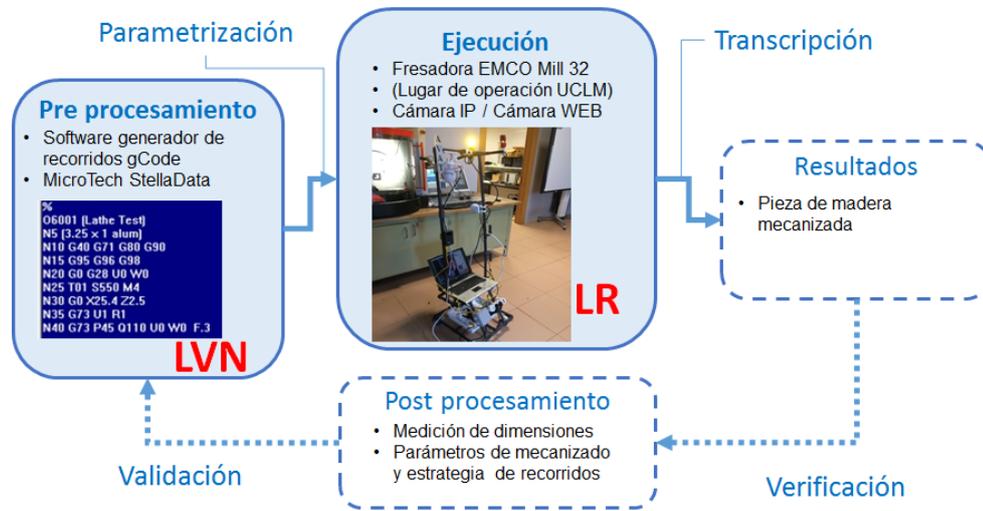


Figura 3.53: Elementos funcionales LH3

Foto 3 – Laboratorio tipo LH3



Montaje de la práctica de tele operación. Se utiliza la estructura Avatar_a con el fin de servir de plataforma de acceso y sistema de respaldo de conexión.

Tabla 3.30: Escenario LH3 Fabricación de productos mecanizado CNC

Fase	Pre procesamiento	Ejecución	Resultados	Pos procesamiento
Competencia ABET	e) Uso laboratorio de fabricación o experiencia en instalaciones			
Tipo de experiencia	LVN	LR		
Objetivo	Generación de recorridos y códigos CNC	Fabricación de una pieza CNC	Determinar los recorridos físicamente	Toma de medidas
Tipo de comunicación	En línea	En línea	En línea	Físico
OUTPUT	Gcodes	Pieza en madera	Parámetros de mecanizado	Medición de distancias
DEBILIDADES ENCONTRADAS	Los tiempos de preparación deben, aumentarse como el proceso de reconocimiento de rutinas. Tiempos lentos de reacción			

3.10.4. LH4: Laboratorio Presencial (Hands-On) y Laboratorio remoto

Para el desarrollo de este tipo de laboratorio híbrido de utilizo la información obtenida de la tele operación de una plataforma robotizada que tenía un objeto armado con piezas LEGO. Los estudiantes tomaban la información visual y la convertían en secuencias de operaciones para el diseño de una propuesta de manufactura.

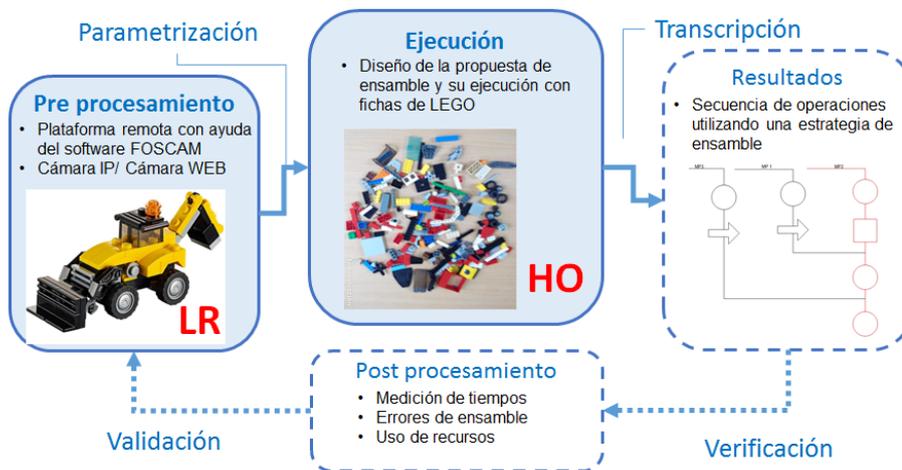


Figura 3.54: Elementos funcionales LH4

Foto 4 – Laboratorio tipo LH4



Se observa en la imagen dos grupos de estudiantes proponiendo estrategias diferentes para el ensamble en línea de “la pala mecánica LEGO” que se posiciona en diferentes vistas por medio de la tele operación.

Tabla 3.31: Escenario LH4 diseño del proceso de ensamble

Fase	Pre procesamiento	Ejecución	Resultados	Pos procesamiento
Competencia ABET	c) Competitividad en la fabricación			
Tipo de experiencia	LR	HO		
Objetivo	Captar la información gráfica de cómo es el ensamble	Propuesta de operaciones de ensamble	Listado de operaciones, organización de piezas	Toma de tiempos
Tipo de comunicación	En línea	En línea	Listado	Listado de tiempos
OUTPUT	Video online	Organización de piezas	Secuenciación de operaciones	Tiempos de ensamble
DEBILIDADES ENCONTRADAS	Los tiempos de conexiones lentas. Las piezas pequeñas y difícil de visualizar con la cámara IP			

3.10.5. LH5: laboratorio Presencial y laboratorio virtual en la nube

Esta práctica se realizó en el taller de Diseño con Software CAD. La parte presencial se ejecutó con el software de realidad aumentada que servía de apoyo al ensamble de un cepillo de carpintería la parte virtual se realizó con la aplicación App Augment [®] donde se encontraban los archivos CAD [Solidworks [®] ⁵³] para que pudieran identificar las partes y realizar el ensamble bajo la estrategia ensamble secuenciado.-

⁵³Piezas 3D exportadas en formato imagen. stl.



Figura 3.55: Elementos funcionales LH5

Foto 5 – Laboratorio Tipo H5



Estudiantes utilizando las imágenes de realidad aumentada para armar el cepillo físicamente.

3.10.6. LH6: Laboratorio Remoto y laboratorio y virtual Local –

Este laboratorio se desarrolló integrando tres componentes; los cálculos de resistencia de materiales sometidos a flexión, el uso del módulo de simulación de SolidWorks®⁵⁴ y la operación remota de la máquina universal para realizar un ensayo de dobles en una barra de metal rectangular. La propuesta es hacer una verificación de los tres componentes para entender el grado de exactitud de cada montaje.

⁵⁴Módulo de simulación estática

Tabla 3.32: Escenario LH5 diseño del proceso de ensamble

Fase	Pre procesamiento	Ejecución	Resultados	Pos procesamiento
Competencia ABET	b) Procesos, ensamblaje e ingeniería de productos			
Tipo de experiencia	LVN	HO		
Objetivo	Servir de guía en la búsqueda de información	Armado de ensamble	Pieza correctamente armada	Determinación de grado de complejidad en armado
Tipo de comunicación	En línea	Física	Física	En línea
OUTPUT	Target RA	Pieza armada	Listado de observaciones	Informe
DEBILIDADES ENCONTRADAS	No es fácil la ubicación espacial 3D de los objetos de RA. Se requiere de una infraestructura de video buena y un lugar apto para el ensamble			



Figura 3.56: Elementos funcionales LH6

Foto 6 – Laboratorio tipo LH6.



En la foto se ven estudiantes en clase en el laboratorio de sistemas 310 en la sede Av. Chile –realizando la tele operación ubicada en la sede de laboratorios CII72 a 2 kilómetros. Práctica en tiempo real sincrónica.

Tabla 3.33: Escenario LH6 prueba de materiales

Fase	Pre procesamiento	Ejecución	Resultados	Pos procesamiento
Competencia ABET	a) Materiales y procesos de fabricación			
Tipo de experiencia		LVL	LR	
Objetivo	Determinación de las variables del experimento	Realización de la simulación CAE en solidworks	Realización de la práctica remotamente con una barra real	Comparación de los datos de los tres experimentos con una BD
Tipo de comunicación	Física	Reporte Word	En línea	Escrita
OUTPUT	Cálculos	Grafica de cargas	Reporte TXT	Informe
DEBILIDADES ENCONTRADAS	Los tiempos son muy cortos para la realización de toda la experiencia. Se requiere apoyo del auxiliar sobre el equipo			

3.11. Análisis de resultados y Validación

Para cada una de las 23 experiencias de laboratorio realizadas, se les indago por las dimensiones de estudio, por medio de un instrumento de recolección de datos, al principio y al final de la actividad. Además, se consultó la calificación dada a práctica por el docente como la nota final del curso.

Con esta información en esta etapa de la investigación, se realizó una comparación los datos obtenidos de las estudiantes en las experiencias de laboratorio convencionales y las de laboratorios híbridos frente a su percepción, la efectividad en el desarrollo de competencias y el resultado final (nota experiencia de laboratorio y nota final de curso).

3.11.1. Efectividad en prácticas reales con laboratorios (convencionales / híbridos)

Para evaluar la efectividad de los laboratorios de ambos grupos, los laboratorios se agruparon de la siguiente forma:

- CONV (laboratorios convencionales – grupo de control)
- HIBRID_FLIPPED Laboratorios que alternan prácticas durante el semestre académico
- HIBRID_LAAS–mezcla coherente de elementos del laboratorio en una sola experiencia

Se realizó inicialmente una prueba de normalidad: Sobre las variables de efectividad:

- N_IND : Nota individual del curso
- NOTA DEL CURSO/10 : Nota de todo el curso
- NOTA_LAB_SAL : Nota individual del laboratorio de salida

La hipótesis propuesta para la prueba de normalidad es:

Ho: Las variables en la población tienen una distribución normal. $p > 0.05$

H1: Las variables en la población son distintas a la distribución normal. $P < 0.05$

Tabla 3.34: Prueba de normalidad de los datos

	Kolmogorov-Smirnova ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
N_IND	.109	150	.000	.885	150	.000
NOTA DEL CURSO/10	.173	150	.000	.841	150	.000
NOTA_LAB_SAL	.152	150	.000	.939	150	.000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Por ello y para comparar los grupos se utiliza el test No paramétrico U de Mann– Whitney. Las hipótesis de la prueba fueron las siguientes:

Ho: No hay diferencias entre las medianas de las variables (Son iguales). $p > 0.05$

Ho: Hay diferencias entre las medianas de las variables (Son diferentes). $P < 0.05$

Inicialmente se comparó los laboratorios 1. Convencionales y los 2. Híbridos *Flipped*.

Tabla 3.35: Estadísticos de contraste Nota Convencionales e Híbridos Flipped
Estadísticos de contraste^a

	NOTA DEL CURSO/10	NOTA_LAB_SAL	N_IND/10
U de Mann-Whitney	2226.000	1008.500	161.000
W de Wilcoxon	2331.000	22744.500	266.000
Z	-.020	-1.148	-5.929
Sig. asintót. (bilateral)	.984	.251	.000

a. Variable de agrupación: N. CONJ_LAB

Para el análisis de p–valor “Sig. Asintótica (bilateral)” $p < 0.05$, solo la cumplen las variables N_IND/10. La variable NOTA_LAB_SAL y NOTA DEL CURSO/10 no son significativas.

La segunda comparación de medianas se hizo entre 2. Híbridos *Flipped* y 3 *Híbridos LaaS*

Tabla 3.36: Estadísticos de contraste Nota LH Flipped y LaaS
Estadísticos de contraste^a

	NOTA DEL CURSO/10	NOTA_LAB_SAL	N_IND/10
U de Mann-Whitney	476.000	331.000	.000
W de Wilcoxon	2961.000	409.000	105.000
Z	-.171	-.698	-5.901
Sig. asintót. (bilateral)	.865	.485	.000

a. Variable de agrupación: N. CONJ_LAB

Para el análisis de p–valor “Sig. Asintótica (bilateral)” $p < 0.05$, solo es significativa la variables N_IND/10, las demás variables en esta comparación no son significativas.

Finalmente se comparan los laboratorios **1. Convencionales** y **3. Laboratorios Híbridos LaaS**.

Tabla 3.37: Estadísticos de contraste Nota Convencionales y laboratorios LaaS
Estadísticos de contraste^a

	NOTA DEL CURSO/10	NOTA LAB_SAL	N_IND/10
U de Mann-Whitney	7610.000	4458.000	7760.500
W de Wilcoxon	58650.000	26194.000	10245.500
Z	-4.231	-3.926	-4.514
Sig. asintót. (bilateral)	.000	.000	.000

a. Variable de agrupación: N. CONJ_LAB

Para el análisis de p–valor “Sig. Asintótica (bilateral)” $p < 0.05$, solo es significativa en todas las variables.

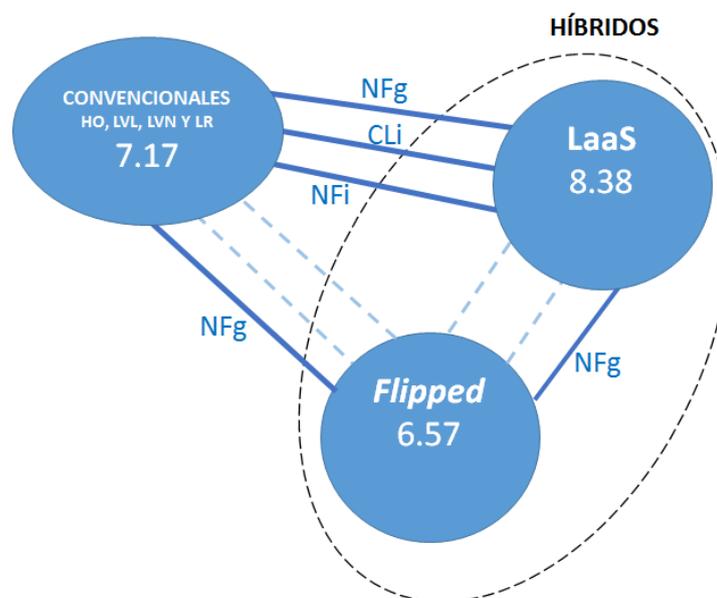


Figura 3.57: Resumen Efectividad

Fuente: El autor – Las líneas azules continuas son las variables significativas

Estilo de aprendizaje y efectividad en la experiencia de laboratorio: uno de las variables que autores como (Lawrence y Unger, 2014) ha trabajado es la efectividad de los laboratorio basado en el estilo de aprendizaje del estudiante. Los datos presentados son basados en la encuesta de primera semana realizados a los candidatos que ingresan a la carrera. La siguiente figura muestra el valor promedio de obtenido en los laboratorios desarrollados tanto híbridos como convencionales.



Figura 3.58: Estilos de aprendizaje y calificación de los laboratorios presentados

Fuente: El autor con base de informe de primera semana.

Conclusión efectividad:

Para el análisis se tomaron los valores promedio del grupo de experimentación y se contrastaron con una medición de medias entre los grupos de control y de experimentación. Entre los primeros hallazgos se puede mencionar:

- Los tres grupos representan variación en los valores promedio de la nota individual obtenida. Entre los laboratorios convencionales y los laboratorios híbridos la nota Individual de la experiencia es significativa. Pero no entre los dos tipos de híbridos *Flipped* y *LaaS*.
- La nota individual, del curso y del laboratorio entre convencionales y los híbridos LaaS es representativa y significativa.
- La apreciación del estudiante en el conocimiento de la actividad es mayor en los laboratorios Híbridos LaaS que en los convencionales y los Híbridos *Flipped*. En todos los

casos los estudiantes han debido preparar la práctica.

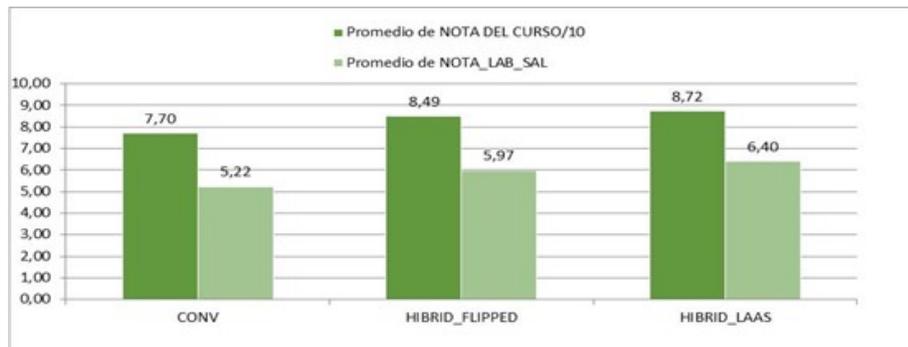


Figura 3.59: Calificación del curso y calificación individual del laboratorio

3.11.2. Competencias en prácticas reales con laboratorios (convencionales / híbridos)

Por medio del uso de los laboratorios se analizó el desempeño de los estudiantes en el desarrollo de las competencias genéricas y las específicas en Ingeniería de Manufactura. Las primeras se evaluaron al descomponer la competencia, y realizando una evaluación antes y después de la actividad experimental y las segundas su evaluación fue obtenida al analizar el enfoque dado a cada laboratorio frente a las competencias de manufactura a) a la e).

3.11.2.1. Competencias Genéricas

Como se mencionó anteriormente la medición en esta competencia se analizará a la luz del desempeño en general en todas las experiencias, para cada uno de los componentes independientemente del enfoque particular de cada experiencia o unidad. Las variables de los componentes identificados para evaluar esta competencia se tomaron por la desagregación de la competencia genérica “b) Capacidad para diseñar y conducir experimentos, así como para analizar datos de interpretación “declarada por ABET para la formación en ingeniería. Se tomó como apoyo la rúbrica establecida para medir competencias genéricas, ver anexo E1.

La forma de aplicación se hace de forma física a manera de control de ingreso y de participación en el laboratorio.

Tabla 3.38: Variables utilizadas para la medición de la competencia

Convención	Componente de competencia ABET
PRACTICA _i	1. Capacidad para realizar experimentos.
DATOS DE SALIDA _i	2. Capacidad de analizar e interpretar datos.
EQUIPO&SOFTWARE _i	3. Capacidad de utilizar herramientas de ingeniería modernas.
VARIABLES _i	4. Capacidad de diseñar experimentos.
APLICACIÓN _i	5. Capacidad para resolver problemas de ingeniería.
ROL DEL ESTUDIANTE _i	6. Capacidad para trabajar en equipo. - Cooperación
PARTICIPACION DEL DOCENTE _i	7. Capacidad para trabajar en equipo. - Acompañamiento

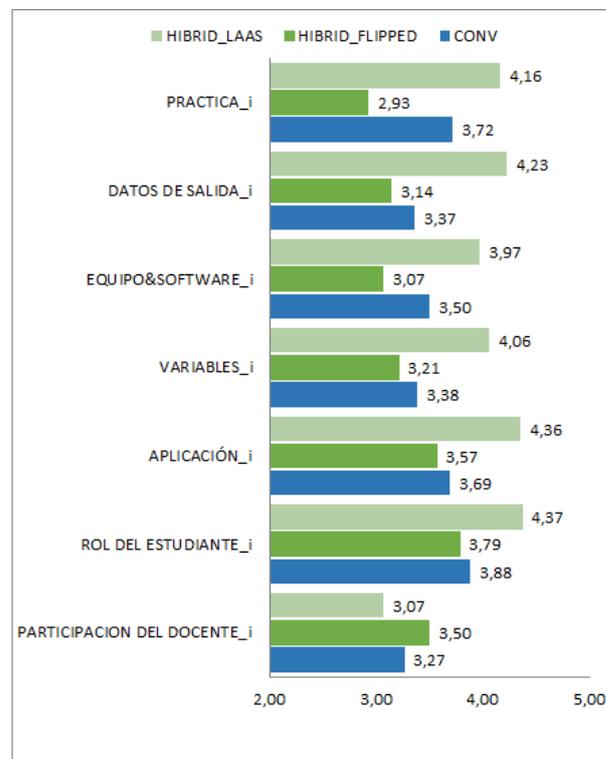


Figura 3.60: Competencia genérica en experimentación

Para la evaluación de competencias genericas fue necesario hacer dos grupos; 1 de laboratorios híbridos tipo LaaS y 2 de laboratorios Convencionales e Híbrido tipo Flipped. Y se compararon entre sí por para cada uno de los componentes.

