

Diseño, construcción y aplicación de una Fábrica de Aprendizaje orientada a la formación experiencial

Felipe Baena Restrepo

Ingeniero de Producción

Trabajo de grado para optar al título de maestría en ingeniería

Asesor: Alvaro De Jesus Guarin Grisales

Medellín
Universidad EAFIT
Escuela de ingeniería
2017

Agradecimientos

El primer agradecimiento es a la vida por permitirme hacer parte de un proceso en el cual evolucione como profesional y ser humano. Doy especial agradecimiento al profesor Alvaro De Jesus Guarin Grisales, persona que me abrió la puerta para ser parte de este proyecto y me brindo la confianza desde el inicio del mismo. A mi familia y compañeros de maestría Julián Mora, Sergio Aristizabal, Frank Bustamante y demás personas que retroalimentaron los puntos de vista en las discusiones académicas y no académicas durante estos dos años. Por ultimo pero no de menor importancia, a la Universidad Eafit y su equipo de laboratorios, gestión administrativa y demás involucrados no solo en el proyecto Fabrica de Aprendizaje, sino en todo el proceso de la maestría.

Resumen

La educación en ingeniería se ha definido como uno de los caminos para afrontar los retos en el sector manufacturero, sin embargo, la formación de los profesionales no ha evolucionado a la misma velocidad de los avances tecnológicos y las practicas actuales se han visto limitadas para entregar profesionales con competencias ingenieriles y un fuerte respaldo multidisciplinar. El balance teórico-práctico de los currículos y el acceso a auténticas practicas experienciales de ingeniería han sido dos aspectos claves en el mejoramiento de este proceso de formación. En esta dirección un tipo de iniciativas nombradas Fábricas de Aprendizaje (FA) han tenido aceptación; estas son definidas como la réplica de una sección de la cadena de valor industrial donde el aprendizaje tiene lugar.

Por medio de este trabajo de tesis de maestría fue construida la primera FA en Colombia, que tenía como objetivo principal el fortalecimiento de la relación teórico-práctica en el área de manufactura de la Universidad Eafit. Para la construcción de ésta, se realizó una revisión de la literatura y se planteó un enfoque para estructurar una FA, denominado los tres pilares (didáctico, integración e ingeniería). Los anteriores agruparon el conjunto de características que esta iniciativa debía de incluir para ser catalogada como una FA. La integración de la teoría de aprendizaje experiencial en el pilar didáctico y en específico, el sistema para implementar módulos temáticos experienciales (4MAT), fueron fundamentales, tanto para lograr el objetivo principal de la investigación como para contribuir en la estructuración de prácticas en este tipo de escenarios. Por último, para validar el enfoque propuesto, la integración del sistema experiencial 4MAT, la exploración de los resultados de aprendizaje y estado de motivación de los participantes en la actividad, se desarrolló un caso de estudio.

Este trabajo de tesis argumenta que el proceso de estructuración de la FA Universidad EAFIT permitió alinear las necesidades puntuales del área de manufactura con las características que debían de ser embebidas en una FA. El enfoque de los tres pilares no solo facilito el diseño sistemático de la infraestructura de la FA, sino que vínculo un en su pilar didáctico el sistema 4MAT, el cual permite enmarcar el desarrollo de los módulos temáticos en dirección del aprendizaje experiencial. La creación de esta sinergia entre la FA y el sistema experiencial 4MAT, vinculó al currículo de manufactura del programa de ingeniería de producción las primeras practicas experienciales orientadas al fortalecimiento de la relación teórico-práctica.

Palabras claves: Fabrica de Aprendizaje, Aprendizaje experiencial, Educación en Ingeniería, Educación en Manufactura

Índice

1. Introducción	10
1.1 Objetivos, pregunta de investigación y motivaciones.	12
1.1.1 Objetivo General	12
1.1.2 Objetivos específicos.....	12
1.1.3 Pregunta de investigación.....	13
1.1.4 Motivaciones	13
1.2 Diseño de la investigación.....	13
2. Revisión de la Literatura	15
2.1 Manufactura Avanzada	15
2.2 Fábricas de Aprendizaje y la educación en manufactura	17
2.2.1 Definición de las Fabricas de Aprendizaje	19
2.2.2 Objetivos y propósitos de las Fabricas de Aprendizaje.....	19
2.2.3 Diferentes Fábricas de Aprendizaje	20
2.2.4 Observaciones sobre la literatura de las FA	24
2.2.5 Límites, retos y ventajas de las FA.....	24
2.3 Aprendizaje Experiencial y la conexión con las FA	25
2.3.1 Teoría de Aprendizaje Experiencial	26
2.3.2 Estilos de aprendizaje.....	27
2.3.3 Sistema 4MAT como modelo de aplicación de la teoría de aprendizaje experiencial	28
2.4 Resultados del aprendizaje	31
2.5 La motivación y la conexión con aprendizaje.	31
3. Propuesta	33
3.1 Metodología de la investigación	33
3.1.1 Primera Etapa: Enfoque de los Tres Pilares	33
3.1.2 Segunda Etapa: Caso de estudio.....	35
3.2 Desarrollo Primera Etapa	40
3.2.1 Selección de la literatura relevante.....	40
3.2.2 Análisis textual cuantitativo	41
3.2.3 Análisis textual cualitativo	43
3.2.4 Propuesta de Enfoque: Tres pilares	44
<i>Pilar didáctico</i>	45
<i>Pilar de integración</i>	45
<i>Pilar de ingeniería</i>	46
3.2.5 Aplicación de los tres pilares	47

<i>Pilar didáctico</i>	47
<i>Pilar de integración</i>	49
<i>Pilar de ingeniería.</i>	51
3.2.6 Resultado Fabrica de aprendizaje Universidad Eafit.....	53
4. Validación: aplicación del sistema 4MAT en FA Universidad EAFIT	66
4.1 Teoría utilizada dentro de actividades educacionales	66
4.1.1 Generación de secuencias de ensamble: Diagrama And/Or.....	66
4.2 Descripción de la actividad experiencial en la FA universidad EAFIT y la clase tradicional. 71	
4.2.1 Actividad experiencial.....	71
4.2.2 Clase Tradicional Magistral	78
4.3 Resultados de la aplicación	78
4.3.1 Resultados lista de chequeo FA universidad EAFIT.....	78
4.3.2 Resultados información demográfica de los grupos.....	81
4.3.3 Resultados estilos de aprendizaje	81
4.3.4 Resultados de aprendizaje	83
Prueba teórica.....	83
Evaluación cualitativa	84
4.3.5 Resultado estado de motivación	86
5. Discusión de los resultados	88
5.1 Primera sub-pregunta: ¿Cómo estructurar un enfoque para construir una FA?	88
5.2 Segunda sub-pregunta: ¿Cómo estructurar prácticas experienciales en una FA?	89
5.3 Tercera sub-pregunta ¿Cuáles son los resultados de aprendizaje, el estado de motivación y el estilo de aprendizaje de los participantes luego de desarrollar un tema con dos metodologías por separado: clase magistral y método experiencial en la FA Universidad EAFIT?	90
5.4 Pregunta principal de investigación: ¿Cómo Fortalecer la relación teórica-practica en la asignatura manufactura avanzada?.....	91
6. Conclusión	93
7. Bibliografía	95
Anexo 1. Test de estilos de aprendizaje	101
Anexo 2. Test teórico	103
Anexo 3. Evaluación cualitativa.....	104
Anexo 4. Test MSLQ	105
Anexo 5. Artículos incluidos en la investigación.....	107
Anexo 6. Presupuesto inicial	115
Anexo 7. Libro guía 4MAT.....	118

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. a) Practicas aisladas, b) Valor agregado entre las prácticas de procesos de manufactura	16
Ilustración 2 Diseño del ajedrez modular (Mora-Orozco et al., 2015).....	16
Ilustración 3. Penn State Learning Factory http://www.lf.psu.edu	17
Ilustración 4. Cronología de las FA (elaboración propia)	18
Ilustración 5. Ciclo de aprendizaje de Kolbs.....	26
Ilustración 6. Sistema 4MAT (Gómez Pawelek, 2003).....	28
Ilustración 7. Diseño de la investigación. Elaboración propia	34
Ilustración 8. Enfoque de los Tres Pilares. Elaboracion Propia	44
Ilustración 9. Pilar didáctico (cluster grupo objetivo, objetivo educaciona y estrategia de aprendizaje) Elaboración propia	47
Ilustración 10 Pilar de integración. elaboración Propia	49
Ilustración 12. Actividades de la cadena de valor y Asignaturas vinculadas a la FA U.EAFIT	50
Ilustración 11. Cadena de valor de Porter (Porter, 2008).....	50
Ilustración 13. Toyota LAB (toyota lab, 2017).....	54
Ilustración 14. Espacio designado para la FA Univesidad EAFIT.....	55
Ilustración 15. Infraestructura física FA Universidad EAFIT.....	56
Ilustración 16. Modulo de ensamble a)modulo de servicios, b)modulo de transporte y c)mesa auxiliar.....	57
Ilustración 17. Diferentes configuraciones de la FA universidad EAFIT. Elaboracion propia.....	58
Ilustración 18. Infraestructura de logística interna.....	58
Ilustración 19. Planos arquitectónicos de la FA universidad EAFIT	59
Ilustración 20 Fabrica de aprendizaje Universidad EAFIT	60
Ilustración 21 Vehiculo transpotador de Productos	60
Ilustración 22. Modulo de ensamble	61
Ilustración 24. Modulo de surtido	62
Ilustración 23. Modulo de servicio.....	62
Ilustración 25. Equipos de almacenamiento.....	63
Ilustración 26. Redes de aire,iluminacion, eléctrica y datos	63
Ilustración 27. Zona de sistemas de computo.....	64
Ilustración 28. Modulo de control calidad e impresion 3D	64
Ilustración 29. Herramientas de apoyo didacticas.....	65
Ilustración 30. Diagrama And/Or de un lapicero. Elaboración Propia.....	67
Ilustración 31. Diagrama And/or para Silla (Knepper et al., 2014)	67
Ilustración 32 Secuencias de ensamble para una silla (Knepper, Ahuja, Lalonde, & Rus, 2014)	68
Ilustración 33 Partes del lapicero. elaboración propia	69
Ilustración 34. Diagrama And/Or para Lapicero Stabilo Excel. Elaboración propia	69
Ilustración 35. Secuencia de ensamble para Lapicero Stabilo Excel. Elaboración propia.....	70
Ilustración 36. Sistema 4MAT	71
Ilustración 37 . Ciclo 4MAT para el modulo tematico.....	72
Ilustración 38. Actividad 1 conectar: secuencia para elaborar una receta de cocina.....	73
Ilustración 39. Paso 2: poner atención, discusión guiada sobre la actividad 1.....	73
Ilustración 40. Paso 3: Imagen, representacion de los conceptos de secuencia, operación y ensamble por medio de imagenes.....	74

Ilustración 41. Paso 4 informar: Clase magistral.....	75
Ilustración 42. Paso 5 practica: Ejercicio lapicero	75
Ilustración 43. Paso 6:extender. Proyecto Piston	76
Ilustración 44. Paso 7: Refinar. Retroalimentación proyecto pistón	77
Ilustración 45. Paso 8 ejecutar: Exposición proyecto pistón.....	77
Ilustración 46. Clase magistral	78

Índice de tablas

Tabla 1 Diferentes iniciativas de FA en el mundo . Elaboración propia.....	21
Tabla 2. Lista de chequeo cualitativa para la evaluacion de la FA	36
Tabla 3. Resultados Test de estilos de aprendizaje	40
Tabla 4 Resumen y clasificación de la literatura seleccionada.	41
Tabla 5 palabras con mayor número de ocurrencias dentro de la literatura seleccionada.....	42
Tabla 6. Análisis textual cualitativo y su clasificación por clústeres temáticos.....	43
Tabla 7. Formato de especiaciones para el pilar didáctico.....	45
Tabla 8. Formato de especiaciones para el pilar de integración.....	46
Tabla 9 Formato de especiaciones para el pilar de Ingeniería.....	46
Tabla 10 Características del pilar didáctico Universidad EAFIT.....	48
Tabla 11. Resumen Pilar de integracion.....	51
Tabla 12. Resumen Pilar de ingenieria.....	52
Tabla 13 . Resumen de los tres pilares de la FA Universidad EAFIT.....	53
Tabla 14 Presupuesto FA universidad EAFIT	56
Tabla 15 Lista de chequeo : Enfoque de los tres pilares	79
Tabla 16. Informacion demografica de los grupos.....	81
Tabla 17. Resultados test estilos de aprendizaje grupo magistral	82
Tabla 18. Resultados estilos de aprendizaje grupo experiencial	82
Tabla 19. Proporción por estilos de aprendizaje para los dos grupos.	83
Tabla 20. Resultado prueba teórica	84
Tabla 21. Resultado evaluación cualitativa.....	85
Tabla 22. Resultados test SMQL por escala.	87