Tabla 3.39: Estadísticos de contraste laboratorios LaaS Vs otros laboratorios
Estadísticos de contraste^a

	PRACTICA _i	DATOS DE SALIDA _i	EQUIPO& SOFTWARE _i	VARIABLES _i	APLICACIÓN _i	ROL DEL ESTUDIANTE _i
U de Mann-Whitney	5560.500	4232.000	5865.000	4715.500	4778.500	5732.000
W de Wilcoxon	32125.500	30797.000	32430.000	31050.500	31343.500	32297.000
Z	-4.122	-6.266	-3.537	-5.414	-5.386	-3.846
Sig. asintót. (bilateral)	.000	.000	.000	.000	.000	.000

a. Variable de agrupación: No. LaaS-otros

Para el análisis de p–valor “Sig. Asintótica bilateral” ($p < 0.05$), son significativas en todas las variables comparadas del grupo 1: LH– LasS y el 2: otros laboratorios

Conclusión de la evaluación de competencias genéricas.

- En casi todos los componentes de la competencia, los laboratorios híbridos tipo LaaS tuvieron una calificación mayor que los “Flipped” y Convencionales.
- En ninguno de los componentes de la competencia genérica el grupo de laboratorios “Flipped” tuvo una calificación mayor que los demás grupos.
- El componente más valorado por los estudiantes está en la definición clara del rol en la práctica con 4.37/5 y en el uso que se le puede dar a la aplicación de la competencia en su profesión con 4.37/5.

3.11.2.2. Competencias Especifica en Ingeniería de Manufactura

Para la evaluación de las competencias específicas: se tomaron las definidas por ABET para Ingeniería de Manufactura: Como se documentó en la tabla 29, cada competencia tenia al menos un laboratorio híbrido tipo LaaS asociado. Los resultados para cada componente de competencia se muestran en la siguiente gráfica. Se tomó como variable dependiente la nota del laboratorio y la nota de curso

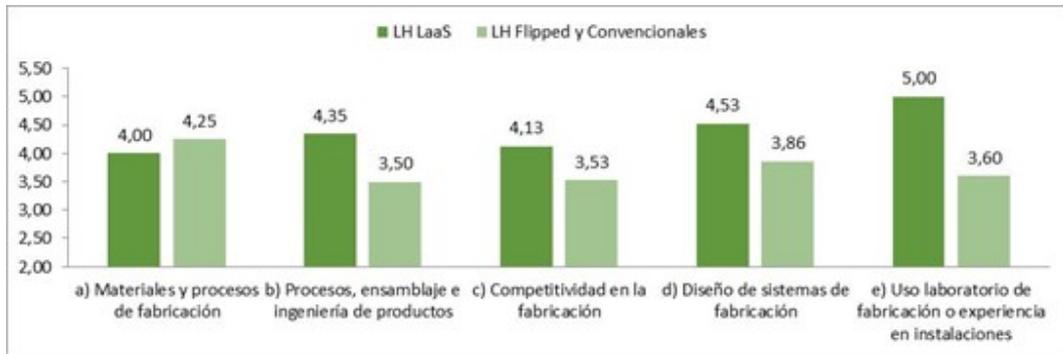


Figura 3.61: Competencias específicas en experimentación

Fuente: El autor

Tabla 3.40: Estadísticos de contraste laboratorios LaaS Vs otros laboratorios

	a) Materiales y procesos de fabricación	b) Procesos, ensamblaje e ingeniería de productos	c) Competitividad en la fabricación	d) Diseño de sistemas de fabricación	e) Uso laboratorio de fabricación o experiencia en instalaciones
W de Wilcoxon	375.500	309.500	138.500	3.500	12.500
U de Mann-Whitney	1806.500	8184.500	958.500	31.500	27.500
Z	-.691	-5.406	-.598	-3.757	-.821
Sig. asintót. (bilateral)	.489	.000	.550	.000	.412

Para el análisis de p–valor “Sig. Asintótica (bilateral)” $p < 0.05$, es significativa solo en la competencia b y d, las demás diferencias no son significativas.

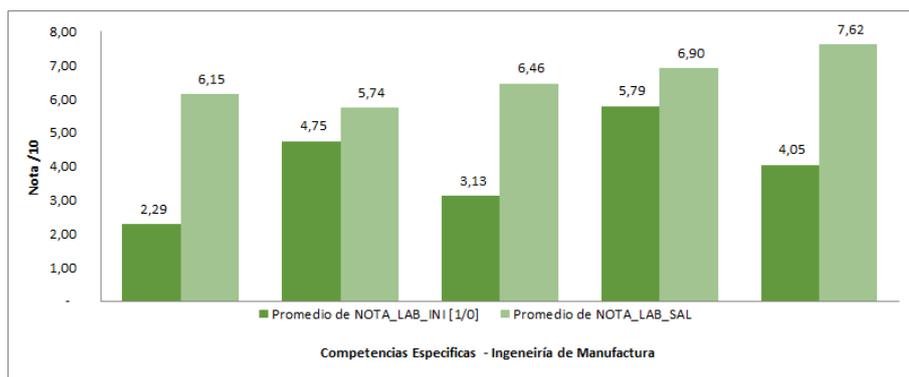


Figura 3.62: Competencias específicas en experiencias de laboratorio pre y pos test.

En todas las competencias de Ingeniería de Manufactura es observable el aumento en la calificación. Donde la competencia “e) Uso laboratorio de fabricación o experiencia en insta-

laciones” es la de mayor valor con 7.62/10 en promedio. Y la competencia que tiene mayor efecto es la “a) Materiales y procesos de fabricación” con una brecha de 3.85 puntos.

Para la evaluación del impacto de las experiencias de laboratorio en el desempeño de curso, tomando como medida la nota final del curso por estudiante, se observa un efecto positivo en los de tipo híbrido LaaS sobre el grupo de convencionales e híbrido Flipped. Sin embargo las características del desarrollo del curso no permiten un grado alto de confiabilidad para determinar con claridad.

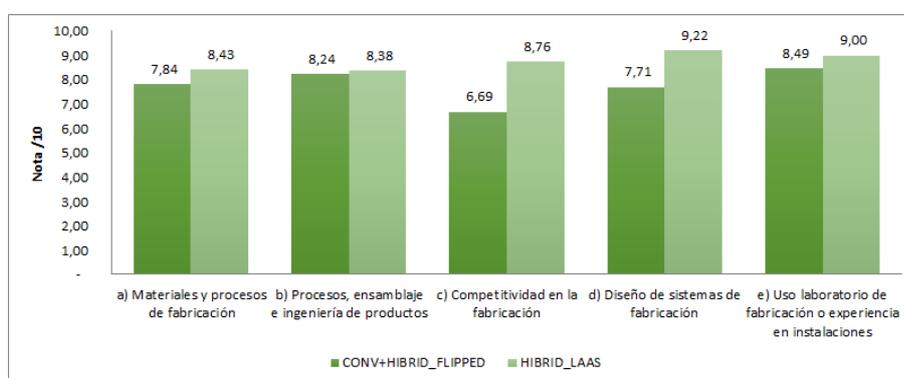


Figura 3.63: Nota final del curso y el tipo de laboratorio

Conclusión de la evaluación de competencias específicas.

- En casi todos los componentes de la competencia, los laboratorios híbridos tipo LaaS tuvieron una calificación mayor que los “Flipped” y Convencionales, Sin embargo solo las competencias específicas: “b) Procesos, ensamblaje e ingeniería de productos” y la “d) Diseño de sistemas de fabricación”, tuvieron valores significativos altos, 4.35/5 y 4.53/5 respectivamente.
- Con respecto al efecto del laboratorio evaluando un test antes y después (ver Anexo E1), al realizar prácticas de laboratorio, se observa que el valor del desarrollo de competencias aumenta , esto es coherente con Kim (Y. S. Kim y cols., 2011) y Gibbins (Gibbins y Perkin, 2013). Sin embargo no se tiene información significativa.
- Las características de control y seguimiento sobre los grupos no permitió garantizar que el grupo solo realizará un solo tipo de laboratorio, razón por la cual este efecto es poco confiable para concluir alguna relación fuerte y clara entre las variables.

3.11.3. Actitud hacia la tecnología en prácticas reales con laboratorios

Para la evaluación de la forma como los estudiantes enfrentan las ayudas tecnológicas en los procesos de enseñanza aprendizaje en experiencias de laboratorio, se han tomado como

referente el trabajo de Herrera (Herrera y cols., 2015), Turan (Turan y cols., 2015), Tirado (R. Tirado, 2015), y Yong (Yong y cols., 2010) que definen la necesidad de indagar en varios aspectos de la tecnología. El modelo utilizado es basado en el modelo de aceptación tecnológica MAT en español o TAM *Technology Acceptance Model*⁵⁵, evalúa 8 aspectos principales del uso y aceptación de la tecnología. Para la investigación se adicionaron dos más para un total de 10 aspectos.

Tabla 3.41: Variables del modelo TAM indagadas en la investigación

Conv	ASPECTO
Q0	Laboratorio - conocimiento
Q1	Comprensión teórica
Q2	La práctica teórica es más fácil
Q3	Facilidad de la interfaz
Q4	Realismo
Q5*	Claridad de instrucciones
Q6	Autosuficiencia
Q7	Tiempo suficiente
Q8	Instrucciones
Q9	Facilidad de acceso
Q10*	Acceso

Fuente: El autor. Las marcadas con asterisco son las dos adicionadas al modelo.

Este instrumento se desarrolló y aplicó a los estudiantes que participaron en actividades de laboratorio, en las cuales contenían un fuerte componente tecnológico tanto en su uso como en su análisis. El instrumento se encuentra en el Anexo D.

Para una primera aproximación sobre la aceptación tecnológica de las experiencias de laboratorio, se estudiaron dos grandes grupos de prácticas en laboratorio 1: Convencionales y 2 : Híbridos LaaS. No se tuvieron en cuenta en esta fase los Híbridos *Flipped*.

⁵⁵TAM es una teoría de sistemas de información que modela cómo los usuarios llegan a aceptar y utilizar una tecnología. Ya existen versiones actualizadas del modelo: TAM2, TAM3 y UTAUT.

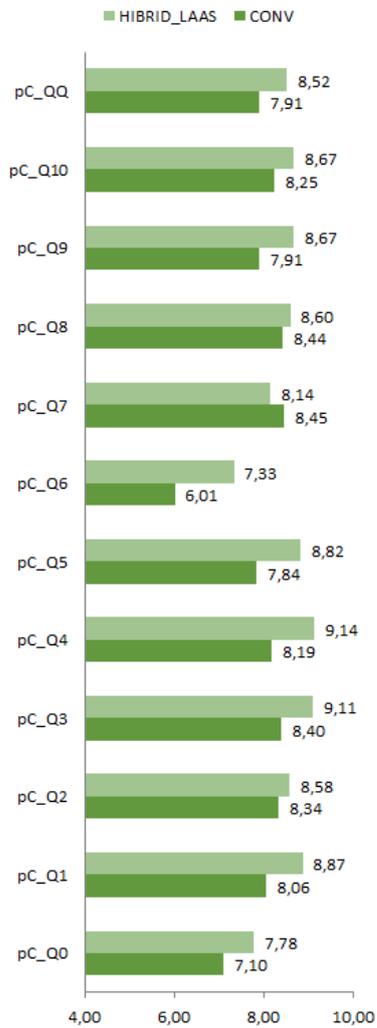


Figura 3.64: Dimensiones TAM en las experiencias de laboratorio.

De los datos presentados, se observa que solamente la dimensión Q7- Tiempo suficiente, para hacer la práctica, es altamente valorada por los estudiantes. Las variables, incluida la totalidad de la experiencia es mejor valorada en los híbridos tipo LaaS.

Tabla 3.42: Dimensiones del modelo MAT de laboratorios convencionales y LaaS

	U de Mann-Whitney	W de Wilcoxon	Z	Sig. asintót. (bilateral)
C_Q0*	621.500	2637.500	-1.829	.067
C_Q1	735.500	2751.500	-.800	.424
C_Q2	782.000	2798.000	-.339	.735
C_Q3	702.500	2718.500	-1.130	.258
C_Q4	751.500	1102.500	-.627	.531
C_Q5**	577.000	928.000	-2.207	.027
C_Q6**	580.500	931.500	-2.162	.031
C_Q7**	604.500	2620.500	-1.962	.050
C_Q8*	624.500	2640.500	-1.784	.074
C_Q9	663.000	2679.000	-1.429	.153
C_Q10	769.500	2785.500	-.456	.649
C_QQ	787.500	2803.500	-.284	.776

Fuente: El autor . * $p < 0.1$ ** $p < 0.05$.

Según los resultados de la comparación del estadístico de contraste entre los dos grupos; las variables; Q0 Laboratorio- conocimiento, Q5 Claridad de instrucciones, Q6 Autosuficiencia, Q7 Tiempo suficiente Y Q8 Instrucciones, son significativas en el modelo.

Conclusión de la evaluación la actitud hacia la tecnología.

- La dimensión Q6 Autosuficiencia, en ambos grupos (Híbridos y Convencionales) la calificada dada por parte de los estudiantes es baja 6.01/10 (convencionales) y 7.33/10 (LH-LaaS). Esta tendencia es coherente con lo hallado en la prueba piloto.
- Solamente para los estudiantes que realizaron experiencias convencionales, la dimensión Q7 ‘ tiempo suficiente’ fue la mejor valorada, mientras tanto los que realizaron prácticas en laboratorios híbrido LaaS el mayor valor lo obtuvo Q4 ‘realismo’.
- En general el laboratorio híbrido LaaS, tomando como promedio todas las calificaciones de sus factores, es calificado mejor 8.52/10 que los convencionales 7.91/10 con respecto a la forma como se utiliza la tecnología para mejorar el proceso enseñanza aprendizaje.

3.11.4. Los docentes a frente a las prácticas de laboratorio

Inicialmente se evalúa cual es el rol de los docentes en las prácticas y el resultado de la calificación del laboratorio de forma individual. Para ello se compara los dos grupos de laboratorios los Híbridos LaaS y los Convencionales respecto al rol docente, identificando cual es el rol docente más recurrente para cada tipo de laboratorio de forma individual al final de una experiencia de laboratorio.

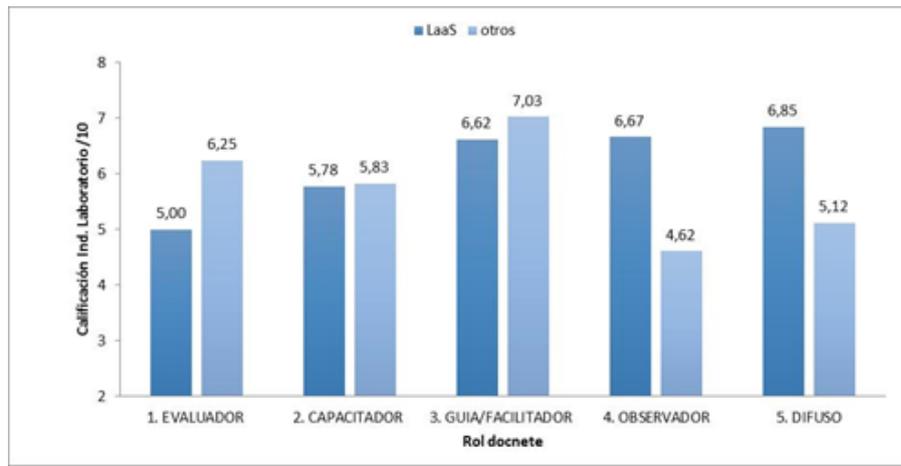


Figura 3.65: Rol docente y efectividad del laboratorio.

Los primeros hallazgos evidencian, según lo expresado por los estudiantes, que el rol docente donde se tienen un mayor impacto en su calificación de las experiencias de laboratorio en los laboratorios híbridos son rol observador y el rol que no es claro, en coherencia con lo mencionado por Spinel (Spinel y cols., 2018) donde se menciona que el eje de toda la formación es el estudiante y el rol docente cumple un papel secundario.

Sin embargo de la evaluación con ayuda del estadístico de contraste, no se evidencian diferencias significativas para concluir que existe relación entre el rol del docente y la nota de laboratorio entre los dos grupos analizados.

Dentro de la propuesta de análisis se incluyó indagar directamente a un grupo de docentes que imparten en ingeniería y que tiene asignado unidades con laboratorios para acompañar el proceso enseñanza aprendizaje. De la literatura (Chavarro, 2016), (R. R. Tirado, Herrera, Marques, Mejías, y Andújar, 2015) y (Gallego, 2007) y de los hallazgos del estudio piloto, se determinó que la importancia del rol docente que no es visible para el estudiante está en el diseño, implementación y desarrollo de las prácticas de laboratorio.

Tabla 3.43: Estadístico convencionales vs híbridos LaaS
Estadísticos de contraste^a

	NOTA LAB.SAL
U de Mann-Whitney	39.500
W de Wilcoxon	144.500
Z	-1.505
Sig. asintót. (bilateral)	.132
Sig. exacta [2*(Sig. unilateral)]	.141 ^b

a. Variable de agrupación: No. LaaS-otros

Fuente: El autor

Rol desarrollado por el docente en las prácticas:

Basado en ello, se seleccionó un grupo de **14** docentes universitarios que diseñaban laboratorios en ingeniería, indagando por la forma como se establece el proceso de diseño de laboratorios, su uso y los modos de operación que prefiere utilizar con sus estudiantes. Las características de los docentes fueron:

Tabla 3.44: Características de los docentes

ASPECTO	VALOR
Edad promedio	43 años
Tamaño de la muestra	14
Modalidad impartida	42.9 % Presencial 28.6 % Virtual 28.6 % presencial y virtual

Fuente: El autor

Fuente: El autor

La herramienta de intervención se aplicó a los docentes luego de un proceso de calificación por dos rondas jurados, con el fin de depurar y validar el test y las preguntas. Se aplicó a los docentes por medio de una herramienta tecnológica en línea, al finalizar el periodo académico. La encuesta se encuentra en el apéndice E. Los aspectos indagados fueron tres:

- Proceso de diseño de los laboratorios
- Potencial de las Metodologías pedagógicas utilizadas en LH
- Preferencia por los Modos de operación de los laboratorios

Proceso de diseño e implementación de experiencias de laboratorio: corresponde a las cuatro fases; diseño, construcción, implementación y mejoramiento. La calificación dada a los aspectos importantes del proceso tiene como fin conocer el nivel de importancia que el docente da a las etapas, al momento de participar el desarrollo de experiencias de laboratorio. La siguiente gráfica muestra la calificación dada sobre 5 a los aspectos estudiados.