Lista de abreviaciones

FA: Fabrica de aprendizaje

RA: Resultados de Aprendizaje

EM: Estado de motivación

AE: Aprendizaje Experiencial

EA: Estilo de aprendizaje

LE: Línea de ensamble

IP: Ingeniería de Producción

CV: Cadena de Valor

1. Introducción

En la actualidad el sector manufacturero representa una contribución del 16 % de PIB global (WorldBank, 2016), resultando en una de las actividades más importantes para generar riqueza de cualquier nación. Colombia no es ajena a esta situación y este sector representa para el país el 12% del PIB (WorldBank, 2016), ubicándose en la cuarta actividad productiva de su economía (Castro, Pérez, & Pérez, 2014). Los escenarios más representativos de esta labor y que generan un reto real para las economías están enmarcados dentro de las siguientes tendencias: Feroz competencia de mercados, ciclos de vida del producto cada vez más cortos, frecuente introducción de productos y rápidos cambios en la demanda, las cuales han generado nuevos retos en este sector (H. ElMaraghy, 2008) (Eberhard Abele et al., 2015). Considerando la situación actual de la industria manufacturera, la mejora y crecimiento de esta se ha convertido en un objetivo estratégico para cualquier nación.

Como respuesta a estas nuevas exigencias globalizadas de transformación, la educación en manufactura se ha definido como uno de los caminos de mayor relevancia para lograr la evolución del sector (Chryssolouris, Mavrikios, & Mourtzis, 2013) (Eberhard Abele et al., 2015), sin embargo la enseñanza y el entrenamiento no han crecido a la misma velocidad de los avances tecnológicos y las prácticas actuales se han mostrado limitadas para entregar profesionales con competencias ingenieriles y un fuerte respaldo multidisciplinar (Chryssolouris et al., 2013) (Eberhard Abele et al., 2015). Litzinger, Lattuca, Hadgraft, & Newstetter (2011) señalan que: “la educación debe abarcar un conjunto de experiencias de aprendizaje que permitan a los estudiantes construir conocimientos conceptuales profundos, desarrollar la capacidad de aplicar habilidades técnicas y profesionales con fluidez y participar en una serie de proyectos de ingeniería auténticos. Los planes de estudios de ingeniería y los métodos de enseñanza a menudo no están bien alineados con estos objetivos. Los procesos de diseño de instrucción a nivel de currículo deben usarse para diseñar e implementar cambios que mejoren la alineación”. La Universidad Eafit reconoce esta problemática, y específicamente el grupo de investigación en Tecnologías para la Producción adscrito al departamento de Ingeniería de Producción, donde una de sus líneas de investigación es la educación en ingeniería y la desarrolla por medio de iniciativas como Innovacampus (Innovacampus, 2016) y proyectos de investigación, en propuestas para la transformación de su currículo y la implementación de diferentes enfoques de aprendizaje en el área de manufactura (Mora-Orozco, Guarín-Grisales, Sauza-Bedolla, D’Antonio, & Chiabert, 2015)(Baena, Guarín, Mora, Sauza, & Retat, 2017).

Bajo este contexto, nuevos enfoques en la relación enseñanza-aprendizaje propenden desarrollar herramientas que recreen problemáticas industriales reales, que puedan ser abordadas en entornos académicos y que mejoren la adquisición competencias del estudiante. Uno de los enfoques modernos más representativos son las *Fábricas de Aprendizaje (FA)*, definidas como una réplica idealizada de secciones de la cadena de valor de la industria, donde el aprendizaje informal, no formal y formal tienen lugar (Tisch, Hertle, Abele, Metternich, & Tenberg, 2015). Estos escenarios están fundamentados en un concepto didáctico, con énfasis en el aprendizaje activo (Tisch et al., 2015) y encajan perfectamente

con la teoría de aprendizaje experiencial que busca reproducir una realidad que estimule la cognición del aprendiz por medio de desafíos que permitan desarrollar conceptos a través de aplicaciones prácticas y directas (De Zan, De Toni, Fornasier, & Battistella, 2015). En esta dirección, las implementaciones de la teoría de aprendizaje experiencial han ganado reputación en escenarios educativos, específicamente el sistema 4MAT (Ramírez Díaz, 2010)(Harb, Durrant, & Terry, 1991)(Artamónova, Mosquera, Ramírez, & Mosquera, 2014)(McCarthy, 1990)(Rosado Guzmán, Sánchez Guzmán, & García Salcedo, 2016)(Bauer, Magnan, & Laszewski, 2016), que tiene como objetivo diseñar módulos temáticos, fundamentado en la posibilidad de implementar actividades para que cada uno de los estilos de aprendizaje (modos en que aprendemos) se identifiquen dentro del ciclo de aprendizaje experiencial (McCarthy, 1990).

Aplicaciones del sistema 4MAT en una FA aún no se reportan en la literatura, por lo que la vinculación de esta herramienta a lo largo de este trabajo se plantea como una posibilidad para aportar tanto a las necesidades del área de manufactura como a los retos de las FA mencionados a continuación: En primer lugar, las FA existentes son normalmente diseñadas por técnicos expertos del entorno simulado. Por esta razón, la configuración resultante se centra en el mapeo auténtico de los escenarios reales de la fábrica, sin derivar los conceptos didácticos aplicados con un enfoque científico de los aspectos de eficiencia y efectividad en el desarrollo de competencias (Tisch et al., 2013). Como segundo punto, debido a la ausencia de evidencia empírica, no se pueden hacer declaraciones sobre las fortalezas y debilidades de los diferentes sistemas de enseñanza-aprendizaje desarrollados en una FA. En consecuencia, la integración de los educadores en el desarrollo estas, debe ser dirigida a fin de analizar, evaluar, validar y rediseñar diferentes tipos de FA (Tisch et al., 2013). Tercero, el desarrollo de las FA no suele basarse en ningún enfoque estructurado. El diseño intuitivo basado en la experiencia de otras FA conduce nuevas situaciones piloto con grandes esfuerzos pioneros, provocando alta incertidumbre al menos inicialmente, y como resultado una predecible baja eficiencia en el proceso de diseño de fábrica (Tisch et al., 2013). Cuarto y último, en la planificación de las FA, apenas se identifica un enfoque basado en competencias. Aquí, el diseño didáctico y técnico de las FA debe centrarse en un desarrollo efectivo de las competencias previstas (Tisch et al., 2013).

Partiendo de este contexto, esta tesis de maestría pretendió fortalecer la relación teórico-práctica del curso de Manufactura Avanzada en el programa de Ingeniería de Producción de la Universidad Eafit, mediante la integración de la teoría de aprendizaje experiencial en una FA. Para tal objetivo este trabajo desarrolla en su primer capítulo una breve introducción al tema, donde se plantean los objetivos y la pregunta de investigación. En el segundo capítulo se resume la historia de las FA, incluidos los retos y los logros más importantes de este tipo de iniciativas. En este segmento también hace una exploración de la teoría de aprendizaje. En el capítulo tres se explica la metodología para llevar a cabo la construcción de una FA y la integración del método de aprendizaje experiencial en este escenario. Este inicia con un análisis textual cuantitativo y cualitativo con el propósito de determinar y agrupar las características más relevantes de las FA en la literatura seleccionada. El resultado de este análisis son 7 categorías: grupo objetivo, objetivo educacional, estrategias de aprendizaje,

áreas de la cadena de valor, tecnologías, objetivo de ingeniería, estrategias de ingeniería. Estas a su vez se agruparon en clústeres temáticos, que denominamos pilares. Estos pilares se convierten en la guía para desarrollar la FA Universidad Eafit, uno de los objetivos de esta investigación. Adicionalmente, en este segmento, se desarrolló e implementó la FA de la Universidad Eafit. En el cuarto capítulo se desarrolló una actividad experiencial con el sistema 4MAT en la FA, siendo este escenario la fuente de las exploraciones de las variables Resultados de Aprendizaje y Estado de Motivación. En este mismo apartado se presentan los resultados del caso de estudio, la consolidación de la información recolectada y se propone una discusión de los resultados.

Como resultado de esta de investigación, se determina que el proceso de estructuración de la FA Universidad Eafit permitió alinear las necesidades puntuales del área de manufactura con las características que debían de ser embebidas en este tipo de escenarios de aprendizaje. El enfoque de los tres pilares no solo permitió el diseño sistemático de la infraestructura de la FA, sino que vinculó un en su pilar didáctico el sistema 4MAT, con el cual se pudo enmarcar el desarrollo de los módulos temáticos en dirección del aprendizaje experiencial. La creación de esta sinergia entre la FA y el sistema experiencial 4MAT permitió vincular al currículo de manufactura del programa de Ingeniería de Producción las primeras prácticas experienciales orientadas al fortalecimiento de la relación teórico- práctica de esta área.

1.1 Objetivos, pregunta de investigación y motivaciones.

Esta investigación parte de un escenario en el que la educación en ingeniería ha realizado esfuerzos para mejorar la formación de los profesionales y así afrontar los retos socio-económicos de la actualidad, sin embargo, existe un llamado para mejorar aspectos de esta como la relación teórico-práctica (Mills, Treagust, & others, 2003) (Litzinger et al., 2011) y el acceso a auténticas prácticas experienciales de ingeniería (UNESCO, 2010) (Phase & others, 2005), situación que no es ajena al entorno de la Universidad Eafit. Tomando como referente el contexto expuesto se define para esta investigación el siguiente objetivo:

1.1.1 Objetivo General

Fortalecer la relación teórico - práctica del curso de Manufactura Avanzada en el programa de Ingeniería de Producción de la Universidad Eafit, mediante la integración de la teoría de aprendizaje experiencial en una FA para impartir conocimiento a través de la transformación de la experiencia.

1.1.2 Objetivos específicos

- a. Identificar la relación teórico - práctica de la asignatura Manufactura Avanzada del área de manufactura en el programa de Ingeniería de Producción.
- b. Reconocer los conceptos teóricos básicos de las FA.
- c. Explorar el concepto de aprendizaje experiencial.
- d. Estructurar y Construir la FA Universidad EAFIT.

- e. Aplicar la teoría de aprendizaje experiencial en la FA.
- f. Explorar los resultados de aprendizaje y estado de motivación de los participantes de una actividad experiencial y una clase magistral

1.1.3 Pregunta de investigación

¿Cómo Fortalecer la relación teórica-práctica en la asignatura de Manufactura Avanzada del programa de Ingeniería Producción la Universidad EAFIT?

Ligadas a esta pregunta se generaron las siguientes sub preguntas que también serán cubiertas en el orden responder el primer interrogante:

- ¿Cómo estructurar un enfoque para desarrollar una FA?
- ¿Cómo estructurar prácticas experienciales en una FA?
- ¿Cuáles son los resultados de aprendizaje, el estado de motivación y el estilo de aprendizaje de los participantes luego de desarrollar un tema con dos metodologías por separado: clase magistral y método experiencial en la FA Universidad Eafit?

1.1.4 Motivaciones

La primera motivación conectada con el objetivo general fue la integración de la teoría de aprendizaje experiencial en la asignatura Manufactura Avanzada del programa de Ingeniería de Producción, con el propósito mejorar la formación de los ingenieros de la Universidad Eafit. La segunda fue materializar el concepto de FA en la Universidad Eafit, donde se puedan aplicar los enfoques de enseñanza-aprendizaje basados en prácticas experienciales, como mecanismo de mejoramiento en la relación teórico-práctica del área de manufactura. La última consistió en la vinculación sistémica del concepto de estilos de aprendizaje en espacios académicos, en este caso en particular en la FA.

1.2 Diseño de la investigación

El resultado de este proceso de investigación fue el diseño y construcción de la primera FA en Colombia, donde los participantes desarrollaron actividades bajo un marco de aprendizaje experiencial. La estructura de esta FA es el resultado de aplicar el enfoque, llamado en esta investigación, los tres pilares: didáctico, integración y de ingeniería. Cada pilar se forma a partir de las características definidas como componentes fundamentales de nuestra FA y que agrupan elementos comunes en iniciativas de este tipo; se presentan a continuación los aspectos incluidos: grupo objetivo, objetivo educacional, estrategias de aprendizaje, áreas de la cadena de valor, tecnologías, objetivo de ingeniería y estrategias de ingeniería. Si bien los tres pilares se declaran fundamentales en el enfoque, el didáctico es el que para nuestro trabajo tiene más relevancia y donde la vinculación de la teoría de aprendizaje experiencial, específicamente el sistema 4MAT, son el fundamento de nuestra propuesta. Este sistema tiene 2 premisas fundamentales: La primera indica que las personas tienen una preferencia por un estilo de aprendizaje y un procesamiento hemisférico (modo-derecho y modo-

izquierdo). La segunda expresa que diseñando y usando múltiples estrategias en un marco sistemático para enseñar a cada una de las preferencias se puede mejorar la enseñanza-aprendizaje. Este sistema consiste en un ciclo de instrucción compuesto de 8 pasos que guían la planeación y el diseño de las clases de modo que se incluyan estrategias didácticas para cada uno de los estilos definidos en el ciclo de aprendizaje experiencial. Los dos pilares restantes (integración e ingeniería) están ligados fundamentalmente al desarrollo de la infraestructura física de la FA.