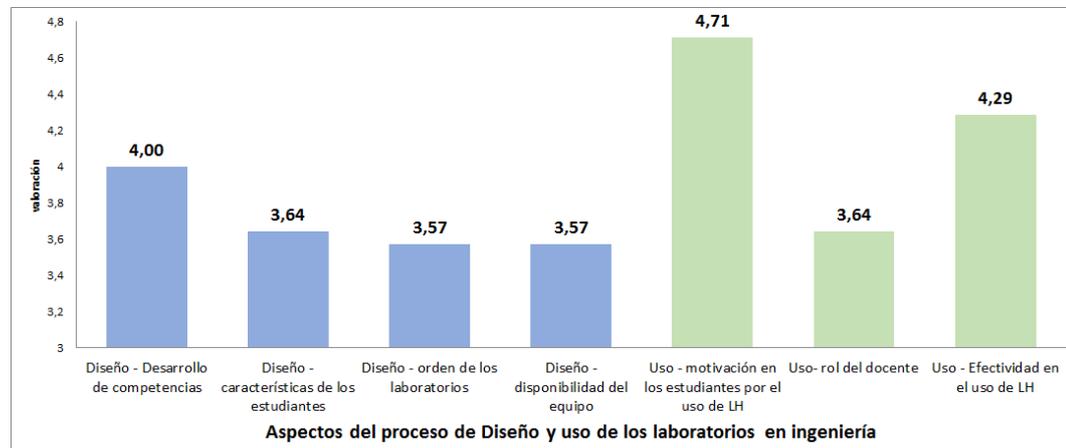


Figura 3.66: Aspectos al momento de diseñar y utilizar laboratorios

Una primera interpretación evidencia que el docente valora el uso de los laboratorios híbrido, tanto en la motivación alcanzada como en la efectividad que puede alcanzar en su implementación en el proceso de enseñanza aprendizaje. A su vez valora poco, si dispone del equipo real y el orden que pueda dar a las experiencias.

Potencial de las Metodologías pedagógicas utilizadas en LH: El objetivo de esta pregunta es conocer la percepción que se tiene de los laboratorios sobre el uso que le puede dar a los laboratorios híbridos tipo LaaS.

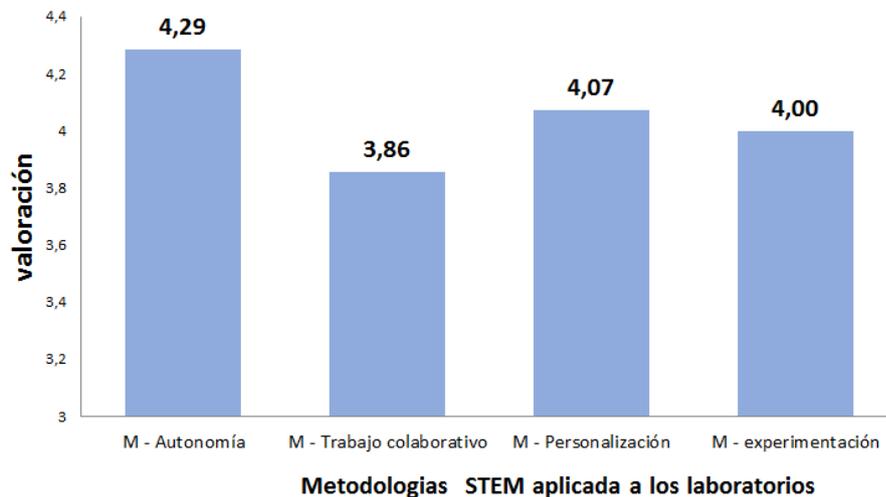


Figura 3.67: Metodologías preferidas por los docentes para LH

Las metodologías que tiene una aceptación mayor son las que dan más autonomía al estudiante en la realización de experiencias de laboratorio, esto es coherente con lo expresado por

los estudiantes. Las que menos valorizadas son las que facilita el trabajo en grupo.

Modos de Operación: son las formas como los docentes prefieren utilizar los laboratorios con sus estudiantes. El objetivo de esta pregunta es conocer la flexibilidad que debe tener los módulos de experimentación en el laboratorio SMART.

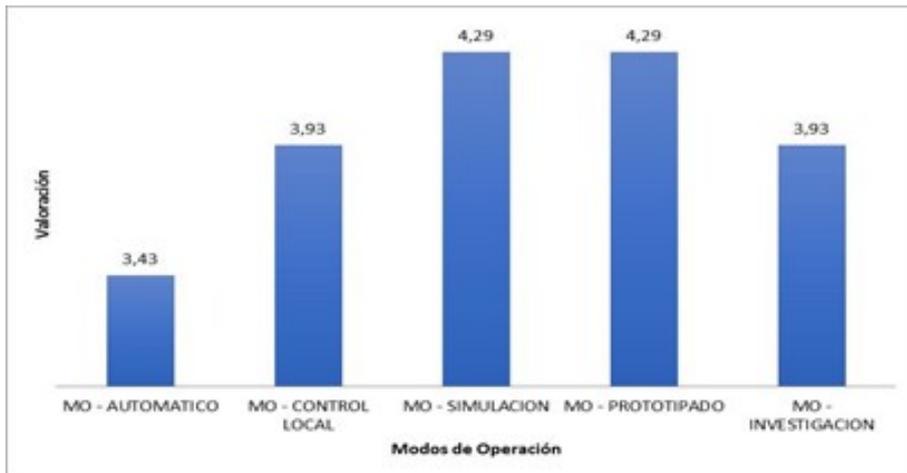


Figura 3.68: Valoración dado a los modos de operación por los docentes

Según los resultados los docentes prefieren utilizar los módulos de simulación y de prototipado en las experiencias de laboratorio y con un valor bajo a los modos de operación que permiten el trabajo automático de los equipos y sistemas que intervienen en la practica

Conclusiones:

- El rol del docente, para los estudiantes, en las prácticas de laboratorio debe ser secundario, favoreciendo la autonomía y la apropiación del conocimiento de los estudiantes de forma responsable.
- Los docentes indagados ven con motivación la implementación de los laboratorios híbrido en las prácticas de laboratorio en las unidades que imparten. En especial por el resultado que obtendrían en sus estudiantes.
- Los docentes creen que la implementación de los laboratorios híbridos puede tener un poco impacto en el trabajo colaborativo y el trabajo en grupo al igual que pasa en las prácticas convencionales.
- Las metodologías que dan más autonomía, como *Flipped Classroom* /Aprendizaje abierto / MOOCS. Son fuerte mente aceptadas para ser involucradas en los proceso de enseñanza aprendizaje.

- Para los docentes los modos de operación más apreciados para ser implementados están relacionados con los laboratorios virtuales y presenciales, donde se tiene un control mayor tanto sobre la experiencia como sobre los estudiantes.

3.11.5. Auxiliares y las prácticas de laboratorio

El interés de involucrar las opiniones del personal técnico que administran el sistema de laboratorios está en conocer las necesidades técnicas de diseño y montaje en un sistema global de experiencias de laboratorio (actual y futuro) y proponer estrategias que faciliten la implementación de los LH como; planes de capacitación, adquisición de equipos y desarrollo de protocolos para la puesta en funcionamiento de experiencias en los laboratorios de manufactura.

Para tan fin se diseñó un instrumento para indagar cuales elementos de la estructura física, lógica y administrativa deben ser analizados en detalle en una posible implementación de módulos de laboratorio híbrido en Ingeniería de Manufactura de forma sistemática y eficiente. El instrumento utilizado se encuentra en el Anexo C3.

Características de los auxiliares de laboratorio en manufactura tanto técnicos como en sistemas, que participaron en el estudio, se pueden ver en la Tabla 3.45.

Tabla 3.45: Características de los auxiliares y técnicos de laboratorio

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Número	7
Edad promedio	33
Formación	Técnicos 28,5 % - Profesionales 71,5 %

Fuente: El autor

Las características a indagar y los instrumento se validaron por medio herramientas de valoración con dos expertos en el tema de laboratorios: El director de laboratorios de la Universidad EAN y el técnico administrativo del área de laboratorios de manufactura de la Universidad Nacional de Colombia.

Características de los laboratorios LH por los auxiliares

La característica que más valoran los auxiliares indagados y que refleja un mayor trabajo y acercamiento con el diseño de las prácticas de laboratorio es la “participación” con 4.75/5. Esto evidencia que se deberán hacer un gran esfuerzo en la coordinación, capacitación y motivación, tanto para el docente como con el auxiliar, con el fin de coordinar las actividades de montaje de experiencias en LH, ya que requiere de un gran conocimiento técnico y pedagógico.

Y las que de menos valor están las relacionadas con los aspectos técnicos, como; “la capacidad

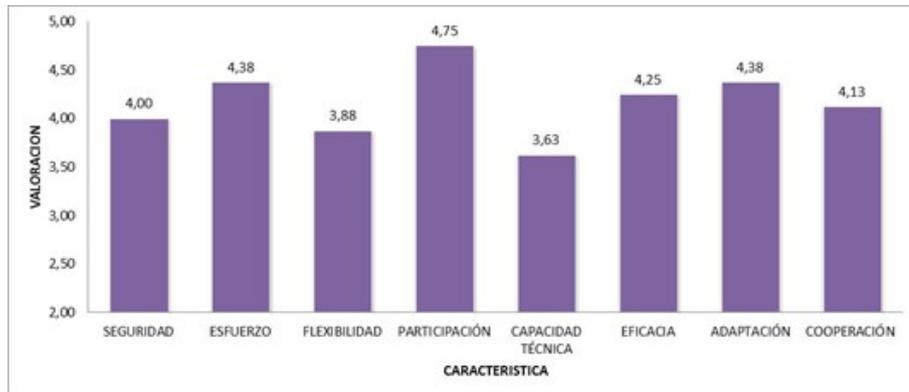


Figura 3.69: Características de los laboratorios LH por los auxiliares

técnica” 3.63/5 de los equipos que se tiene disponibles para implementar LH y “la flexibilidad” 3.88/5.

3.12. Conclusiones Capítulo 3

Este capítulo ha introducido el concepto SMART, que es un modelo de laboratorio híbrido que consta de tres estructuras: física, lógica y administrativa. Las explicaciones detalladas de la arquitectura del modelo SMART y la implementación en los diferentes tipos de laboratorio híbrido se presentaron con un caso de implementación en diferentes acciones de Ingeniería de Manufactura.

A continuación, se ha descrito la integración de los diferentes factores en un proceso ordenado y lógico para el diseño de experiencias de laboratorio. Esta integración permite obtener estadísticas detalladas sobre la eficacia del uso de los laboratorios híbridos en su implementación.

Finalmente, se presentó una discusión sobre el beneficio de los laboratorios híbridos frente a los convencionales (Estudiante- Docente – Auxiliar de laboratorio). Este capítulo tuvo como objetivo proporcionar un modelo técnico de implementación del concepto SMART para académicos de ciencias e ingeniería con poca o ninguna experiencia previa en integración virtual, práctica y remota de laboratorio. Esta propuesta de modelo de integración se ha denominado D-SMART.

La investigación sobre las experiencias formativas en laboratorios híbridos LaaS, en ingeniería ha sido muy provechosa no solo en los resultados con los estudiantes (comprensión de los fenómenos, motivación, acercamiento a la ciencia, etc.) sino con las posibilidades que se fomentan a partir de los primeros resultados.

Algunos de los resultados son:

- Con la propuesta de implementación de experiencias de laboratorios híbridos, se han utilizado más los laboratorios, las estadísticas de operación se han incrementado como también el tiempo de permanencia de los estudiantes en los mismos.
- Las prácticas han requerido un poco más de integración y de conocimiento del proceso formativo del estudiante para hacer más efectiva la experiencia.
- El modelo D–SMART permite no solo hacer el diseño de la práctica de laboratorios convencionales sino que facilita el diseño de laboratorios híbridos
- El papel del docente es fundamental en el proceso de desarrollo de una práctica de laboratorio híbrido, porque además de saber cuál es el objetivo educacional debe facilitar la integración de los elementos del laboratorio.
- Se ha visto en los estudiantes un grado mayor de atención y motivación por la experimentación.
- El acercamiento del docente con tecnologías emergente hace que se amplíen las posibilidades y su actividad de tutor se convierta en facilitador.

Capítulo 4

Conclusiones

Teniendo en cuenta los resultados encontrados, tanto en la percepción y en la eficacia de la formación en los estudiantes y las opiniones de otros actores como profesores y auxiliares, se desagrega el modelo por fases para integrar de forma metódica los elementos para el desarrollo de prácticas de laboratorio en manufactura (D-SMART) . Además se presentan los lineamientos para trabajos futuros en el campo de los laboratorios híbridos.

Índice de contenidos

4.1. Análisis del cumplimiento de objetivos.	210
4.2. Principales Conclusiones	212
4.3. Tendencias y trabajos futuros	218

4.1. Análisis del cumplimiento de objetivos.

El objetivo principal de generar sistemas modulares de laboratorios híbridos, que denominamos SMART, se cumplió de manera integral, ya que no solo se presentó la estructura de estos módulos para que fueron incorporados en ambientes educativos de Ingeniería de Manufactura con éxito, sino que se siguió el procedimiento general de diseño en ingeniería (Requerimientos, construcción de prototipos, uso y verificación de efectividad), consolidando una metodología aplicada (D- SMART), que facilitará tanto la creación de nuevas experiencias de laboratorio como de su gestión.

En la revisión realizada a las investigaciones sobre el uso de los laboratorios que se han realizado en los últimos años, descrita en el Capítulo 2, reveló que faltan estudios empíricos en los laboratorios en ingeniería y, en particular, en el proceso de desarrollo de experiencias de laboratorios. Lo evidenciado en muchos estudios experimentales es el uso de laboratorios virtuales y remotos en campos técnicos de la electrónica y el control pero pocas áreas complejas de la transformación industrial. Gracias al análisis de las competencias STEM y otros referentes no solo en ingeniería sino específicamente en temas de manufactura, se pudo detallar los requerimientos morfológicos de la estructura de una experiencia de laboratorio que brinda un marco conceptual para un análisis más detallado.

Las revisiones a diferentes autores han demostrado que las estructuras de laboratorio híbridas tanto Flipped como LaaS, se recomiendan en comparación con los laboratorios convencionales, no solo en la efectividad de su uso sino en otros aspectos como logísticos y administrativos. Además, muy pocos estudios académicos reportan la utilización de laboratorios híbridos de forma articulada y estructurada o el uso sistemático de combinar componentes de laboratorios de diferentes tipos en una sola experiencia de laboratorio en manufactura. Sin embargo, propuestas de autores como Zapata (Zapata y cols., 2016b) o (Dormido y cols., 2008) se han podido concretar en el desarrollo de una arquitectura de laboratorios híbridos, tanto en lo físico (Hardware, TIC, etc.) como sistemas de soporte lógico para su control y en la gestión para su desarrollo.

En Capítulo 3, basado en los referentes pedagógicos y académicos como ABET, OCDE, y ANECA se propuso un modelo; sistemático, procedimental e integral para el desarrollo de experiencias de laboratorio en ingeniería apoyada con estrategias de formación de STEM. Esta propuesta inicial derivó en un modelo denominada D-SMART que se compone de etapas que van conformando una estructura física, lógica y administrativa, y que finalmente se generan módulos híbridos SMART. Las 24 experiencias de laboratorios híbridos que se diseñaron a partir de un módulo prototipo, se implementaron y evaluaron, han llevado a cuestionar en otros aspectos no muy evidentes, como la importancia del docente, el rol de los estudiantes y su esquema mental o la estandarización de objetos de experimentación.

La implementación con estudiantes en ambientes reales controlados en diferentes unidades y

temáticas del campo de la manufactura, demostró que una propuesta derivada de la combinación facilita la efectividad, eficacia y aumenta la motivación de los estudiantes por el estudio de la ingeniería en las áreas de Ingeniería de Manufactura. Aunque el diseño e implementación de las 6 experiencias de laboratorio híbrido H1 a H6 han sido de gran ayuda para establecer y desarrollar un módulo estándar con los diferentes niveles de interacción presencial, remota y virtual para áreas cruciales de la manufactura, es importante resaltar que la cantidad de esfuerzo y el uso de recurso es mayor que en un laboratorio convencional.

Tanto el estudio piloto (en la UCLM) como el caso de estudio (en el EAN) han servido para estructurar una propuesta más robusta que va desde la necesidad de desarrollar compendios específicos hasta establecer variables de evaluación en eficacia del uso de laboratorios híbridos. Teniendo en el desempeño de estudiantes de Ingeniería de Manufactura y la efectividad de la infraestructura.

El uso de hardware y software de bajo costo o libre ha demostrado que aunque existan falencias y dificultades para la implementación, la funcionalidad de los módulos SMART son suficientes para etapas básicas de experimentación. Sin embargo para etapas de implementación de mayores exigencias y requerimientos es necesario pensar en recursos con características avanzadas y específicas, que lleven a un mayor estudio en todos los campos que trata el módulo SMART en su desarrollo e implementación.

En el capítulo 2 se propuso un modelo estructural de realización de prácticas, basado en la teoría del aprendizaje experiencial de Abdulwahed (Abdulwahed, 2010) sobre el proceso de control de lazo cerrado en el cual el estudiante finalmente compara los resultados frente a los estándares.

Finalmente, la propuesta de Anita (A. S. Diwakar y Noronha, 2016) y otros autores de indagar por la efectividad en el uso de experiencias de laboratorio cierra el círculo del modelo enseñanza aprendizaje confrontando lo que se espera en un estudiante y lo realmente logrado con este tipo de herramientas pedagógicas. Para verificar su efectividad se realizó un diseño de experimentación educativa especial de control y grupos experimentales y se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los datos durante un semestre de pruebas de laboratorio previas y posteriores. Los hallazgos confirman que los estudiantes que tienen una mejor activación de la competencia específica de manufactura “(d) Diseño de sistemas de fabricación: capacidad para analizar, sintetizar y controlar operaciones de fabricación utilizando métodos estadísticos” por medio del tipo de laboratorio LH2 que integra los laboratorios virtuales; local y el la nube. Y de los componentes de las competencias generales sobre experimentación el que obtuvo un mayor valor fue el “reconocimiento del equipo y software”.

Los resultados de la encuesta de los estudiantes enfatizan el importante papel del Laboratorio de en la formación de manufactura y muestran que dejó un impacto positivo en los estudiantes. El modelo fue bien recibido y se publicó en la revista de ingeniería DYNA (Vélez, Castillo-García, Espíndora, y Cobo, 2017). Este es uno de los pocos modelos para la crea-

ción de experiencias de laboratorios que se basa en diferentes dimensiones y pasos organizados.

4.2. Principales Conclusiones

La investigación determino que algunas de las dimensiones y variables son más significativas al momento de hacer el diseño y la implementación de una experiencia de laboratorios. Esto abre un nuevo abanico de necesidades de procesos de experimentación para corroborar la influencia de la variables entre si y la búsqueda de condiciones para lograr aumentar la efectividad. Un ejemplo de esto es la necesidad de incorporar tecnologías IIoT y *m-learning* en las estrategias de aprendizaje.