Para la integración del sistema experiencial en la FA se planteó un caso de estudio donde se realizó una exploración los Resultados de Aprendizaje (RA) y el Estado de Motivación(EM) en los participantes de las actividades realizadas con dos estrategias por separado: Sistema Experiencial 4MAT y la clase magistral “tradicional”. Se plantea la medición en los dos escenarios con el objetivo de explorar el comportamiento de estas dos variables con miras a investigaciones futuras que puedan determinar relaciones de causalidad entre la utilización de alguno de los métodos y el cambio en las variables RA y EM.

Para esta medición se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Se realizó un test de conocimiento teórico antes y después del tratamiento (en la FA y la clase magistral), para cuantificar el progreso del participante.
- Evaluación cualitativa del desempeño en un ejercicio práctico de los estudiantes que participaron de la actividad experiencial y la clase magistral.
- Se utilizó el test *Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ)* o Cuestionario de Estrategias de Aprendizaje y Motivación para obtener los datos de motivación de los participantes luego del desarrollo del tema en una FA y en una clase magistral.
- Se realiza un test de estilos de aprendizaje que viene ligado a la metodología de aprendizaje experiencial 4matt.

2. Revisión de la Literatura

Esta sección presenta una visión de la evolución de la asignatura de Manufactura Avanzada del programa de Ingeniería de Producción de la Universidad Eafit y de las FA con sus principales características. También se ha incluido un apartado donde se recogen propuestas de los enfoques en el diseño e implementación de FA, así como sus ventajas y sus limitaciones. Adicionalmente, se definen los conceptos básicos que hacen parte de la teoría de aprendizaje experiencial y del sistema 4MAT como modelo a aplicar.

2.1 Manufactura Avanzada

Este programa se justifica en la importancia que tiene la Manufactura avanzada en los sistemas de producción modernos donde el conocimiento de las estrategias, métodos, herramientas para la gestión y desarrollo de sistemas productivos, son una parte fundamental para el ingeniero de producción.

El propósito general del curso se enmarca en la capacidad de reconocer y gestionar los elementos que hacen parte de los sistemas modernos de manufactura mediante el recorrido de las fases de planeación, diseño y fabricación. Se plantea que el estudiante al final del curso tenga los elementos necesarios para reconocer la utilización de máquinas controladas numéricamente en un entorno productivo, la utilización de los sistemas CAD/CAM/CAE para el desarrollo de nuevos productos y las técnicas modernas de manufactura mediante un recorrido por los sistemas de producción (Robótica, Celdas de manufactura Flexible y la manufactura Integrada por computador), y de esta forma fortalecer su participación en el medio industrial. El curso utiliza la metodología de clase magistral en un aula dotada de equipos de cómputo durante módulos de 3 horas en el transcurso de 16 semanas, para totalizar 48 horas de duración de clase y 32 horas de laboratorio practico.

En el año 2015 se planteó realizar una transformación del área dedicada a realizar actividades correspondientes a la Manufactura en la Universidad Eafit, se organizó un espacio físico que contuviera los procesos y tecnologías industriales para desarrollar los temas de la asignatura Manufactura Avanzada en un contexto didáctico (Baena et al., 2017) y poder recrear el realismo de un sistema productivo e incorporar estas actividades al currículo. Esta transformación considero las siguientes etapas:

Creación de valor: Se centra en la transformación de las prácticas de manufactura a través de la producción de elementos físicos: máquinas, dispositivos, herramientas. Aunque el resultado es un producto físico, el objetivo principal es didáctico, y es dirigido a evidenciar el concepto de valor agregado en cada tarea de transformación. Esta actividad permitió evolucionar las prácticas tradicionales de enseñanza centradas en el desarrollo puntual de un proceso productivo (soldadura, doblado, remachado), enfocado en la observación de una tarea constructiva aislada (figura 1 a) a un proceso sistémico, orquestado por el desarrollo de un producto en forma integral, que proporcionó a los estudiantes un punto de vista holístico entre los procesos de fabricación (figura 1b).

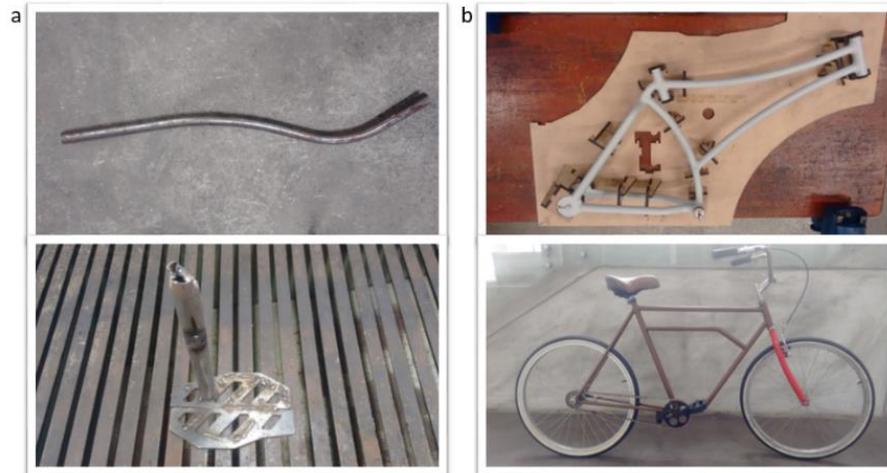


Ilustración 1. a) Practicas aisladas, b) Valor agregado entre las prácticas de procesos de manufactura

Creación de la cadena de valor: la segunda transformación pretendió desarrollar el concepto de cadena de valor mediante la introducción de módulos de logística, planeación/control de las operaciones de producción y ensamble a la actividad manufacturera ya desarrollada en la primera etapa. En esta transformación se implementó la producción de un juego modular de ajedrez (Mora-Orozco et al., 2015). El diseño original se presenta en la ilustración 2.

Durante el desarrollo del curso, los estudiantes asumen el papel de director de producción dentro de la cadena de valor, gestionando el sistema productivo (logística de materiales, disponibilidad de máquinas y la planeación de la producción) para cumplir con una orden de producción del ajedrez. La retroalimentación de los estudiantes y profesores fue positiva. Sin embargo, debido a las características del juego de ajedrez y la infraestructura con que se contaba para la operación de ensamble, logística de interna y el almacenamiento limitaban la recreación del sistema productivo. Para dar proyección a las actividades de la cadena de valor, se propuso desarrollar una nueva infraestructura que permitiera vincular nuevos productos, de modo que cambiaran las condiciones de las operaciones de fabricación, ensamble, logística y planeación de la producción.

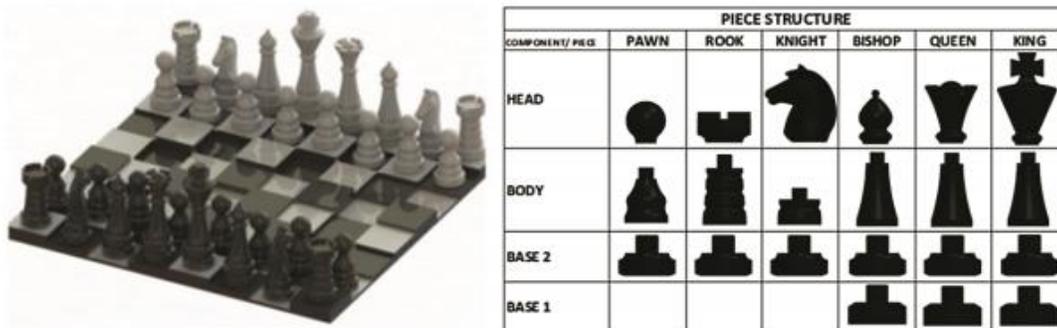


Ilustración 2 Diseño del ajedrez modular (Mora-Orozco et al., 2015)

Si bien hasta este punto se había evolucionado el desarrollo de la asignatura de Manufactura Avanzada mediante estas transformaciones, existía aún margen de mejora específicamente en el proceso para formalizar el diseño e implementación de las prácticas en escenarios reales que pudieran ser el puente ente entre la relación teórico-práctica y la académica-industrial.

2.2 Fábricas de Aprendizaje y la educación en manufactura

En 1994, la *National Science Foundation* (NSF) en Estados Unidos otorgó a un consorcio liderado por Penn State University la misión de desarrollar una "FA" (Lamancusa, Jorgensen, Zayas-Castro, & Ratner, 1995). Aquí fue cuando el término se acuñó y patentó. Esta iniciativa se centró en proyectos interdisciplinarios prácticos de ingeniería de diseño con fuertes vínculos e interacciones con la industria, para lograrlo se utilizó la infraestructura de toda la universidad y una instalación (Ilustración 3) de 2000 m² equipada con máquinas, materiales y herramientas para apoyar el desarrollo de cientos de proyectos de diseño patrocinados por la industria desde 1995.



Ilustración 3. Penn State Learning Factory <http://www.lf.psu.edu>

Este programa fue reconocido a nivel nacional y recibió el Premio Gordon de Innovación en la educación de ingeniería en 2006 (Lamancusa, Zayas, Soyster, Morell, & Jorgensen, 2008). Este modelo temprano de las Fábricas de Aprendizaje hace hincapié en la experiencia práctica adquirida mediante la aplicación de conocimientos aprendidos en la culminación de los programas de ingeniería, para resolver problemas reales en la industria y diseñar / re-diseñar productos para satisfacer las necesidades identificadas. Los objetivos específicos de este proyecto fueron (Lamancusa et al., 1995):

- Currículo de ingeniería basado en la práctica. Buscar un balance entre el conocimiento teórico y analítico con la manufactura, diseño, realidad empresarial y las habilidades profesionales.
- Las FA de cada institución: deben ser integradas al currículo para realizar actividades prácticas y experienciales en áreas de diseño, manufactura y desarrollo de productos.
- Fuerte colaboración de la industria: mediante convocatorias abiertas para proyectos de desarrollo conjuntos patrocinados por industria
- Disseminación hacia otras instituciones, gobierno e industria.

Más recientemente, el uso de las FA ha aumentado, sobre todo en Europa, y se han adoptado diversas formas e instalaciones que varían en tamaño y sofisticación con el fin de mejorar la experiencia de aprendizaje de los alumnos en una o más áreas del conocimiento (Eberhard Abele et al., 2015). En los últimos años se han construido numerosas FA (Tisch et al., 2015). El Instituto de Gestión de la Producción, Tecnología y Máquinas-Herramientas de la Universidad Técnica de Darmstadt tuvo una de las primeras implementaciones en esta nueva ola FA en el año 2007, convirtiéndose en el referente tanto en la concepción como en la implementación de este concepto. Esta FA vinculo dos productos reales que se fabrican en una cadena de valor que va desde la gestión de las materias primas hasta los productos terminados. Bajo este mismo concepto se construyeron otras FA con diferentes fines. (ilustración 4).

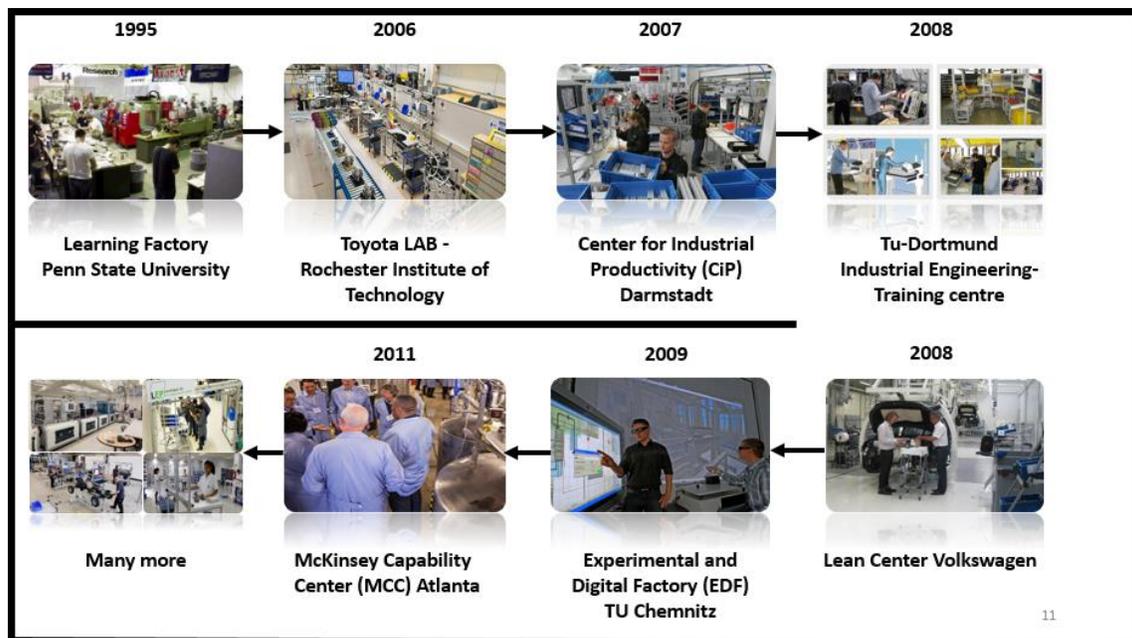


Ilustración 4. Cronología de las FA (elaboración propia)

Con el establecimiento de la Iniciativa sobre las FA europeas en el año 2011 mediante la "1ª Conferencia sobre las FA" en Darmstadt, el tema "Fábrica de Aprendizaje" dio un paso más para la colaboración en toda Europa. En 2014, se inició un Grupo de Trabajo de Colaboración CIRP sobre FA con el fin de establecer una comprensión conjunta de los términos relevantes

que las rodean, el aprendizaje orientado a la práctica, reunir conocimientos sobre el estado del arte y generar programas de investigación y modelos de colaboración (Eberhard Abele et al., 2015).