Algunas conclusiones generales de la investigación son:

- Las características individuales de los estudiantes y de los docentes que utilizan laboratorios en STEM en Ingeniería de Manufactura deben ser incluidas en una metodología que influya en su efectividad y en el diseño idóneo de laboratorios para ingeniería.
- Debido a la complejidad que puede resultar la experimentación en Ingeniería de manufactura (equipos reales, costos, largos tiempos de experimentación, riegos, etc) Los laboratorios híbridos resultan ser benéficos por las características de otros laboratorios puede incorporar los resultados de formación en Ingeniería de Manufactura.
- Con el resultado en las experiencias implementadas LH1 a LH6 se ha observado la consolidación del proceso del desarrollo de las competencias en Ingeniería de Manufactura, no solo al poder involucrar el proceso de mejoramiento sino por generar acciones de motivación en los estudiantes.
- Proponer un método de generación y uso de los Laboratorios híbridos mejora la experiencia de laboratorios para los diferentes actores del sistema de laboratorios y sirve para integrar otros procesos.

4.2.1. Desarrollo de un sistema general de laboratorios híbridos

Uno de los elementos importantes en crear módulos SMART ha sido que constituye una ayuda para aumentar la motivación por la experimentación en STEM y otras áreas anexas sustanciales como la producción limpia, la masificación del conocimiento y la incorporación de proceso de innovación. Y en especial en áreas cruciales y necesarias para una sociedad como es la manufactura y la producción industrial.

Un hallazgo importante de la investigación, más allá de la comprobación de la eficacia del uso de los laboratorios híbridos en ingeniería que ha sido en objetivo de esta investigación, es la necesidad de tener herramientas que permitan hacer un seguimiento al ciclo de vida a las prácticas de laboratorio. El tener un modelo metodológico para la creación de módulos de experiencias con laboratorios tiene como ventajas:

- Poder establecer parámetros de calidad a las prácticas de laboratorio
- Lograr una alta motivación y eficacia en el uso de los laboratorios
- Hacer pertinente y actualizado el conocimiento frente al diseño curricular
- Tener herramientas de medición y mejoramiento de los laboratorios
- Disponer de un sistema que apoye el desarrollo de prácticas en nuevas áreas
- Realizar actividades de colaboración con otras instituciones
- Integrar los diferentes actores en las prácticas de laboratorio desde el diseño
- Tener una amplia flexibilidad para llegar a cumplir los fines pedagógicos
- Incorporar estrategias pedagógicas de clase y laboratorios de manera eficiente
- Aumentar el uso de los laboratorios y equipos

Apoyado en el desarrollo de los módulos SMART, se propone un modelo metodológico para la creación de experiencias de laboratorio denominado D-SMART. Este modelo es útil para el diseño, implementación y evaluación de experiencias de laboratorio. El modelo está compuesto cuatro etapas¹:

- Requerimientos y Objetivos
- Diseño básico y conceptual
- Construcción y ajustes
- Medición y Evolución

Desarrollo de un modelo para el desarrollo de laboratorios incluidos los híbridos.

El primer paso del modelo es consolidar la necesidad de tener una experiencia articulada con el diseño curricular, pensando en la integración de conocimiento, habilidades, y tecnología de forma coherente y actualizada a las necesidades de la industria.

¹Se siguió el modelo de diseño de proyectos para ingeniería mecánica y áreas afines, desarrollado por Finger y Dixon (Finger y Dixon, 1989), que resume la teoría y metodología del diseño en ingeniería.

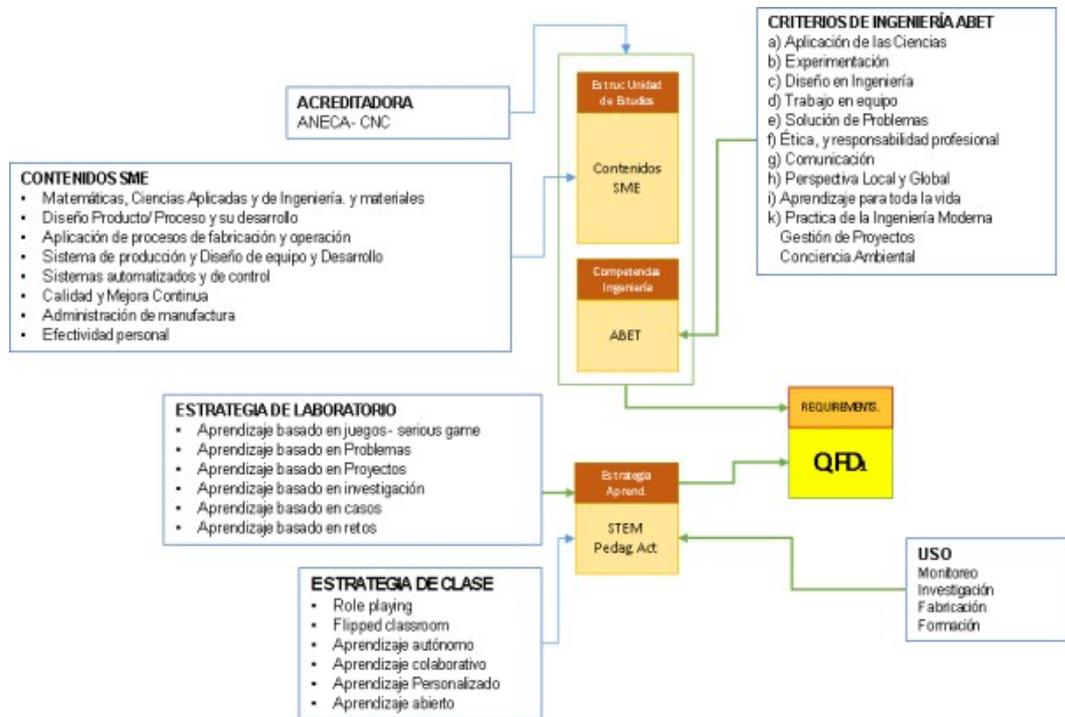


Figura 4.1: MD1 Estructura pedagógica

Como producto de este primer paso se presenta la propuesta, objetivo y estrategia de uso de una experiencia de laboratorio. Los requerimientos manifestados en esta etapa sirven para la integración al próximo paso.

El segundo paso es la definición de una estructura física en el contexto donde se realizará el laboratorio. Dando respuesta a preguntas como:

¿Qué aspectos del estilo de aprendizaje son particularmente relevantes (o significativos) en la educación en ingeniería?,

¿Cuáles estilos de aprendizaje prefieren los estudiantes y de ellos cuáles se ven favorecidos por los estilos de enseñanza de la mayoría de docentes?,

¿Qué se puede hacer para llegar a los estudiantes cuyos estilos de aprendizaje no son trabajados por los métodos habituales de enseñanza de la ingeniería?.

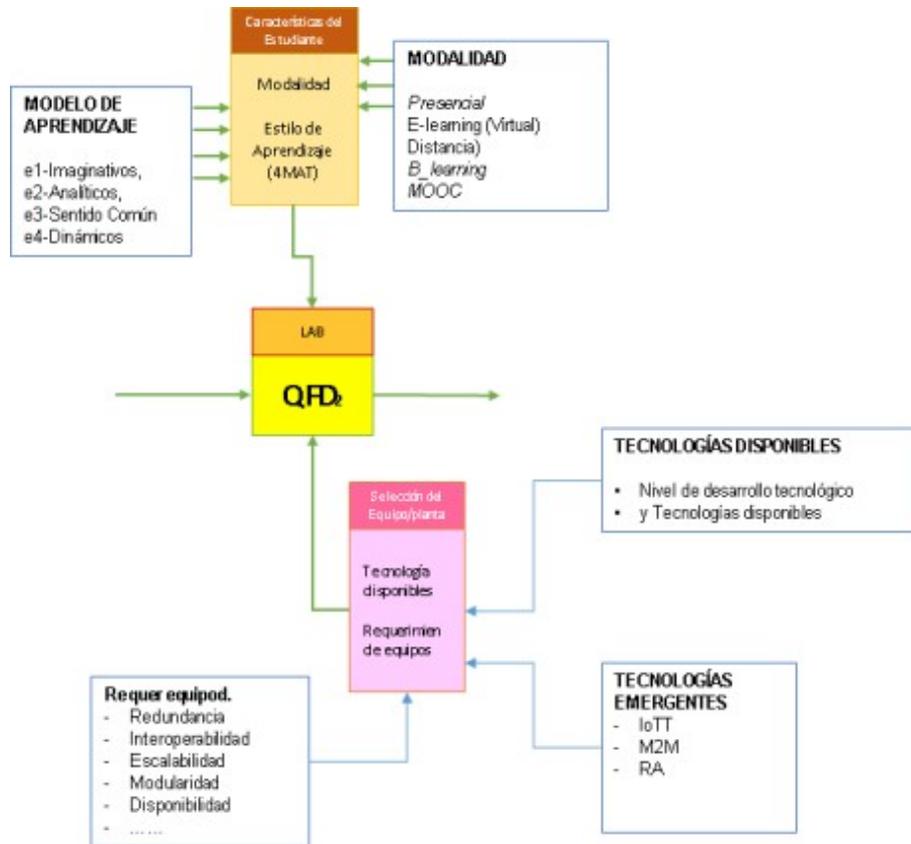


Figura 4.2: MD2 Estructura física

Como salida de este paso se determinan las especificaciones técnicas de los equipos que se requieren para cumplir con las características requeridas en el proceso de formación. El tercer paso corresponde al cumplimiento de los patrones necesarios para la incorporación de la experiencia en un sistema de laboratorio más complejos y robusto.

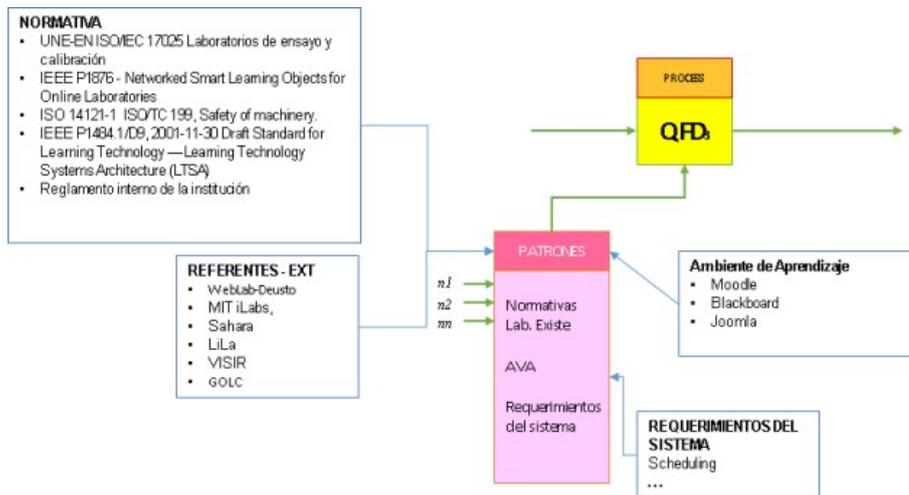


Figura 4.3: MD3 Estructura lógica

Resultado de esta incorporación, se obtiene la definición de la estructura lógica del módulo diseñado. Esta estructura lógica es de gran apoyo para que los usuarios puedan acceder a la experiencia del laboratorio

El siguiente paso busca la incorporación de del módulo en el esquema de laboratorios para que pueda ser utilizados por lo usuarios y auditados generalmente.

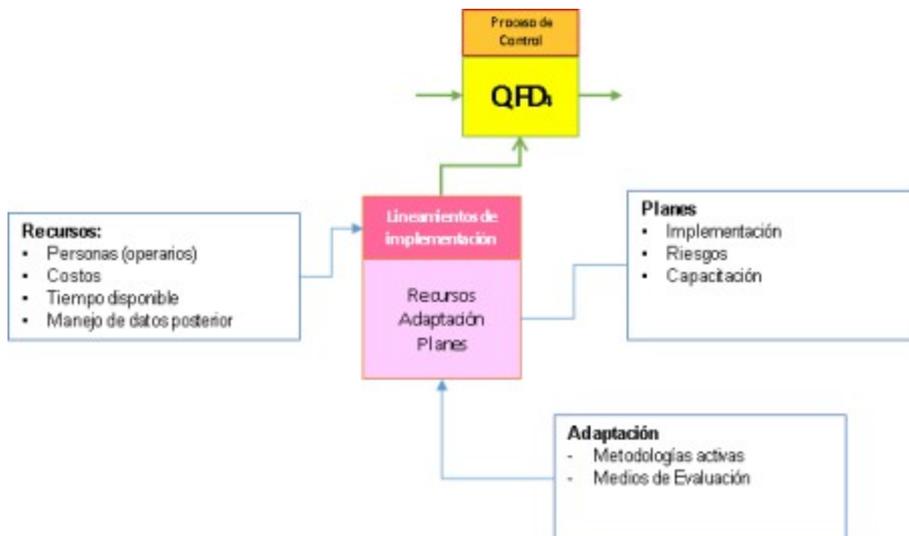


Figura 4.4: MD4 Implementación

Resultado de este paso es un módulo SMART básico, de experiencia de labo-

ratorio. El orden de la implementación de las estructuras facilita la integración (Lógica, Física y Administrativa).

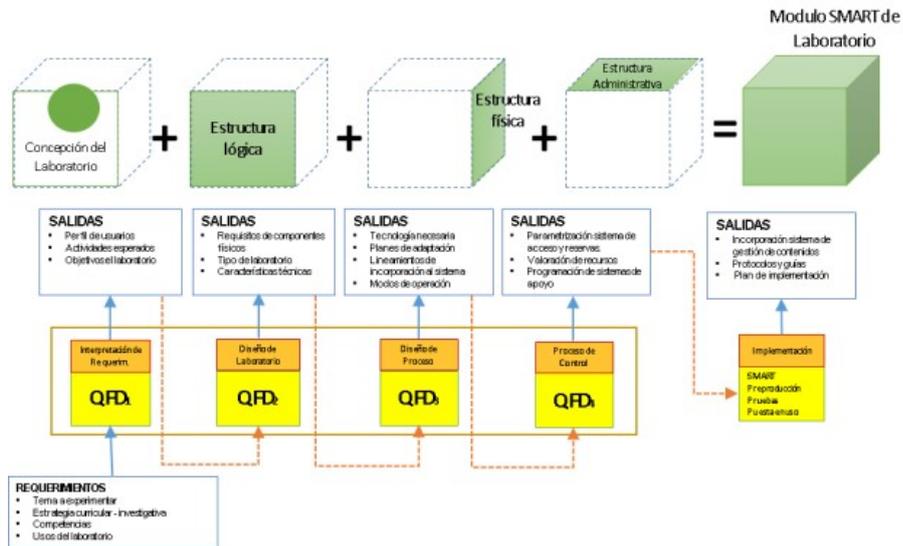


Figura 4.5: Productos de cada etapa

La siguiente fase es el uso de arreglo propuesto cumpliendo con los objetivos educacionales propuesto por medio de la implementación de estrategias pedagógicas. Para disminuir los errores, el proceso debe iniciar con pruebas y ensayos.



Figura 4.6: Fase de experimentación

Simultáneamente en con el proceso de experimentación, es necesario tomar información para realizar procesos de mejoramiento en tres campos principales: Adquisición tecnológica, desempeño de los estudiantes y efectividad en la formación.



Figura 4.7: Estructura del sistema de evaluación y mejoramiento

4.3. Tendencias y trabajos futuros

Grandes tendencias han de afectar en los próximos años el diseño, la implementación y la efectividad de las experiencias desarrolladas en los laboratorios en ingeniería. Estas acciones están siendo incorporadas de forma integrada y metódica a las actividades formativas en los laboratorios técnicos y científicos, para ello se requiere de una serie de pasos sencillos aprovechando propuestas de integración como la metodología D-SMART.

Algunas de estas tendencias son:

m-Learning:

La incorporación de la computación móvil, ya sea para acceder al laboratorio o como medio que complementa la estructura física y lógica, ha de llevar a una nueva tendencia que facilita el acceso y la flexibilidad del sistema. Por ello es imprescindible proporcionar a los laboratorios centros de datos confiables, conectividad de red y equipos de trabajo que desarrollen aplicaciones móviles para estos retos. Además de la realidad virtual y la realidad aumentada otras tecnologías de integración a la formación ayudaran a los laboratorios técnicos y científicos ha trasformar sus estructuras lineales a unas más dinámicas, interconectadas y accesibles como son la Industria 4.0, IIoT o M2M.

Workplace research:

La necesidad continúa de integrar equipos de trabajo y estructuras hará que la incorporación de medios de colaboración sean agregados más eficientemente a los procesos. Algunas de estas estrategias se concentran en diseñar puntos de intersección entre equipos (virtuales o reales) en espacios adaptados tecnológicamente. En el caso virtual, el uso de las redes sociales y de la teleoperación medida son un referente. Y en el caso físicos, se concentra en hacer visibles lo realizado por otros equipos de trabajo e incorporar tecnología para desarrollar múltiples entornos de trabajo.

Smart labs:

La información, datos y conocimiento extraídos de las prácticas tanto en su operación como la efectividad en los usuarios está tomando dimensiones que con los medios tradicionales no pueden ser analizadas rápidamente. Por ello la gestión que hay que hacerse requiere de tecnologías modernas para el intercambio de datos. Tecnología como la minería de datos, la inteligencia artificial, el Big Data y el machine learning harán que los laboratorios sean adaptativos, flexibles, personalizables y en especial dinámicos.

Learning factories - IFactory:

Los laboratorios futuros y en especial los de manufactura requieren un aumento de la relación con los procesos fabriles reales, esto con el fin de ser más pertinentes y facilitar la comprensión de los fenómenos. Algunas propuestas están en hacer los laboratorios en las plantas (o propuestas híbridas), implementar retos de la industria o enlazarlo con la práctica. Esto hará que los planes de estudios estén cada vez más centrados en la Industria y que los estudiantes estén, más expuestos a los conocimientos de ingeniería más relevantes y obtengan las habilidades adecuadas para tener éxito en sus carreras, incluyendo las habilidades blandas.

TRABAJO FUTURO

Las experiencias desarrolladas en laboratorios híbridos tipo *LaaS* han dejado a la vista otros aspectos que no se han estudiado a profundidad pero que influyen de alguna manera el proceso de enseñanza aprendizaje. A continuación se proponen algunas mejoras que pueden ser implementadas como líneas de investigación o proyectos en colaboración para cada una de estos aspectos:

1. Las mejoras que se podrían añadir a la plataforma de control y administración de los laboratorios híbridos, son las siguientes:

- La realización de un trabajo sistemático de análisis de resultados y datos derivados de la experimentación involucrando elementos tanto del desempeño del estudiante como de su comportamiento dentro de la dinámica de la experimentación.

- Utilizar métodos de *Learning Analytics*, para proponer características de personalización de las experiencias. Algunas de ellas ya se pueden consultar desde los ambientes de aprendizaje como Blackboard - Matriz de actividad y calificación, en donde se puede ver la actividad de un estudiante frente a las actividades de laboratorio.
- El aumento de programas en modelos híbridos de formación (presencial y virtual) también conocidos como Ejecutivos, PAT.² o B-learning, requiere que se analice cual debe ser el tipo y la estrategia de implementación de laboratorios híbridos debido al nivel de importancia que las experiencias puede tener en la formación y a las variantes de las nuevas tecnologías.

2. En el caso de los módulos SMART;:

- Desarrollar nuevos módulos SMART de laboratorios híbridos, aprovechando la infraestructura desarrollada, en áreas de un alto componente tecnológico (metalografía, fundición, inspección END). Como es el caso de la experiencia "Laboratorio Híbrido en microscopía aplicada a la ciencia de los materiales", que ya se tiene sus primeros resultados en 2019 - S1.