En la actualidad estas iniciativas se han utilizado para fines educativos, investigación y formación en áreas tales como la Manufactura (TU Darmstadt) (Tisch et al., 2015), la eficiencia energética (Green Factory Bavaria) (Kreitlein, Höft, Schwender, & Franke, 2015), los procesos de operaciones de servicio (McKinsey Capability Center Atlanta) (Eberhard Abele et al., 2015), entre otros.

En América Latina, el concepto de FA ha sido aceptado y difundido (Morell & Trucco, 2012). Sin embargo, las iniciativas son escasas; La Fábrica de Modelo de Brasil, que es una unión entre el SENAI (Servicio Nacional de Aprendizaje Industrial) y McKinsey & Company para construir una fábrica funcional con productos reales, operadores, máquinas y un sistema realista de gestión es la iniciativa más sobresaliente en América del Sur (Baena et al., 2017).

2.2.1 Definición de las Fabricas de Aprendizaje

Los requisitos mínimos para la etiqueta «Fábrica de Aprendizaje» surgen de la composición de las dos palabras “fábrica” y “aprendizaje” es decir, una FA debe abarcar por lo menos ambas partes del término: debe incluir elementos de formación o educación y un ambiente de producción (Ulf Wagner, AlGeddawy, ElMaraghy, & M"Yller, 2012). Estos requisitos mínimos permiten margen para diferentes interpretaciones. Por ejemplo, en el ámbito angloamericano, los términos «laboratorio de aprendizaje» y «fábrica de aprendizaje» se utilizan para describir una fábrica que integra el conocimiento interno y externo, la resolución de problemas, la experimentación y la innovación en la rutina diaria de trabajo (Barton & Delbridge, 2001). En este sentido, el término "Fábrica de Aprendizaje" se estableció para describir un enfoque de organización de aprendizaje a nivel de fábrica operacional, integrando el lugar de aprendizaje y el lugar de trabajo (Barton & Delbridge, 2001).

En contraste con estas ideas, este trabajo utiliza la definición de Fábrica de Aprendizaje del modelo europeo que se definen así:

- Entornos de aprendizaje altamente complejos que permiten un desarrollo autónomo de competencias de alta calidad (perspectiva de la enseñanza-aprendizaje) (Tisch et al., 2015).
- Replicas idealizadas de secciones de la cadena de valor industrial donde se puede realizar el aprendizaje informal, no formal y formal. (perspectiva operacional) (Tisch et al., 2015) .

2.2.2 Objetivos y propósitos de las Fabricas de Aprendizaje

El desarrollo de competencias se reconoce generalmente como el objetivo de las FA (Eberhard Abele et al., 2015). Estas propenden las intervenciones interactivas y las acciones propias de los partícipes las cuales facilitan el desarrollo de competencias a través de

procesos estructurados de autoaprendizaje (Tisch et al., 2015). Las FA integran una amplia variedad de métodos de enseñanza con el objetivo de acercar los procesos de enseñanza-aprendizaje a problemas industriales reales (Tisch et al., 2015).

Adicionalmente, en esta revisión de literatura se identificaron una variedad de objetivos y propósitos de este tipo de iniciativas presentados a continuación:

- Permitir la formación en entornos de fabricación realistas (De Zan et al., 2015)
- Modernizar el proceso de aprendizaje y acercarlo a la práctica industrial.(Eberhard Abele et al., 2015)
- Impulsar la innovación en la manufactura mediante la mejora de las capacidades de los jóvenes ingenieros, por ejemplo, la capacidad de resolución de problemas, creatividad o capacidad de pensamiento sistémico. (Eberhard Abele et al., 2015)
- Ayudar a transferir las últimas investigaciones científicas a la industria a través de proyectos colaborativos y ayudar al gobierno a identificar las necesidades de las empresas industriales. (Veza, Gjeldum, & Mladineo, 2015)

2.2.3 Diferentes Fábricas de Aprendizaje

En los últimos años se han establecido y operado FA en la industria, el mundo académico, escuelas profesionales y negocios de consultoría (Ulf Wagner et al., 2012). Los focos temáticos de esos sistemas de aprendizaje abarcan una amplia gama de temas, por ejemplo, la automatización, mejora de procesos, eficiencia energética, logística entre otros. Para tener un panorama amplio de las aplicaciones y de las diferentes propuestas de FA se consolidó un formato (tabla1) donde se agruparon las iniciativas encontradas durante nuestra búsqueda con algunas de sus características principales (año de fundación, área, objetivo entre otras características).

Tabla 1 Diferentes iniciativas de FA en el mundo . Elaboración propia

Ubicación	Año de fundación	Área (mts2)	Objetivo	Grupo objetivo (enfoque)	Contenido de enseñanza (temática)	Productos o Caso	Procesos y equipos (tecnologías)
Pennsylvania, USA	1995	600	Llevar el mundo real dentro de las clases mediante experiencias prácticas con proyectos patrocinados por la industria.	Educación superior - proyectos industriales.	Todas la áreas de la ingeniería.	(+) de 1900 proyectos desarrollados con la industria	Impresión 3D, Maquinado, conformado de lámina, soldadura, Ensamble/Testeo, Corte por agua a presión, secciones de Ensamble manual
Chemnitz, Alemania	2006	500(NI)	Investigación y enseñanza de sistemas de manufactura flexibles(planeación, control ,logística y eficiencia energética de la producción)	Académico- Investigación- Industrial	Smart Factory	Ensamble diferentes piezas	8 módulos de manufactura automatizados
Rochester ,USA	2006	240	Proveer enseñanza practica en todo en el estado del arte de los sistemas de producción.	Educación básica y superior	kanbans, heijunka, jidoka, takt time, balanceo de líneas.	Patineta, ventilador de radiador, modulo ABS	2 líneas de ensamble, almacén,
Darmstadt, Alemania	2007	500	Centro de excelencia para producción LEAN e Industria 4.0. Formación basada en productos manufacturados reales en un entorno de producción real.	Académico, investigación e industrial	Lean manufacturing e industria 4.0	Cilindro neumático, motor eléctrico	Línea de manufactura y línea de ensamble.
Dortmund, Alemania-	2007	1000	Investigación y enseñanza en: Diseño de Sistemas de Trabajo, tiempos y movimientos, manufactura digital , planeación	Académico, investigación e industrial	Sistemas de producción	Ensamble de artefactos, proyectos industriales	Línea de ensamble