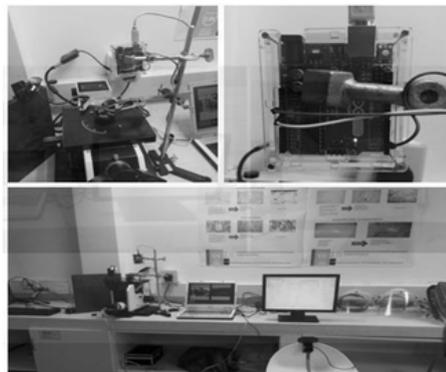


Figura 4.8: Montaje de la experiencia SMART en metalografía

- Incorporar tecnologías que pueda vincular otras formas de conexión o de toma de datos como RFID³, Xbee⁴ y Placas Arduino.
- Desarrollar un dispositivo Avatar_b más funcional y versátil para que se pueda involucrar el tema de tele-presencia cooperativa, *e-Manufacturing* e industria 4.0. Extendiendo a entornos con alta necesidad de desarrollo de competencias como la medicina

²Presencial Asistido por tecnología

³Identificación por radiofrecuencia

⁴Sistemas radio compatibles que permiten la comunicación entre dispositivos electrónicos

o alto riesgo para la vida.

3. En cuanto a la metodología D-SMART:

- Involucrar el rol del docente y el desarrollo de las competencias para un ejercicio y más efectivo, con apoyo de metodologías como TPACK. Un primer avance en esta línea fue la ponencia "Liderazgo en docentes y el trabajo en equipo en la formación híbrida" para el IICIDGP 2018, donde la ambientación fue laboratorios en ingeniería.
- Un proceso necesario por desarrollar, con el ánimo de apoyar el intercambio y la interoperatividad entre equipos y sistemas, es la 'Estandarización'. Aunque asociaciones como la IEEE ha desarrollado algunos estándares ("IEEE P1876™ Standard for Networked Smart Learning Objects for Online Laboratories") y el MEN, han hecho algunos avances sin ser difundidos ampliamente.
- La posibilidad de desarrollar a la par de las competencias técnicas las competencias blandas: como trabajo en equipo, comunicación, toma de decisiones, manejo de la incertidumbre y trabajo bajo presión.

4. En cuanto a la colaboración con otras universidades y centros de investigación, se necesita:

- Realizar un trabajo colaborativo entre instituciones que compartan experiencias con diferentes modos de operación y tipos de laboratorio híbrido. En esa vía se ha propuesto participar en el proyecto que se ha iniciado con la Universidad Libre - Bogotá, en el marco de la investigación sobre Laboratorios Remotos 2019-S2.
- Integrar la propuesta de laboratorios híbridos a otros laboratorios de instituciones bajo la modalidad federada con el fin de facilitar el acceso a experiencias diversas y con la industria. Esta acción es una de las grandes potencialidades que tienen las Instituciones de Educación, para poder integrarse con la industria ya que no solo acercaría a los estudiantes a problemas reales sino simultáneamente la industria con procesos de investigación.

Capítulo 5

Bibliografía

- Abdul Kadir, A., Xu, X., y Hammerle, E. (2011). Virtual machine tools and virtual machining-A technological review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27(3), 494–508. doi: 10.1016/j.rcim.2010.10.003
- Abdullah, F., y Ward, R. (2016). Developing a General Extended Technology Acceptance Model for E-Learning (GETAMEL) by analysing commonly used external factors. *Computers in Human Behavior*, 56, 238–256. doi: 10.1016/j.chb.2015.11.036
- Abdulwahed, M. (2010). *Towards Enhancing Laboratory Education by the Development and Evaluation of the "Trilab- a Triple Access Mode (Virtual, Hands-On and Remote) Laboratory* (Tesis Doctoral). Descargado de <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/6355>
- Abdulwahed, M., y Nagy, Z. K. (2013). Developing the TriLab, a triple access mode (hands-on, virtual, remote) laboratory, of a process control rig using LabVIEW and Joomla. *Computer Applications in Engineering Education*, 21(4), 614–626. doi: 10.1002/cae.20506
- Abele, E., Chryssolouris, G., Sihn, W., Metternich, J., ElMaraghy, H., Seliger, G., ... Seifermann, S. (2017). Learning factories for future oriented research and education in manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 66(2), 803–826. doi: 10.1016/j.cirp.2017.05.005
- Abrahams, I., y Millar, R. (2008). Does Practical Work Really Work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(17), 1945–1969. doi: 10.1080/09500690701749305
- Accreditation Board for Engineering and Technology Inc, y ABET. (2016). Criteria for accrediting engineering programs engineering programs. *Cycle*, 25. Descargado de <http://www.abet.org/LinkedDocuments-UPDATE/CriteriaandPP/C00108-09CACCriteria11-8-07.pdf>
- Adiego, J., Sanz, L. F., Bouab, N., Bouab, W., y Mass, J. (2007). Laboratorios Remotos en la WEB , una Herramienta para la Cooperación al Desarrollo en el Campo de la

- Educación. , 1–8.
- AENOR. (2002). UNE-EN ISO/IEC 17025. , 37.
- Alberto, G., Ríos, B. D. L., y Álvarez, O. H. (2012). Laboratorios En La Formación Del Ingeniero . Caso De Pontificia Bolivariana. *Universidad Pontificia Bolivariana*, 1, 23–24.
- Alemán Suárez, J. D., y Mata Mendoza, M. A. (2006). Guía de elaboración de un manual de prácticas de laboratorio, taller o campo: Asignaturas teórico prácticas. , 1–28.
- Andújar, J. M., y Mateo, T. J. (2010). Diseño de Laboratorios Virtuales y/o Remotos. Un Caso Práctico. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 7(1), 64–72. doi: 10.4995/RIAI.2010.01.06
- Ángel, C., Urdaneta, E., y Ángela, D. (2015). Diseño de un Modelo para el Diseño y Construcción de Maquetas para Laboratorios Remotos. , 1–10.
- Arcos, F. O. (2012). Las prácticas de laboratorio de física en la formación de ingenieros en la Universidad una mirada desde sus actores. *Univesidad Distrital*, 1, 12–13.
- Ariza, C. F., y Amaya, D. (2008). Laboratorio remoto aplicado a la educación a distancia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 18(2), 131–145.
- Armillotta, A. (2008). Selection of layered manufacturing techniques by an adaptive AHP decision model. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24(3), 450–461. doi: 10.1016/j.rcim.2007.06.001
- Artacho, M. R. (2016). Work in Progress on the Standardization of Online Laboratories for Education IEEE SA P1876 Group.
- Ashby, J. E. (2008). The effectiveness of collaborative technologies in remote lab delivery systems. *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*, 7–12. doi: 10.1109/FIE.2008.4720394
- Åström, P. (2004). *Simulation of Manufacturing Processes in Product Development* (Tesis Doctoral no publicada). Luleå University of Technology.
- Avila, J. L. (s.f.). Using Remote Laboratories for Education in Industrial Processes and Automation. *Particle & Particle Systems ...* (2), 35 – 59. doi: 10.3991/ijoe.v9i2.2491
- Badilla Quintana, M. G., y Meza Fernández, S. (2015). A pedagogical model to develop teaching skills. the collaborative learning experience in the Immersive Virtual World TYMMI. *Computers in Human Behavior*, 51, 594–603. doi: 10.1016/j.chb.2015.03.016
- Barbera, O., y Valdes, P. (1996). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *Enseñanza de las Ciencias*, 3, 365–379.
- Barrios, A., Panche, S., Duque, M., Grisales, V. H., Prieto, F., Villa, J. L., ... Canu, M. (2013). A multi-user remote academic laboratory system. *Computers and Education*, 62, 111–122. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.011> doi: 10.1016/j.compedu.2012.10.011
- Bencomo, S. D. (2004). Control learning: Present and future. *Annual Reviews in Control*, 28(1), 115–136. doi: 10.1016/j.arcontrol.2003.12.002
- Benmohamed, H., Lelev, A., Prévot, P., Leleve, A., y Prevot, P. (2005). Generic framework for remote laboratory integration. *ITHET 2005: 6th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, 2005, 2005*, 11–16. doi: 10.1109/ITHET.2005.1560229

- Benmohamed, H., Leleve, a., y Prevot, P. (2004). Remote laboratories: new technology and standard based architecture. *Proceedings. 2004 International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications (IEEE Cat. No.04EX852)*, 101 – 2. doi: 10.1109/ICTTA.2004.1307634
- Berglund, A., y Heintz, F. (2014). Integrating Soft Skills into Engineering Education for Increased Student Throughput and more Professional Engineers. *LTHs 8:e Pedagogiska Inspirationskonferens*(December).
- Bochicchio, M., y Longo, A. (2009). Hands-on remote labs: Collaborative web laboratories as a case study for it engineering classes. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2(4), 320–330. doi: 10.1109/TLT.2009.30
- Bosch, H. E., Di Blasi, M. a., Pelem, M. a., Bergero, M. S., Carvajal, L., y Geromini, N. S. (2011). Nuevo paradigma pedagógico para enseñanza ciencias y matemáticas. *Avances en Ciencia e Ingeniería*, 2(3), 131–140.
- Bose, R. (2013). Virtual labs project: A paradigm shift in internet-based remote experimentation. *IEEE Access*, 1, 718–725. doi: 10.1109/ACCESS.2013.2286202
- Bravo, E. C., y Bacca, E. B. (2009). Laboratorio Distribuido Con Acceso. , 51–61.
- Bravo Castillo, M. (2009). Capítulo 10 Enseñanza-Aprendizaje De Las Matemáticas Utilizando Como Apoyo Ambientes Virtuales De Aprendizaje. *Las Tecnologías De La Información En Contextos Educativos: Nuevos Escenarios De Aprendizaje*(1937), 177–202.
- Bright, C., Lindsay, E., Lowe, D., Murray, S., y Liu, D. (2008). Factors that impact learning outcomes in both simulation and remote laboratories. *ED-MEDIA 2008–World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications*, 6251–6258. Descargado de <http://www.editlib.org/p/29248>
- Brinson, J. R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers and Education*, 87, 218–237. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.003> doi: 10.1016/j.compedu.2015.07.003
- Buitrago, J. A., Giraldo, F. D., y Lamprea, J. A. (2011). Remote access lab for Mitsubishi RV-2AJ robot. *2011 IEEE 9th Latin American Robotics Symposium and IEEE Colombian Conference on Automatic Control, LARC 2011 - Conference Proceedings*. doi: 10.1109/LARC.2011.6086802
- Burke-Vigeland, M., Kelley, K., Moore, M., Rivera, S. & Thaler, M. (2013). The ABCs of STEM. *Gensler*, 8. Descargado de www.gensler.com
- Calvo, I., Marcos, M., Orive, D., y Sarachaga, I. (2010). Building complex remote learning laboratories. *Computer Applications in Engineering Education*, 18(1), 53–66. doi: 10.1002/cae.20239
- Campbell, C., y Dobozy, E. (2013). What is the relationship between Learning Design and TPACK? *2013 IEEE 63rd Annual Conference International Council for Education Media (ICEM)*, 1–6. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6820149> doi: 10.1109/CICEM.2013.6820149
- Cañada, F. J. A. (2013). *Rúbricas para la Evaluación de Competencias* (Cuadernos ed.).
- Cao, X., y Zhu, S. A. (2010). iEELab practice: A hybrid remote laboratory for distance

- education in electrical engineering. *ICCSE 2010 - 5th International Conference on Computer Science and Education, Final Program and Book of Abstracts*, 592–596. doi: 10.1109/ICCSE.2010.5593543
- Capote León, G. E., Rizo Rabelo, N., y Bravo López, G. (2016). La formación de ingenieros en la actualidad. Una explicación necesaria. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(1), 21–28.
- Cardona, F. E. (2013). *Las prácticas del laboratorio como estrategia didáctica*. (Inf. Téc.). Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Cardona, J., Hidalgo, M. Á., Castán, H., Rojas, F., Borro, D., y Jaramillo, H. (2007). *Realidad virtual y procesos de manufactura*.
- Carro Fernandez, G. (2014). *SISTEMA DE INTEGRACIÓN DE LABORATORIOS REMOTOS DE ROBÓTICA (SiLaRR): LABORATORIO REMOTO DE ROBÓTICA , ESCALABLE , VERSÁTIL Y MODULAR* (Tesis Doctoral no publicada).
- Carvajal Díaz, A., y Ramírez Cajiao, C. (2008). Diseño De Un Modelo De Evaluación Para Un Ambiente De Aprendizaje Activo En Ingeniería. *Revista Educación en Ingeniería*, 3(6), 11–19. Descargado de <http://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/57>
- Carvajal Díaz, A., y Ramírez Cajiao, C. (2009). Aplicación de la metodología CYBERSYN en evaluación de aprendizaje activo en ingeniería. *Revista Educación en Ingeniería*, 4(7), 1–9. Descargado de <http://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/70>
- Castellanos, J. (2013). Proyectos de investigación aplicada para el desarrollo de competencias en estudiantes de Ingeniería. *El hombre y la máquina*, 42, 73–81.
- Chandra, B. P., Geevarghese, K., y Gangadharan, K. (2014). Design and Implementation of Remote Mechatronics Laboratory for e-Learning Using LabVIEW and Smartphone and Cross-platform Communication Toolkit (SCCT). *Procedia Technology*, 14, 108–115. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212017314000516> doi: 10.1016/j.protcy.2014.08.015
- Chaos, D., Chacón, J., Lopez-Orozco, J. A., y Dormido, S. (2013). Virtual and remote robotic laboratory using EJS, MATLAB and LabVIEW. *Sensors (Switzerland)*, 13(2), 2595–2612. doi: 10.3390/s130202595
- Chavarro, O. (2016). *Rol que desempeña el profesor en la educación a distancia en la modalidad virtual* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Pedagógica Nacional, Colombia.
- Chen, X., Osakue, D., Wang, N., Parsaei, H., Song, G., Sydney, T., ... Kurson, S. (s.f.). Expanding the boundaries of the classroom: Implementation of remote laboratories for industrial electronics disciplines. *IEEE Industrial Electronics Magazine*(3), 3729–3734. doi: 10.1109/MIE.2012.2206872
- Chiang, L. (2011). Efectos y contribuciones del uso de simuladores sobre el perfil de egreso de alumnos, del sector metal-mecánico. *The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference*, 1, 1689–1699. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Chougule, R. G., Jalan, M. K., y Ravi, B. (2000). Casting Knowledge Management in a virtual foundry environment.

- CIDE, C. d. I. y. D. d. l. E. (2010). *Una Metodología para Aprender Matemática y Ciencias* (Inf. Téc.). Santiago de Chile, Chile: Centro de Investigación y Desarrollo de la Educación - CIDE.
- Cobb, P., Schauble, L., Lehrer, R., DiSessa, A., y Confrey. (s.f.). Design Experiments in Educational Research. *Educational Psychologist*(1), 9–13. doi: 10.3102/0013189X032001009
- Collazos, C., y Mendoza, J. (2006). Cómo aprovechar el aprendizaje colaborativo en el aula. *Educación y Educadores*, 9(2), 61–76. Descargado de <http://www.redalyc.org/pdf/834/83490204.pdf>
- CONACES. (2016). Documento Base para la elaboración de propuesta de Condiciones de Calidad específicas para programas de nivel profesional universitario en el área de las Ingenierías. , 43.
- Contreras, D. (2012). *Desarrollo de una Aplicación software para laboratorios remotos* (Tesis Doctoral, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID). doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Costa-Castelló, R., Vallés, M., Jiménez, L., Diaz-Guerra, L., Valera, A., y Puerto, R. (s.f.). Integración de dispositivos físicos en un laboratorio remoto de control mediante diferentes plataformas: Labview, Matlab y C/C++. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*(1), 23–34. doi: 10.1016/S1697-7912(10)70005-4
- Coyle, E., Bucciarelli, L. L., y Mcgrath, D. (2009). Engineering Education in the US and the EU Engineering Education in the US and the EU. , 0–24.
- Cubides, J., y Casallas, S. (2015). Diseño de las guías de laboratorio para desarrollar competencias laborales específicas en el programa de ingeniería industrial de la UMNG. , 10, 151–159.
- David, J., Méndez, O., Manuel, J., Osorio, A., y Baracaldo, R. R. (2013). Actualidad y perspectivas en la enseñanza del área de manufactura a estudiantes de ingeniería. , 16(1), 59–71.
- Davies, C. (2008). Learning and Teaching in Laboratories. *Higher Education Academic Engineering Subject Centre*, 1–26.
- Davis, B., y Summers, M. (2015). Applying Dale’s Cone of Experience to increase learning and retention: A study of student learning in a foundational leadership course. *QScience Proceedings*, 2015(4), 6. Descargado de <http://dx.doi.org/10.5339/qproc.2015.elc2014.6> <http://www.qscience.com/doi/10.5339/qproc.2015.elc2014.6> doi: 10.5339/qproc.2015.elc2014.6
- De la Rosa, E. (2012). *ARQUITECTURA DE SOFTWARE PARA UN LABORATORIO VIRTUAL PARA ESTANQUES ACUÍCOLAS VÍA INTERNET* (Tesis Doctoral no publicada). Intituto Tecnológico de la Paz.
- De La Torre, L., Heradio, R., Jara, C. A., Sanchez, J., Dormido, S., Torres, F., y Candelas, F. A. (2013). Providing collaborative support to virtual and remote laboratories. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 6(4), 312–323. doi: 10.1109/TLT.2013.20
- Derntl, M., y Motschnig-Pitrik, R. (2005). The role of structure, patterns, and people in blended learning. *Internet and Higher Education*, 8(2), 111–130. doi: 10.1016/

- j.iheduc.2005.03.002
- Díaz, M. R. (2010). Aplicación del sistema 4MAT en la enseñanza de la física a nivel universitario. *Revista mexicana de física E*, 56(1), 29–40. Descargado de <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S1870-35422010000100005>
- Díez, R. H., Cotano, J. B., y Yuste, A. P. (2009). Experiencias y metodologías “b-learning” para la formación y evaluación en competencias genéricas en Ingeniería. *La Cuestión Universitaria*(5), 33–45. Descargado de <http://oa.upm.es/5252/2/INVE-MEM-2009-67469.pdf>
- Diwakar, A., Patwardhan, M., y Murthy, S. (2012). Pedagogical analysis of content authoring tools for engineering curriculum. *Proceedings - 2012 IEEE 4th International Conference on Technology for Education, T4E 2012*, 83–89. doi: 10.1109/T4E.2012.15
- Diwakar, A. S., y Noronha, S. B. (2016). The Effectiveness of Virtual Labs in Engineering Education- What do we measure ? , 30(1).
- Dobrzański, L. A., y Honysz, R. (2010). Artificial intelligence and virtual environment application for materials design methodology. , 45(2), 69–94.
- Dormido, S., Vargas, H., Sanchez, J., Duro, N., Dormido, R., Dormido-Canto, S., y Esquembre, F. (2007). Using Web-based laboratories for control engineering education. *International Conference on Engineering Education – ICEE 2007*, 5–10.
- Dormido, S., Vargas Oyarzun, H., Sanchez Moreno, J., Dormido, R., Duro, N., Dormido Canto, S., y Morilla, F. (2008). Developing and implementing virtual and remote labs for control education: The UNED pilot experience BT - 17th World Congress, International Federation of Automatic Control, IFAC, July 6, 2008 - July 11, 2008. , 17(1 PART 1), 8159–8164. Descargado de <http://dx.doi.org/10.3182/20080706-5-KR-1001.0624> doi: 10.3182/20080706-5-KR-1001.0624
- Duque, G. (2017). *MODELO DE MEDICIÓN DEL IMPACTO DE LA NORMA TÉCNICA DE CALIDAD EN LA GESTIÓN PÚBLICA NTC-GP 1000:2009 EN EL SECTOR SALUD* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad EAN.
- Duque, J., Pérez, M., Mesa, M., Amaya, D., y Camargo, F. (2015). Accesibilidad a las celdas de manufactura flexible automatizadas a través de la red nacional RENATA y red internacional red clara para supervisar y controlar su estado y funcionamiento. *The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference*, 1, 1689–1699. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Durango Usuga, P. A. (2015). Las prácticas de laboratorio como una estrategia didáctica alternativa para desarrollar las competencias básicas en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la química. , 77.
- Elawady, Y. . H., y Tolba, a. S. (2009). Educational Objectives Of Different Laboratory Types: A Comparative Study. *International Journal of Computer Science and Information Security*, 6(2), 89–96. Descargado de <http://arxiv.org/abs/0912.0932>
- Emiro, L., Bravo, C., Alfonso, J., Ortiz, T., Distrital, U., y José, F. (2015). Diseño de guías de laboratorio para desarrollar habilidades profesionales en la asignatura Automatización del programa de ingeniería industrial. , 8(2), 112–122.
- Employment and Training Administration United States Department. (2010). Advanced Manufacturing Competency Model. (April).

- Esteban, M. (2011). Del “ Aprendizaje Basado En Problemas ” (ABP) al “ Aprendizaje Basado En La Acción ” (ABA). Claves para su complementariedad e implementación. *REDU. Revista de Docencia Universitaria*, 9(1), 91–107.
- Evans, L. (2013). The Effectiveness of Using Virtual Laboratories to Teach Computer Networking Skills in Zambia. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Fabregas, E., Farias, G., Dormido-Canto, S., Dormido, S., y Esquembre, F. (2011). Developing a remote laboratory for engineering education. *Computers and Education*, 57(2), 1686–1697. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2011.02.015> doi: 10.1016/j.compedu.2011.02.015
- Fairweather, J. (2008). Linking Evidence and Promising Practices in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Undergraduate Education: A Status Report for The National Academies National Research Council Board of Science Education. *Workshop on Linking Evidence and Promising Practices in STEM Undergraduate Education*.
- Farance, F., y Tonkel, J. (2001). IEEE P1484.1/D9, 2001-11-30 Draft Standard for Learning Technology - Learning Technology Systems Architecture (LTSA). , 1–120.
- Feisel, L. D., y Rosa, A. J. (2005). The role of the laboratory in Undergraduate Engineering Education. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 121–130. doi: 10.1002/j.2168-9830.2005.tb00833.x
- Felder, R. M., y Brent, R. (2003). Designing and Teaching Courses to Satisfy the ABET Engineering Criteria. *Journal of Engineering Education*, 92(1), 7–25. Descargado de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.2168-9830.2003.tb00734.x/abstract> doi: 10.1002/j.2168-9830.2003.tb00734.x
- Fernandez, G. C., Ruiz, E. S., Gutierrez, S. M., Gil, M. C., y Perez, F. M. (2012). Flexibility of wireless technologies in learning in robotic laboratories. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*. doi: 10.1109/EDUCON.2012.6201060
- Ferris, J. B. (2014). The design, implementation, assessment, and evaluation of a power systems protection laboratory curriculum. , 312. Descargado de <http://search.proquest.com.ezproxy.ugm.ac.id/docview/1524266230/abstract/86B8DFF28A7E4AF7PQ/1?accountid=13771{%}5Cnhttp://media.proquest.com.ezproxy.ugm.ac.id/media/pq/classic/doc/3302889721/fmt/ai/rep/NPDF?hl=powers,power,powers,power,electrical,electrical>
- Figueroa, N., y Viglicca, E. (2006). Reflexiones sobre nuevos enfoques de enseñanza en ingeniería a partir de las experiencias con estilos de aprendizaje . , 3(7), 32–36.
- Finger, S., y Dixon, J. R. (1989). A review of research in mechanical engineering design. Part I: Descriptive, prescriptive, and computer-based models of design processes. *Research in Engineering Design*, 1(1), 51–67. doi: 10.1007/BF01580003
- Fletcher, C., Ritchie, J., Lim, T., y Sung, R. (2013). The development of an integrated haptic VR machining environment for the automatic generation of process plans. *Computers in Industry*, 64(8), 1045–1060. doi: 10.1016/j.compind.2013.07.005
- Fore, G. A., Feldhaus, C. R., Sorge, B. H., Agarwal, M., y Varahramyan, K. (2015). Learning at the nano-level: Accounting for complexity in the internalization of secondary STEM

- teacher professional development. *Teaching and Teacher Education*, 51, 101–112. doi: 10.1016/j.tate.2015.06.008
- Gallant, D. (2007). Science , Technology , Engineering , and Mathematics (STEM) Education. , 1–7. doi: 10.12973/eurasia.2014.1070a
- Gallardo, A., Richter, T., Debicki, P., Bellido, L., Mateos, V., y Villagra, V. (2011). A rig booking system for on-line laboratories. *2011 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 643 – 8. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1109/EDUCON.2011.5773206>
- Gallego, M. J. (2007). Las funciones docentes presenciales y virtuales del profesorado universitario. *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 8(2), 137–161. Descargado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=201017334009>
- Garcia-Zubia, J., y Alves, G. R. C. (2012). *Using Remote Labs in Education*. Descargado de <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=PQsXw6q5arIC&oi=fnd&pg=PA464&dq=Using+Remote+Labs+in+Education&ots=yUT{ }e182kf&sig=8oVWXh12tfmPMoztsoLejQwzTUo>
- Gateway4labs. (2014). gateway4labs Documentation.
- Gibbins, L., y Perkin, G. (2013). *Laboratories for the 21st Century in STEM / Higher Education*. Descargado de <http://oro.open.ac.uk/id/eprint/38849/%}5Cnhttp://oro.open.ac.uk/38849/1/Labs{ }for{ }21st{ }century.pdf>
- Gomes, L., y Bogosyan, S. (2009). Current Trends in Remote Laboratories. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 56(12), 4744–4756. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/5280206/> doi: 10.1109/TIE.2009.2033293
- Gomes, L. F. D. S., y García Zubía, J. (2007). *Advances on remote laboratories and e-learning experiences* (Vol. 6). doi: 10.1109/MIE.2008.924851
- González, M., Marchueta, J., y Vilche, E. A. (2011). Modelo de aprendizaje experiencial de Kolb aplicado a laboratorios virtuales en Ingeniería en Electrónica. *Universidad Nacional de La Plata.*, 8. Descargado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26533>
- Grove, M., Overton, T., y Boyes, L. C. (2013). *Getting Started in Pedagogic Research within the STEM Disciplines Getting Started in Pedagogic Research within the STEM Disciplines*. Descargado de <http://www.heacademy.ac.uk/assets/documents/resources/publications/STEM-pdfs/Pedagogic{ }Research{ }Guide{ }Final{ }Version.pdf>
- Guinaldo, M., De La Torre, L., Heradio, R., y Dormido, S. (2013). A virtual and remote control laboratory in moodle: The ball and beam system. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 10(PART 1), 72–77. doi: 10.3182/20130828-3-UK-2039.00033
- Han, J. H., y Finkelstein, A. (2013). Understanding the effects of professors’ pedagogical development with Clicker Assessment and Feedback technologies and the impact on students’ engagement and learning in higher education. *Computers and Education*, 65, 64–76. doi: 10.1016/j.compedu.2013.02.002
- Han, S. W. (2016). International Journal of Educational Development National education systems and gender gaps in STEM occupational expectations. *International Journal of*

- Educational Development*, 49, 175–187. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijedudev.2016.03.004> doi: 10.1016/j.ijedudev.2016.03.004
- Hans, R. (2016). Remote Computer Laboratories: Opportunities for South African Universities. *2016 International Conference on Learning and Teaching in Computing and Engineering (LaTICE)*, 76–80. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/7743157/> doi: 10.1109/LaTiCE.2016.42
- Henke, K., Ostendorff, S., Wuttke, H. D., Vietzke, T., y Lutze, C. (2013). Fields of applications for hybrid online labs. *International Journal of Online Engineering*, 9(SPL.ISSUE3), 20–30. doi: 10.3991/ijoe.v9iS3.2542
- Henke, K., Ostendorff, S., Wuttke, H. D., y Vogel, S. (2012). A grid concept for reliable, flexible and robust remote engineering laboratories. *International Journal of Online Engineering*, 8(SPECIAL ISSUE 1), 42–49. doi: 10.3991/ijoe.v8iS3.2263
- Henke, K., Vietzke, T., Wuttke, H. D., y Ostendorff, S. (2015). Safety in interactive hybrid online labs. *International Journal of Online Engineering*, 11(3), 56–61. doi: 10.3991/ijoe.v11i3.4557
- Heradio, R., de la Torre, L., y Dormido, S. (2016a). Virtual and remote labs in control education: A survey. *Annual Reviews in Control*, 42(August), 1–10. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.08.001> doi: 10.1016/j.arcontrol.2016.08.001
- Heradio, R., de la Torre, L., y Dormido, S. (2016b). Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis. *Annual Reviews in Control*, 42(August), 1–10. doi: 10.1016/j.arcontrol.2016.08.001
- Hernandez-Jayo, U., y Garcia-Zubia, J. (2016). Remote measurement and instrumentation laboratory for training in real analog electronic experiments. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 82, 123–134. doi: 10.1016/j.measurement.2015.12.017
- Herrera, R. S., Márquez, M. A., Mejías, A., Tirado, R., y Andújar, J. M. (2015). Exploring the usability of a remote laboratory for photovoltaic systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(29), 7–12. doi: 10.1016/j.ifacol.2015.11.205
- Herrmann, N. (1995). Creative Problem Solving. *IEEE Potentials Magazine*, 4–9.
- Higgins, M., y Grant, F. (2010). *Effective and Efficient Methods of Formative Assessment* (Inf. Téc. n.º January).
- Hilliger, I., y Universidad, P. (2017). Does the Revision of ABET Student Outcomes Include the Competencies Required to Succeed in Start-Ups and Entrepreneurial Companies ?
- Hudson, Peter. English, Lyn. Dawes, Les. King, Donna. Baker, S. (2015). Exploring Links between Pedagogical Knowledge Practices and Student Outcomes in STEM Education for Primary Schools. *Australian Journal of Teacher Education*, 40(6), 134–151.
- Humos, A. A.-E., Alhalabi, B., Hamzal, M. K., Shufro, E., Awada, W., y Abu-El Humos, A. (2005). Remote Labs Environments (RLE): A constructivist online experimentation in science, engineering, and information technology BT - IECON 2005: 31st Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, November 6, 2005 - November 10, 2005. *IECON 2005. Thirty-First Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics*

- Society (IEEE Cat. No.05CH37699)*, 2005, 2156–2161. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1109/IECON.2005.1569238> doi: 10.1109/IECON.2005.1569238
- ICONTEC. (2005). Norma Técnica Colombiana Ntc-Iso / Iec 17025. , 49. Descargado de <https://www.invima.gov.co/images/pdf/red-nal-laboratorios/resoluciones/NTC-ISO-IEC-17025-2005.pdf>
- Infante Jiménez, C. (2014). Propuesta Pedagógica Para El Uso De Laboratorios Virtuales Como Actividad Complementaria En Las Asignaturas Teórico-Prácticas. , 19, 917–937. Descargado de <http://eds.a.ebscohost.com.ezproxy.unal.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=ccf6c445-c298-4a6c-9d87-4e598ab76f0f%40sessionmgr4005&vid=13&hid=4205>
- Interf. (2017). *Simuladores de Formación profesional*. Descargado 2017-12-12, de <http://recursostic.educacion.es/fprofesional/simuladores/web/index.php?xml=f-fabricacion&xsl=familia>
- International Organization for Standardization, I. (2007). ISO 14121 - 1. Seguridad de las máquinas - Evaluación de riesgos - Parte 1: Principios. , 1, 28.
- Jara, C. A., Candelas, F. A., Puente, S. T., y Torres, F. (2011). Hands-on experiences of undergraduate students in Automatics and Robotics using a virtual and remote laboratory. *Computers and Education*, 57(4), 2451–2461. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.003> doi: 10.1016/j.compedu.2011.07.003
- Jiménez, C., y Ceballos, J. (2007). Modelo De Armado De Cursos Flexibles En Un Entorno Virtual De Red Académica. *Dyna*, 161–169. Descargado de <http://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/1446/1211>
- Johnson, L., Adams Becker, S., Cummins, M., y Estrada, V. (2012). Perspectiva Tecnológica para la Educación STEM+ 2012-2017. *The New Media Consortium*, 28. Descargado de <https://www.yumpu.com/es/document/view/28475867/perspectiva-tecnologica-para-la-educacion-stem-2012-2017>
- Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V., y Martín, S. (2013). Perspectiva Tecnológica para la Educación STEM+ 2013-2018: Análisis Sectorial Proyecto Horizon NMC.
- Juwah, C., Macfarlane-dick, D., Matthew, B., Nicol, D., Ross, D., Smith, B., y Juwah, C. (2004). Enhancing student learning through effective formative feedback. *The Higher Education Academy Generic Centre*, 7–44.
- Kalúz, M. (2015). A Flexible and Configurable Architecture for Automatic Control Remote Laboratories. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 8(3), 299–310. doi: 10.1109/TLT.2015.2389251
- Kaplan, J., y Yankelovich, N. (2011). Open Wonderland: An Extensible Virtual World Architecture. *IEEE Internet Computing*, 15(5), 38–45. doi: 10.1109/MIC.2011.76
- Karabulut-Ilgu, A., y Jahren, C. (2016). Evaluation of hybrid learning in a construction engineering context: A mixed-method approach. *Advances in Engineering Education*, 5(3), 1–26.
- Kim, C., Kim, D., Yuan, J., Hill, R. B., Doshi, P., y Thai, C. N. (2015). Robotics to promote elementary education pre-service teachers' STEM engagement, learning, and teaching. *Computers and Education*, 91, 14–31. doi: 10.1016/j.compedu.2015.08.005
- Kim, Y. S., Ryoo, Y. J., Márton, L., Fodor, S., y Sepehri, N. (2011). *Advances in Hu-*

- man Factors, Business Management, Training and Education* (Vol. 21). doi: 10.1016/j.mechatronics.2010.08.010
- Kirschner, P. A., y Meester, M. A. (1988). The laboratory in higher science education: Problems, premises and objectives. *Higher Education*, 17(1), 81–98. doi: 10.1007/BF00130901
- Kolb, D. (2000). Modelo de David Kolb, aprendizaje basado en experiencias.
- Kostulski, T., y Murray, S. (2010). The national engineering laboratory survey. *Labshare Project, December*(December), 1–77.
- Laboy-Rush, D. (2011). Integrated STEM Education through Project-Based Learning. *Learning. com*, <http://www.rondout.com>. . . . Descargado de [http://rondoutmar.sharpschool.com/UserFiles/Servers/Server{ }719363/File/12-13/STEM/STEM-White-Paper101207final\[1\].pdf](http://rondoutmar.sharpschool.com/UserFiles/Servers/Server{ }719363/File/12-13/STEM/STEM-White-Paper101207final[1].pdf)
- Lan, H., Ding, Y., Hong, J., Huang, H., y Lu, B. (2004). A web-based manufacturing service system for rapid product development. *Computers in Industry*, 54(1), 51–67. doi: 10.1016/j.compind.2003.07.006
- Lawrence, W. K., y Unger, C. (2014). The experience of contrasting learning styles, learning preferences, and personality types in the community college English classroom. , 3605476, 207. Descargado de <http://proxy2.hec.ca/login?url=http://search.proquest.com/docview/1490994393?accountid=11357{ }5Cnhttp://gutenberg.hec.ca:3210/sfx1c13?url1{ }ver=Z39.88-2004{ }rft{ }val{ }fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:dissertation{ }genre=dissertations+{ }26+theses{ }sid=ProQ:ProQuest+Dissert>
- Le, H. T. (2015). Guidance-based hybrid lab training method for enhancing core skills of EE students. *IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2015-Septe*, 1–5. doi: 10.1109/PESGM.2015.7285738
- Lee, J. (2003). E-manufacturing - Fundamental, tools, and transformation. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 19(6), 501–507. doi: 10.1016/S0736-5845(03)00060-7
- Lee, W. B., Cheung, C. F., y Li, J. G. (2001). Applications of virtual manufacturing in materials processing. *Journal of Materials Processing Technology*, 113(1-3), 416–423. doi: 10.1016/S0924-0136(01)00668-9
- Lindsay, E. D., y Good, M. C. (1996). EFFECTS OF LABORATORY ACCESS MODES UPON LEARNING OUTCOMES. , 1(2).
- Lopez, S., Carpeno, A., y Arriaga, J. (2014). Laboratorio remoto eLab3D: Un mundo virtual inmersivo para el aprendizaje de la electrónica. *Proceedings of 2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV 2014* (February), 100–105. doi: 10.1109/REV.2014.6784234
- Lowe, D. (2013). Integrating reservations and queuing in remote laboratory scheduling. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 6(1), 73–84. doi: 10.1109/TLT.2013.5
- Lugo, G. (2006). La importancia de los laboratorios. *Construcción y Tecnología - Ingeniería*, 20–22. Descargado de <http://www.imcyc.com/revistact06/dic06/INGENIERIA.pdf>
- Luthon, F., y Larroque, B. (2015). LaboREM - A Remote Laboratory for Game-Like Training in Electronics. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 8(3), 311–321. doi: 10

- .1109/TLT.2014.2386337
- Ma, J., y Nickerson, J. V. (2006a). Hands-on, simulated, and remote laboratories. *ACM Computing Surveys*, 38(3), 7–es. Descargado de <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1132960.1132961> doi: 10.1145/1132960.1132961
- Ma, J., y Nickerson, J. V. (2006b). Hands-On, Simulated, and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review. *ACM Computing Surveys*, 38(3), 7–es. Descargado de <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1132960.1132961> doi: 10.1145/1132960.1132961
- Magdalena, S. M. (2015). The Relationship of Learning Styles, Learning Behaviour and Learning Outcomes at the Romanian Students. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 180(November 2014), 1667–1672. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042815033042> doi: 10.1016/j.sbspro.2015.05.062
- Maiti, A., Maxwell, A. D., Kist, A. A., y Orwin, L. (2014). Merging remote laboratories and enquiry-based learning for STEM Education. *International Journal of Online Engineering*, 10(6), 50–57. doi: 10.3991/ijoe.v10i6.3997
- Maiti, A., y Tripathy, B. (2013). Remote laboratories: Design of experiments and their web implementation. *Educational Technology and Society*, 16(3), 220–233. doi: 10.2307/jeductechsoci.16.3.220
- Mateos, V. (2012). Access control for shared remote laboratories. *Journal of Research and Practice in Information Technology*, 44(2), 111–128.
- Mavrikios, D., Karabatsou, V., Fragos, D., y Chryssolouris, G. (2006). A prototype virtual reality-based demonstrator for immersive and interactive simulation of welding processes. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 19(3), 294–300. Descargado de <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09511920500340916> doi: 10.1080/09511920500340916
- May, D., Terkowsky, C., Ortelt, T. R., y Tekkaya, A. E. (2016). The Evaluation of Remote Laboratories laboratories in manufacturing technology education. (February), 127–136. doi: 10.1109/REV.2016.7444453
- Means, B., Toyama, Y., Murphy, R., Bakia, M., y Jones, K. (2009). Evaluation of evidence-based practices in online learning: A meta-analysis and review of online learning studies. *U.S. Department of of Education*, 94. Descargado de <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED505824.pdf> doi: 10.1016/j.chb.2005.10.002
- MEN. (2003). Resolución Número 2773 de 2003. *Ministerio de Educación Nacional*, 4. Descargado de http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-86417_{_}Archivo_{_}.pdf
- Morales, A. (2015). Laboratorios Remotos en Sistemas Embebidos. , 450–453.
- Mujber, T. S., Szecsi, T., y Hashmi, M. S. J. (2004). Virtual reality applications in manufacturing process simulation. *Journal of Materials Processing Technology*, 155-156(1-3), 1834–1838. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2004.04.401
- Muriel, J., y Giraldo, E. (2010). Adecuación tecnológica de un torno Compact 5 CNC a través de un PC. *Informador Técnico*, 74, 7–13.
- Murray, S., Lowe, D., Lindsay, E., Lasky, V., y Liu, D. (2008). Experiences with a hybrid architecture for remote laboratories. *Proceedings - Frontiers in Education Conference*,

- FIE*, 1–5. doi: 10.1109/FIE.2008.4720332
- Nartgün, S. S., y Özen, R. (2015). Investigating Pedagogical Formation Students' Opinions about Ideal Teacher, Teaching Profession, Curriculum, Responsibility, Public Personnel Selection Examination (ppse) and Employment: A Metaphor Study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 174, 2674–2683. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042815010034> doi: 10.1016/j.sbspro.2015.01.951
- Nedic, Z., Machotka, J., y Nafalski, A. (2008). Remote laboratory netlab for effective interaction with real equipment over the internet. *2008 Conference on Human System Interaction, HSI 2008*, 846–851. doi: 10.1109/HSI.2008.4581553
- Nickerson, J. V., Corter, J. E., Esche, S. K., y Chassapis, C. (2007). A model for evaluating the effectiveness of remote engineering laboratories and simulations in education. *Computers and Education*, 49(3), 708–725. doi: 10.1016/j.compedu.2005.11.019
- Ochoa, O. M. (1989). Software De Orientación Didáctica De Manufactura Experimental. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53, 160. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Odeh, S., Alves, J., Alves, G. R., Gustavsson, I., Anabtawi, M., Arafeh, L., ... Arekat, M. R. (2015). A Two-Stage Assessment of the Remote Engineering Lab VISIR at Al-Quds University in Palestine. *Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 10(3), 175–185. doi: 10.1109/RITA.2015.2452752
- OECD. (2003). The definition and selection of key competencies - Executive summary. *DeSeCo*, 1–20. doi: 10.1080/2159676X.2012.712997
- Orduña, P. (2013). *Transitive and scalable federation model for remote laboratories* (Tesis Doctoral, UNIVERSIDAD DE DEUSTO). Descargado de www.weblab.deusto.es/pub/dissertation_{ }pablo.pdf
- Orduña, P., Almeida, A., López-De-Ipiña, D., y Garcia-Zubia, J. (2014). Learning Analytics on federated remote laboratories: Tips and techniques. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON* (April), 299–305. doi: 10.1109/EDUCON.2014.6826107
- Orduña, P., Rodríguez-Gil, L., Garcia-Zubia, J., Dziabenko, O., Angulo, I., Hernandez, U., y Azcuenaga, E. (2016). Classifying online laboratories: Reality, simulation, user perception and potential overlaps. *Proceedings of 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV 2016* (February), 224–230. doi: 10.1109/REV.2016.7444469
- Orduna, P., Sancristobal, E., Emaldi, M., Castro, M., Lopez-De-Ipina, D., y Garcia-Zubia, J. (2012). Modelling remote laboratories integrations in e-learning tools through remote laboratories federation protocols. *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*, 1–6. doi: 10.1109/FIE.2012.6462220
- Osorio, L. A. (2010). Características de los ambientes híbridos de aprendizaje : estudio de caso de un programa de posgrado de la Universidad de los Andes. *Revista de Universidad y Aociudad del Conocimiento*, 7, 1–9.
- Ossandón Núñez, Y., y Castillo Ochoa, P. (2006). Propuesta Para El Diseño De Objetos De Aprendizaje Design of Learning Objects Propost. *Rev. Fac. Ing. -Univ. Tarapacá*, 14(14), 36–48. doi: 10.4067/S0718-13372006000100005
- Palafox-Albarran, J., Dannies, A., Krishna Sanjeeva, B., Lang, W., y Jedermann, R. (2012).

- The Impact of Virtual, Remote, and Real Logistics Labs. *Communications in Computer and Information Science*, 282(February), 102–112. Descargado de <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84857863992&partnerID=tZ0tx3y1> doi: 10.1007/978-3-642-28816-6
- Palma Lama, F. M., Miñán Ubillús, E. A., y de los Ríos Carmenado, I. (2011). Competencias genericas en ingeniería: un estudio comparado en el contexto internacional. *Actas del XV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*, 2552–2569. doi: 10.1016/j.sbspro.2011.03.144
- Pankin, J., Roberts, J., y July, M. S. (2012). Blended Learning at MIT Pre - course Post - course. (July), 1–3.
- Pardo, A., Han, F., y Ellis, R. A. (2017). Combining University student self-regulated learning indicators and engagement with online learning events to Predict Academic Performance. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 10(1), 82–92. doi: 10.1109/TLT.2016.2639508
- Parkhomenko, A., Sokolyanskii, A., Gladkova, O., y Kurson, S. (2015). Investigation of remote lab design technologies. *Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), 2015 XI International Conference on*, 92–95.
- Parra, D., y Cabrera, J. (2014). Educación en creatividad para la innovación y desarrollo tecnológico en Ingeniería. *Congres internacional de innovacion*, 400. Descargado de <http://www.unab.edu.co/sites/default/files/MemoriasGrabadas/papers/capitulo19{ }paper{ }28.pdf>
- Pati, B., Misra, S., y Mohanty, A. (2012). A model for evaluating the effectiveness of software engineering virtual labs. *Proceedings - 2012 IEEE International Conference on Technology Enhanced Education, ICTEE 2012*(January). doi: 10.1109/ICTEE.2012.6208602
- Pesa, M. A. (2014). Las actividades de laboratorio en la formación de ingenieros : propuesta para el aprendizaje de los. , 642–665.
- Phatthana, W., y Nik Mat, N. K. (2011). The application of technology acceptance model (TAM) on health tourism e-purchase intention predictors in Thailand. *International Conference on Business & Economics Research*, 1, 196–199. Descargado de <http://www.ipedr.com/vol11/43-B10046.pdf>
- Popović, B., Popović, N., Mijić, D., Stankovski, S., y Ostojić, G. (2013, aug). Remote control of laboratory equipment for basic electronics courses: A LabVIEW-based implementation. *Computer Applications in Engineering Education*, 21(S1), E110–E120. Descargado de <http://doi.wiley.com/10.1002/cae.20531> doi: 10.1002/cae.20531
- Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M., y Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*, 95, 309–327. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131516300227> doi: 10.1016/j.compedu.2016.02.002
- Pow, J. J. (2013). Using a Non-Traditional Pedagogy In STEM Disciplines : Implications For Faculty.
- Rashid, M., Tasadduq, I. A., Zia, Y. I., Al-Turkistany, M., y Rashid, S. (2012). Evaluation of

- engineering laboratories. En *2012 international conference on education and e-learning innovations, iceeli 2012* (pp. 1–12). doi: 10.1109/ICEELI.2012.6360621
- Riaño, C. E., y Palomino, M. (2015). Diseño y elaboración de un cuestionario acorde con el método Delphi para seleccionar laboratorios virtuales (LV). *Sophia*, 129–139.
- Rodríguez Izquierdo, R. M. (2015). Competencias genéricas en la enseñanza superior a través de los programa de internacionalización. *Revista Complutense de Educacion*, 26(1), 81–100. Descargado de https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84910654717&doi=10.5209/2Frev_{_}RCED.2015.v26.n1.42598&partnerID=40&md5=7375e4dfdf295aeb9513861518c2e6d5 doi: 10.5209/rev_RCED.2015.v26.n1.42598
- Rodriguez-Gil, L., Garcia-Zubia, J., Orduna, P., y Lopez-de Ipina, D. (2017). Towards new multiplatform hybrid online laboratory models. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 1382(c), 1–1. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/7515014/> doi: 10.1109/TLT.2016.2591953
- Rojas-Calero, A. (2012). *Propuesta Para La Implementación De Un Laboratorio De Acceso Remoto Usando Redes Definidas En Software* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad ICESI.
- Ruiz, E. S., y Perez, F. M. U. R. (2012). Robotics, the new industrial revolution. *IEEE technology and society magazine*(June), 51–58. doi: 10.1109/MTS.2012.2196595
- Salah, B., y Darmoul, S. (2018). Engineering technology education based on the reconfigurable manufacturing paradigm: A case study. *Procedia Manufacturing*, 23, 87 - 92. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918304700> (“Advanced Engineering Education Training for Manufacturing Innovation”8th CIRP Sponsored Conference on Learning Factories (CLF 2018)) doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.166>
- Saliah-Hassane, H., Correia, R. C., y Fonseca, J. M. (2013). A network and repository for online laboratory, based on ontology. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*, 1177–1189. doi: 10.1109/EduCon.2013.6530257
- Sancristobal, E., y Castro, M. (2005). Desarrollo e integración de laboratorios virtuales remotos con los sistemas de gestión de aprendizaje abiertos. *Computer Engineering*, 48, 1–7.
- Sancristobal, E., Pesquera, A., Orduña, P., Larrocha, E. R., Gil, R., Martín, S., . . . Castro, M. (2014). Virtual and remote industrial laboratory: Integration in learning management systems. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(4), 45–58. doi: 10.1109/MIE.2012.2235530
- Sandoval Torres, L. C. (2010). *Laboratorio virtual de procesos* (Tesis Doctoral no publicada). Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico.
- Schlichting, L. C. M., De Ferreira, S. G., De Bona, D. D., De Faveri, F., Anderson, J. A., y Alves, G. R. (2016). Remote laboratory: Application and usability. *Proceedings of 2016 Technologies Applied to Electronics Teaching, TAEE 2016*. doi: 10.1109/TAEE.2016.7528355
- Singer, S. R., Hilton, M. L., y Schweingruber, H. A. (2005). *America’s Lab Report*. National Academies Press. Descargado de <http://www.nap.edu/catalog/11311> doi: 10.17226/

11311

- Slugan, J., y Ružić, I. (2017). High School Stem Curriculum and Example of Laboratory Work That Shows How Microcomputers. , *11*(8), 1897–1903.
- Son, J. Y., Narguizian, P., Beltz, D., y Desharnais, R. A. (2016). Comparing physical, virtual, and hybrid flipped labs for general education biology. *Journal of Asynchronous Learning Network*, *20*(3), 228–243.
- Spinel, S. C., Carlos, J., Triana, B., Paola, A., Giraldo, O., Manuel, J., . . . Lancheros, A. C. (2018). Formacion en Ambientes Híbridos. *Contacto/ Revista de Ingeniería*, *15*, 06–16.
- Stefanovic, M., Tadic, D., Nestic, S., y Djordjevic, A. (2015). An assessment of distance learning laboratory objectives for control engineering education. *Computer Applications in Engineering Education*, *23*(2), 191–202. doi: 10.1002/cae.21589
- Stull, A. T., Barrett, T., y Hegarty, M. (2013). Usability of concrete and virtual models in chemistry instruction. *Computers in Human Behavior*, *29*(6), 2546–2556. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2013.06.012> doi: 10.1016/j.chb.2013.06.012
- Suárez, U., Marta, F., José, T. M., y Nápoles, P. (s.f.). APRENDIZAJE EXPERIENCIAL Y LA FORMACIÓN ELECTRÓNICA.
- Sun, K.-t., Lin, Y.-c., y Yu, C.-j. (2008). A study on learning effect among different learning styles in a Web-based lab of science for elementary school students. *Computers & Education*, *50*(4), 1411–1422. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131507000115> doi: 10.1016/j.compedu.2007.01.003
- Tamez, G. A. (1999). *Metodologías para la enseñanza de las matemáticas en las carreras técnicas del nivel medio superior* (Tesis Doctoral no publicada). universidad Autónoma de Nuevo Leon.
- Tawfik, M., Lowe, D., Murray, S., De La Villefromoy, M., Diponio, M., Sancristobal, E., . . . Castro, M. (2013). Grid remote laboratory management system. *2013 10th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV 2013*. doi: 10.1109/REV.2013.6502889
- Tawfik, M., Lowe, D., Salzmman, C., Gillet, D., Sancristobal, E., y Castro, M. (2015). Defining the Critical Factors in the Architectural Design of Remote Laboratories. *Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, *10*(4), 269–279. doi: 10.1109/RITA.2015.2486388
- Tawfik, M., Salzmman, C., Gillet, D., Lowe, D., Saliyah-Hassane, H., Sancristobal, E., y Castro, M. (2014). Laboratory as a service (LaaS): A novel paradigm for developing and implementing modular remote laboratories. *International Journal of Online Engineering*, *10*(4), 13–21. doi: 10.3991/ijoe.v10i4.3654
- Tawfik, M., Sancristobal, E., Martin, S., Diaz, G., Peire, J., y Castro, M. (2013). Expanding the boundaries of the classroom: Implementation of remote laboratories for industrial electronics disciplines. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, *7*(1), 41–49. doi: 10.1109/MIE.2012.2206872
- Tawfik, M., Sancristobal, E., Martin, S., Gil, R., Diaz, G., Peire, J., y Castro, M. (2012). On the design of remote laboratories. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*. doi: 10.1109/EDUCON.2012.6201065
- Tawfik, M., Sancristobal, E., Ros, S., Hernandez, R., Robles, A., Caminero, A., . . . Cas-

- tro, M. (2014). Middleware solutions for service-oriented remote laboratories: A review. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*(April), 74–82. doi: 10.1109/EDUCON.2014.6826071
- Tawfik, M., Sancristobal, E., Sergio, M., Gil, R., Diaz, G., Nilsson, K., ... Sancristobal, E. (2013). Virtual Instrument Systems in Reality (VISIR) for Remote Wiring and Measurement of Electronic Circuits on Breadboard. , *6*(1), 60–72.
- Téllez Gutiérrez, S. M., y García, J. R. (2013). Implementación De Metodología Cdio En El Laboratorio De Máquinas Eléctricas. *Revista Educación en Ingeniería*, *8*(16), 53–61. Descargado de <http://www.educacioneningeneria.org>
- Thanikachalam, V. (2016). Enhancing Professional and Soft Skills of the Indian Engineering Graduates. *Journal of Engineering & Technology Education*, *10*(2), 1–10.
- Tirado, R. (2015). Comparing Remote Laboratories from the Student Perspective. , 176–181.
- Tirado, R. R., Herrera, R., Marques, M. A., Mejías, A., y Andújar, J. M. (2015). Comparing Remote Laboratories from the Student Perspective. , 176–181.
- Tobarra, L., Ros, S., Hernandez, R., Pastor, R., Robles-Gomez, A., Cammero, A. C., y Castro, M. (2014). Low/Cost Remote laboratories for Renewable Energy in Distance Education. *2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*(February), 106–111. doi: 10.1109/REV.2014.6784235
- Turan, A., Tunç, A. Ö., y Zehir, C. (2015). A Theoretical Model Proposal: Personal Innovativeness and User Involvement as Antecedents of Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *210*, 43–51. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042815056748> doi: 10.1016/j.sbspro.2015.11.327
- UNESCO. (2000). Informe de la reunión de expertos sobre laboratorios virtuales. , 1 – 64.
- VanLehn, K., Zhang, L., Burlson, W., Girard, S., y Hidago-Pontet, Y. (2016). Can a non-cognitive learning companion increase the effectiveness of a meta-cognitive learning strategy? *IEEE Transactions on Learning Technologies*, *1382*(c), 1–1. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/document/7523430/> doi: 10.1109/TLT.2016.2594775
- Vega-González, L. R. (2013). La educación en ingeniería en el contexto global : propuesta para la formación de ingenieros en el primer cuarto del Siglo XXI E. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, *XIV*(número 2), 177–190.
- Vélez Restrepo, J. M., Benjumea Hernández, P. N., Castro Peláez, K. J., y Ríos Echeverri, D. C. (2017). Estrategia de Innovación en Educación en Ingeniería. , 1–62.
- Velosa, J. D. E., Castillo-García, F. J., Espíldorab, E., y Cobo, L. (2017). Requerimientos para laboratorios híbridos en Ingeniería de Manufactura. *Dyna*, *84*(203), 65–74. Descargado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/61495> doi: 10.15446/dyna.v84n203.61495
- Vergara Rodríguez, D. (2014). VALORACIÓN DEL USO DE DIFERENTES RECURSOS VIRTUALES EN LA UNIVERSIDAD: UNA EXPERIENCIA DOCENTE. , *3*(September), 1–3.
- Viciedo, L. (2002). La instrumentación virtual remota en la Intranet académica con fines docentes La instrumentación virtual remota en la Intranet académica con fines docentes. (November). doi: 10.13140/RG.2.1.3051.0242

- Virtual Labs. (2017). *Online labs and experiments from top technical institutes*. Descargado 2017-01-01, de <https://vlabs.ac.in/>
- Wright, M., Wilson, N., Robbie, K., Ennew, C., Managerial, S., Economics, D., ... Wilson, N. (2017). The Role of the Laboratory in Science Learning. , *17*(1), 57–70.
- Wu, D., Terpenney, J., y Gentsch, W. (2015). Cloud-Based Design, Engineering Analysis, and Manufacturing: A Cost-Benefit Analysis. *Procedia Manufacturing*, *1*, 64–76. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978915010616> doi: 10.1016/j.promfg.2015.09.061
- Yang, H. H., Ma, C., y Wei, Y. (2011). An instructional approach on teacher inquiry, online questionnaire, and TPACK. *ITME 2011 - Proceedings: 2011 IEEE International Symposium on IT in Medicine and Education*, *1*, 425–430. doi: 10.1109/ITiME.2011.6130868
- Yang, S., Chen, X., y Alty, J. (2003). Design issues and implementation of internet-based process control systems. *Control Engineering Practice*, *11*(6), 709–720. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967066102001818> doi: 10.1016/S0967-0661(02)00181-8
- Yiran, Z., y Breslow, L. (2013). Literature Review on Hybrid/Blended Learning. *Teaching & Learning Laboratory*, 1–22.
- Yong, L., Rivas, L., y Chaparro, J. J. (2010). 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. Revista de ...*, *20*(36), 197–204. Descargado de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3656293&orden=296918&info=link>
- Young, M. R. (2005). The Motivational Effects of the Classroom Environment in Facilitating Self-Regulated Learning. *Journal of Marketing Education*, *27*(1), 25–40. Descargado de <http://jmd.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/0273475304273346> doi: 10.1177/0273475304273346
- Yu, Y. (2016). Teaching with a Dual-channel Classroom Feedback System in the Digital Classroom Environment. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 1–13. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7530872/> doi: 10.1109/TLT.2016.2598167
- Yusof, M. M., y Arifin, A. (2016). Towards an evaluation framework for Laboratory Information Systems. *Journal of Infection and Public Health (2016)*, 766–773.
- Zabalza, M. A. (2011). El practicum en la formación universitaria: Estado de la cuestión. *Revista de Educacion*, *354*, 21–43. doi: issn:0034-8082
- Zamora Musa, R., y Zamora, R. (2010). Laboratorios Remotos: análisis, características y su desarrollo como alternativa a la práctica en la facultad de ingeniería. *Inge-CUC*, *6*(1), 281–289.
- Zapata, L., Larrondo-Petrie, M. M., Rivera, L. F. Z., y Larrondo-Petrie, M. M. (2016a). Models of remote laboratories and collaborative roles for learning environments. *Proceedings of 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV 2016*(February), 423–429. doi: 10.1109/REV.2016.7444517
- Zapata, L., Larrondo-Petrie, M. M., Rivera, L. F. Z., y Larrondo-Petrie, M. M. (2016b). Models of remote laboratories and collaborative roles for learning environments. *Pro-*

ceedings of 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV 2016(February), 423–429. doi: 10.1109/REV.2016.7444517

Zeytunyan, S., y Hajian, A. (2014). Integrating design and manufacturing tools into Ilmenau Interactive Hybrid Online Lab. *Proceedings of 2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV 2014*(February), 227–230. doi: 10.1109/REV.2014.6784262

Anexo A

Encuesta de Estudiantes - Laboratorios en Ingeniería

A continuación se muestran declaraciones que pueden describir sus creencias y comportamientos acerca del aprendizaje de procesos por medio de laboratorios. Esta información será muy útil para para diseñar laboratorios en ingeniería más efectivos y agradables. Sus respuestas no afectarán su calificación de la Unidad que están viendo. Su instructor o profesor no verá sus respuestas individuales o influirá en su respuesta.

Muchas gracias.....
Ing. Jose'
Divitt

Tu dirección de correo electrónico (jvelosa@universidadean.edu.co) se registrará cuando envíes este formulario. ¿No eres jvelosa? [Salir](#)

***Obligatorio**

DATOS BÁSICOS

1. Modalidad de estudio de la carrera*

Marca solo un óvalo.

Presencial

Virtual

2. Semestre que cursa:*

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5 6 7 8

3. 3. Edad (años): *

ROL Y TIPO DE LABORATORIO

4. Ordene el rol utilizando los números del 1 a 5 en que usted se siente mejor en un experimento de laboratorio: (1 es lo menos preferido y 5 es lo más preferido).*

Marca solo un óvalo.

1 Menos Preferido 2 3 4 5 Más preferido

Observador
Diseñador del experimento
Controlador de variables
Quien toma los datos
Analizador de datos

5. Ordene las siguientes experiencias en laboratorios para una Unidad Técnica que usted espera tomar en la Universidad utilizando los números de 1 a 5, (1 es lo menos preferido y 5 es lo que prefiere) *

*

Marca solo un óvalo.

1 Menos Preferido 2 3 4 5 Más preferido

Presenciales en el laboratorio con equipos o máquinas
Simulaciones virtuales en su PC o en sala de sistemas
Escritorios remotos – Programas
Online – Bases de datos
En plataformas virtuales colaborativas con compañeros y profesores
Una mezcla de algunos de ellos o componentes

Esto es un ejemplo de anexo. En la Fig. ??¹ se muestra la hoja de especificaciones del motor empleado.

¹Fuente: <http://www.uclm.es>

Anexos

Anexo A

Cuestionario Inicial

Cod: Encuestas_ini_G

Objetivo:

El objetivo de este instrumento es servir referente de inicio y caracterizar la población a la cual se va a someter los diferentes laboratorios en ingeniería.

Descripción:

El cuestionario está compuesto de tres partes:

- Preguntas de Control
- Rol del estudiante en un practica de laboratorio
- Preferencia de los tipos de laboratorio

Confiabilidad del instrumento.

Se refiere al grado en que el instrumento en su aplicación repetida en el mismo individuo u objeto produce resultados iguales. Para este caso aplicamos la medición de la consistencia interna (coeficiente Alpha de Cronbach)

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
.785	21

Validez del Instrumento.

La validez, se refiere al grado en que el instrumento mide la variable que pretende medir. Para el diseño de este instrumento se utilizó Validez de expertos: los expertos definen si el instrumento mide la variable en cuestión. Los jueces para este caso fueron 6 profesionales que realizaban y diseñaban laboratorios en ingeniería.

El estadístico utilizado fue el V de Aiken para evaluar la pertinencia del ítem. Un ítem con valor menor a 0.7 se descarta.

$$A = \frac{S}{(n(c - 1))}$$

S= la sumatoria de si

Si= valor asignado por juez i

n= número de jueces

c= número de valores de la escala de valoración

Inicialmente se elaboraron 27 ítems de los cuales quedaron 14 del área de Preferencia de los tipos de laboratorio.

Características de aplicación:

149 estudiantes de diferentes carreras de ingeniería y dos modalidades de formación (Presencial y virtual) – al inicio del semestre

Archivo:

[Encuesta de inicio-general](#)

Figura A.1: Anexo A

Anexo B

Cuestionario por laboratorio

Cod: Encuesta_ini_fin_LH

Objetivo:

Se analizó las características de la competencia de experimentación, tanto antes como después de cada práctica con el fin de contrastar el efecto del laboratorio sobre una variable dependiente (puntaje de calificación dada por el docente de la experiencia)

Descripción:

La encuesta está compuesta de tres partes:

- Preguntas de Control
- Desarrollo del laboratorio
 - o PRACTICA_i
 - o DATOS DE SALIDA_i
 - o EQUIPO&SOFTWARE_i
 - o VARIABLES_i
 - o APLICACIÓN_i
 - o ROL DEL ESTUDIANTE_i
 - o PARTICIPACION DEL DOCENTE_i
- Competencias en ing. de manufactura o procesos
 - o DISEÑO DE PROCESOS
 - o DISEÑO DE PRODUCTOS
 - o CREAR VENTAJAS COMPETITIVAS
 - o MODELOS MATEMÁTICOS
 - o EXPERIMENTACIÓN

Confiabilidad del instrumento.

Se refiere al grado en que el instrumento en su aplicación repetida en el mismo individuo u objeto produce resultados iguales. Para este caso aplicamos la medición de la consistencia interna (coeficiente Alpha de Cronbach)

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
.852	12

Validez del Instrumento.

La validez, se refiere al grado en que el instrumento mide la variable que pretende medir. Para el diseño de este instrumento se utilizó Validez con prueba piloto. Se desarrollaron tres prácticas en ambiente controlado en la estancia doctoral con el fin de identificar las características y factores para una encuesta estructurada.

Las preguntas de la Parte: Desarrollo del laboratorio, se basaron inicialmente de las competencias genéricas evaluadas en el capítulo 2 y las preguntas de competencias específicas del ingeniero de manufactura, se basaron sobre del documento ABET específicos para ingeniería de manufactura.

Características de aplicación:

422 estudiantes en prácticas de diferentes carreras de ingeniería y dos modalidades de formación (Presencial y virtual)

Archivos (Ej CNC):

Cuestionario inicial

Cuestionario cierre

Figura A.2: Anexo B

Anexo C1

Cuestionario cierre general

Cod: Encuestas_fin_G

Objetivo:

El objetivo de este instrumento es el de servir referente de final y efecto global de las prácticas en la población a la cual se va sometió a los diferentes laboratorios en ingeniería.

Descripción:

La encuesta está compuesta de tres partes:

- Preguntas de Control
- Rol del estudiante en un practica de laboratorio
- Preferencia de los tipos de laboratorio

Confiabilidad del instrumento.

Se refiere al grado en que el instrumento en su aplicación repetida en el mismo individuo u objeto produce resultados iguales. Para este caso aplicamos la medición de la consistencia interna (coeficiente Alpha de Cronbach)

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
.833	21

Validez del Instrumento.

La validez, se refiere al grado en que el instrumento mide la variable que pretende medir. Para el diseño de este instrumento se utilizó Validez de expertos: los expertos definen si el instrumento mide la variable en cuestión. Los jueces para este caso fueron 6 profesionales que realizaban y diseñaban laboratorios en ingeniería.

El estadístico utilizado fue el V de Aiken para evaluar la pertinencia del ítem. Un ítem con valor menor a 0.7 se descarta.

$$A = \frac{S}{(n(c - 1))}$$

S= la sumatoria de si

Si= valor asignado por juez i

n= número de jueces

c= número de valores de la escala de valoración

Inicialmente se elaboraron 27 ítems de los cuales quedaron 14 del área de Preferencia de los tipos de laboratorio.

Población aplicada:

36 estudiantes de diferentes carreras de ingeniería y dos modalidades de formación (Presencial y virtual)

Archivos:

Encuesta de final - general

Figura A.3: Anexo C1

Anexo C2

Cuestionario a docentes

Cod: Encuestas_fin_DOC

Objetivo:

El objetivo de este instrumento es identificar la percepción que los docentes del área manufactura tienen frente a los laboratorios híbridos.

Descripción:

El cuestionario está compuesta de cuatro partes:

- Preguntas de Control
- Diseño de prácticas de laboratorio
- Metodologías y modos de operación de los laboratorios
- Modos de operación

Confiabilidad del instrumento.

Se refiere al grado en que el instrumento en su aplicación repetida en el mismo individuo u objeto produce resultados iguales. Para este caso aplicamos la medición de la consistencia interna (coeficiente Alpha de Cronbach)

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
.624	17

Validez del Instrumento.

La validez, se refiere al grado en que el instrumento mide la variable que pretende medir. Para el diseño de este instrumento se utilizó Validez de expertos: los expertos definen si el instrumento mide la variable en cuestión. Los jueces para este cuestionario fueron 3 profesionales que realizaban y diseñaban laboratorios en ingeniería.

El estadístico utilizado fue el V de Aiken para evaluar la pertinencia del ítem. Un ítem con valor menor a 0.7 se descarta.

$$A = \frac{S}{(n(c - 1))}$$

S= la sumatoria de si

Si= valor asignado por juez i

n= número de jueces

c= número de valores de la escala de valoración

Inicialmente se elaboraron 22 ítems de los cuales quedaron 17 del área de Preferencia de los tipos de laboratorio.

Población aplicada:

15 docentes del área de ingeniería que utilizan de forma recurrente laboratorios dos modalidades de formación (Presencial y virtual)

Archivos:

[Encuesta de apreciación laboratorios híbridos - docente](#)

Figura A.4: Anexo C2

Anexo C3

Cuestionario a auxiliares

Cod: Encuesta_fin_AUX

Objetivo:

Obtener la percepción de los elementos más importantes que involucran a los auxiliares del laboratorio en el uso de laboratorios híbridos en ingeniería.

Descripción:

La encuesta está compuesta de dos partes:

- Preguntas de Control
- Apreciaciones sobre laboratorios híbridos

Confiabilidad del instrumento.

Se refiere al grado en que el instrumento en su aplicación repetida en el mismo individuo u objeto produce resultados iguales. Para este caso aplicamos la medición de la consistencia interna (coeficiente Alpha de Cronbach)

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
.847	8

Validez del Instrumento.

La validez, se refiere al grado en que el instrumento mide la variable que pretende medir. Para el diseño de este instrumento se utilizó Validez de expertos: los expertos definen si el instrumento mide la variable en cuestión. Los jueces para este caso fueron 3 de tres universidades que sirven de apoyo al montaje y desarrollo de experiencias de laboratorio.

El estadístico utilizado fue el V de Aiken para evaluar la pertinencia del ítem. Un ítem con valor menor a 0.7 se descarta.

$$A = \frac{S}{(n(c-1))}$$

S= la sumatoria de si

Si= valor asignado por juez i

n= número de jueces

c= número de valores de la escala de valoración

- Inicialmente se elaboraron 12 ítems de los cuales quedaron 8 del área: Apreciaciones sobre laboratorios híbridos

Población aplicada:

7 profesionales auxiliares en montajes y apoyo en los laboratorios para ingeniería (Presencial y virtual)

Archivos:

[Encuesta de apreciación laboratorios híbridos - auxiliares](#)

Figura A.5: Anexo C3

Anexo D

Cuestionario MAT – Modelo de Aceptación Tecnológica

Cod: Encuesta_MAT

Objetivo:

El instrumento utilizado para medir el nivel de aceptación del proyecto propuesto es el modelo de aceptación tecnológica, el cual fue presentado por (Davis, 1989), es una adaptación al modelo TRA (teoría de acción razonada) presentado por (A. Fishbein & Ajzen, 1975), para predecir e identificar los comportamientos de los usuarios frente a las tecnologías, facilitar su comprensión y generar posibles acciones, teniendo en cuenta determinantes afectivos y cognitivos, y considerando factores internos y externos tales como creencias, actitudes e intenciones, que interactúan con los sistemas y definen el comportamiento futuro de los usuarios.(Universidad de Antioquia et al., 2014)

Descripción:

La encuesta está compuesta de tres partes:

- Utilidad percibida
- Percepción de la facilidad de uso
- Comentarios

Confiabilidad del instrumento.

Se refiere al grado en que el instrumento en su aplicación repetida en el mismo individuo u objeto produce resultados iguales. Para este caso aplicamos la medición de la consistencia interna (coeficiente Alpha de Cronbach)

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
.890	12

Validez del Instrumento.

Se tomó el Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM) (Davis, 1989), que según la literatura consultada es una de las herramientas más utilizadas para evaluar las herramientas tecnológica utilizadas por los estudiantes en experiencias de laboratorio, se ha ampliado y contextualizado añadiendo constructos e hipótesis relacionales de otros modelos y teorías tales como Teoría unificada de aceptación y uso de tecnología (UTAUT) (Venkatesh, Morris, Davis y Davis, 2003)

Población aplicada:

Resumen del procesamiento de los casos

		N	%
Casos	Válidos	89	28.9
	Excluidos ^a	219	71.1
	Total	308	100.0

a. Eliminación por lista basada en todas las variables del procedimiento.

Archivos:

[Encuesta MAT](#)

Figura A.6: Anexo D

Anexo E1

Rubrica de calificación de laboratorios – Competencia Genérica

El cuadro tiene en cuenta los dos momentos de evaluación de la competencia, una evaluación previa a la desarrollo de la experiencia PRE-TEST: realizada por escrito al inicial la actividad, el esquema es de autoevaluación. El POS-TEST, corresponde a la evaluación del docente de la actividad y valorada por medio de una rúbrica en una escala de 1 a 5. Este instrumento es utilizado por el docente para dar valor al desempeño del estudiante al realizar la práctica de laboratorio.

PRE –TEST: Autoevaluación de los estudiantes antes de iniciar la experiencia		POS –TEST: Evaluación realizada por el docente basado en los productos solicitados en el protocolo de cada práctica. La evaluación se hace individual				
Convención	Pregunta utilizada de ingreso (1 a 5)	1	3	5	4	5
1. PRACTICA_i	Conozco los pasos que tengo que dar en cada momento para hacer la práctica de [Nombre de la práctica] y los objetivos de cada fase	No hay pruebas que conozca del proceso	Conoce del proceso pero la manera de desarrollarlo	Propone maneras de realizar el proceso , pero no conoce el principio físico	Conoce las variables y propone algunos procedimientos	Reconoce el proceso , las variables y como se deben integrar para la transformación
2. DATOS DE SALIDA_i	Se cómo analizar los datos [variables de salida] obtenidos de la práctica, las unidades, y magnitudes que obtendré del experimento, y que buscó determinar con estos datos? (ejemplo Capacidad de los equipos) *	No se conoce con claridad cuáles son los datos que se obtendrán	Conoce los datos de salida pero no como son obtenidos	Conoce como son los datos , sus unidades y como son obtenidos	Interpreta los datos de salida y su relación con el proceso	Determina como los datos de salida guardan relación con las variables internas del proceso para mantenerlo bajo control
3. EQUIPO&SOFTWARE_i	Conozco el equipo [maquina o sistema de experimentación], los elementos que se van a utilizar en estos experimentos, los inconvenientes para mí y los de equipos/software *	Se limita a observar sin interpretar como funciona	Utiliza el equipo s pero no tiene claridad de los riesgos y su funcionamiento	Reconoce la importancia del uso de equipo y mantiene cuidados básicos de las variables	Identifica con acierto los principales sistemas y usos del equipo	Analiza las posibilidades del equipo frente a las necesidades de la manufactura
A. VARIABLES VS DATOS DE SALIDA_s ¹		Desconoce la relación entre las variables de entrada y los datos de salida	Identifica una relación pero no establece un modelo de relación	Tiene un modelo de relación de variables pero no tiene claridad como interviene en el proceso	Interpreta la relación entre datos y su relación con el proceso	Conoce y manipula las variables de control, y variable de salida para mantener el proceso bajo control
4. VARIABLES_i	Tengo claridad de cómo debo garantizar el manejo de las variables de [variables de control] en la práctica y la forma como garantizar la confiabilidad de su medida *	No conoce cuál es el fenómeno estudiado	Conoce el fenómeno y las variables que lo condicionan	Identifica la relación del fenómeno y la influencia de las variables	Entiende y controla las variables del proceso basado en el comportamiento del fenómeno	Mantiene las variables bajo control para un óptimo desarrollo del proceso
5. APLICACIÓN_i	Tengo claridad para que sirven los datos del experimento y la aplicación en [Sector y actividad Industrial] en la solución de problemas de esta industria.	No sabe cómo los conocimientos son utilizados por la industria.	Reconoce la posible existencia de procesos útiles para la industria	Propone posibles usos de los procesos vistos para la industria	Propone nuevas actividades para que sean adaptados los procesos	Adapta adecuadamente los procesos para que sean útiles a la industria
6. ROL DEL ESTUDIANTE_i	Sé cuál es mi rol [Competencia buscada] en la práctica, el rol de cada uno de mis compañeros y lo que espero de ellos en el Trabajo en Equipo *	No conoce la actividades que debe desarrollar	Se limita a ejecutar las tareas sin valorar los resultados	Asume las actividades que le encomiendan son valorar los resultados	Aplica procedimientos de seguimiento y evaluación de la calidad para detectar puntos débiles durante el desarrollo de la tarea.	Propone acciones de mejora como resultado del proceso de seguimiento durante la ejecución y la evaluación final.
7. PARTICIPACION DEL DOCENTE_i	El rol de mi tutor durante la práctica es: -	- el EVALUADOR de mi comportamiento - el CAPACITADOR enseña el proceso - el GUÍA / FACILITADOR que acompaña - el OBSERVADOR del experimento DIFUSO, no es claro como participará				

¹ Este componente se indaga solo en el pos-test.

Figura A.7: Anexo E1

Anexo E2

Calificación de laboratorios – Competencia específica.

Las competencias específicas del ingeniero en el campo de la manufactura fueron asignadas a cada uno de los laboratorios híbridos dependiendo de los objetivos educacionales propuestos por el docente.

Componente de la Práctica de laboratorio	Pre procesamiento	Ejecución	Resultados	Pos procesamiento	Competencia de Ingeniería de Manufactura ²
LH1	LVL	HO			b) Procesos, ensamblaje e ingeniería de productos
LH2	LVL			LVN	d) Diseño de sistemas de fabricación
LH3	LVL	LR			e) Uso laboratorio de fabricación o experiencia en instalaciones
LH4	LR	HO			c) Competitividad en la fabricación
LH5	LVN	HO			b) Procesos, ensamblaje e ingeniería de productos
LH6		LVL	LR		a) Materiales y procesos de fabricación

Las notas obtenidas tanto antes como después fueron obtenidas del Promedio de NOTA_LAB_INI [1/0] al inicio de la practicas y Promedio de NOTA_LAB_SAL a la salida de la práctica.

NOTA_LAB_INI [1/0] : Se preguntó a los estudiantes por medio de un test sobre el conocimiento que se tenía de la experiencia de laboratorio.

NOTA_LAB_SAL: Promedio de la evaluación dada por los docentes al resultado de las experiencias de laboratorio-

² Se tomó como referencia ABET(Accreditation Board for Engineering and Technology Inc & ABET, 2016)

Figura A.8: Anexo E2