			de procesos de ensamble, sistemas robóticos y sistemas de ingeniería				
Wolfsburgo, Alemania	2008	1700+	Enseñar, testear y diseñar los procesos productivos de Volkswagen	Industrial privado	Sistemas de producción	ensamble vehículo	22 módulos de fabricación
Lyon, Francia	2009	400	Crear el perfecto ambiente de aprendizaje para construir e incrementar la excelencia operacional.	Académico-industrial	Lean Managment	Reloj, oficina modelo y línea de producción de yogurt de chocolate	Centro de maquinado, estaciones de ensamble , oficina modelo
Atlanta, USA	2011	1100	Proveer capacitaciones en todo el rango de las operaciones de producción y servicios	Industrial	Lean Manufacturing	Te embotellado, pistón neumático, oficina modelo.	Línea embotelladora de té, módulos de ensamble para el pistón , oficina modelo
Windsor, Canada	2011	1000	Proveer un espacio para enseñanza e investigación en la nuevas tecnologías de producción	Académico	Sistemas de manufactura flexibles, Smart Factory, industria 4.0	Set de escritorio	Robot de ensamble, módulo de ensamble manual, cámara de inspección, módulo de almacenamiento
Venecia, Italia	2011	500	Capacitación en gestión LEAN	Industrial	LEAN	Cilindro neumático	Línea de manufactura y ensamble, Laboratorio de calidad, oficina modelo y call center Equipos de medición de eficiencia energética.
Múnich, Alemania	2013	500	Estudiar enseñar técnicas para optimizar la eficiencia energética de los sistemas productivos.	Académico, investigación, industrial	Productividad energética-industria 4.0	Trasmisión	Línea de manufactura de transmisión y línea de ensamble de transmisión, tecnología RFID
Gurgaon, India	2013	1500	Desarrollar capacidades técnicas en el área operaciones productivas, cadena de suministro, operaciones de servicio trabajando en casos de la vida real.	Industrial	Operaciones área de producción y servicio	Ensamble bicicleta, válvula, cafetera	8 módulos de ensamble, salda de realidad virtual

Beijing, China	2013	NA	Desarrollar la excelencia operacional en la industria extranjera y local en CHINA	académico-industrial	todo el rango de operaciones productivas	válvula neumática- producción de té embotellado	Línea de maquinado, línea de ensamble y línea de fabricación de té.
Karlsruhe, Alemania	2014	50	ofrecer capacitación en técnicas LEAN enfocadas en el almacenamiento y empaque	Académico - Industrial	Almacenamiento LEAN	vehículo de juguete	almacén móvil
Aachen, Alemania	2014	1600	Su objetivo es la integración de la práctica, la investigación y la educación.	Académico - investigación - industrial	Industria 4.0	producción de kart	línea de producción y ensamble de kart electro-mecánico.
Ámsterdam, Holanda	2014	100	promover la innovación la excelencia de las organizaciones a través del desarrollo , entrenamiento y aplicación de la filosofía lean	académico-industrial	LEAN MANAGMENT	cilindro neumático	Línea de ensamble con puestos modulares-oficina modelo
Salvador, Brasil	2015	100	proveer programas de entrenamiento en lean manufacturing dirigido a todos los tamaños de empresas.	académico-industrial(todos los tamaños y jerarquías) ,	lean manufacturing	Cilindro Neumático	Línea de ensamble con puestos modulares-oficina modelo

En síntesis, las FA son una iniciativa que se ha desarrollado a nivel mundial con múltiples propósitos que van desde la investigación, entrenamiento, formación de técnicos y profesionales en diversas áreas de conocimiento. El inicio de este concepto se origina en Estados Unidos en el año 1995, pero toma fuerza a partir del año 2006 cuando numerosas universidades y empresas consultoras ven potencial para la formación tanto de técnicos, trabajadores y estudiantes. El eje temático se enmarcó en la formación de conceptos de mejoramiento continuo en el sector de manufactura, pero se han ido integrando áreas de servicio y logística. El desarrollo de la infraestructura física de estos espacios varía según las particularidades propias de cada proyecto y las dimensiones van desde 50 m² (Karlsruhe, Alemania), hasta 1700 m² (Wolfsburgo, Alemania). Por último la infraestructura tecnológica de estos espacios y los productos que utilizan en su funcionamiento son variables que cada fábrica determina individualmente según su orientación académica o industrial particular.

2.2.4 Observaciones sobre la literatura de las FA

- La primera iniciativa que acogió la denominación de “FA” fue en el año 1995 en Estados Unidos, sin embargo, la mayoría de estos proyectos se han desarrollado desde el año 2006 en adelante con origen Europa.
- Los objetivos de las FA se clasifican en: educación, entrenamiento e investigación.
- Existen iniciativas de parte de la industria, la academia y empresas de consultoría.
- Las estrategias de mejoramiento continuo en manufactura han sido el eje central de las FA, aunque la temática se ha ido expandiendo a otras áreas como logística y eficiencia energética.
- Se han utilizado diferentes estrategias de enseñanza aprendizaje dentro de las FA, siendo las más representativas: aprendizaje activo y experiencial.

2.2.5 Límites, retos y ventajas de las FA

- Los métodos de enseñanza-aprendizaje implementados en las FA han mostrado un mejor desempeño que los métodos tradicionales (Cachay, Wennemer, Abele, & Tenberg, 2012), sin embargo, la falta de guías para implementar FA y casos de estudio que validen los resultados de los mimos han sido un vacío reconocido en la literatura de las FA (Tisch et al., 2015).
- Las FA existentes normalmente fueron diseñadas por técnicos expertos del entorno que se quería simular. Por esta razón, la configuración resultante se centra fuertemente en el mapeo auténtico de los escenarios reales de la fábrica, sin derivar los conceptos didácticos aplicados con un enfoque científico de los aspectos de eficiencia y efectividad en el desarrollo de competencias (Tisch et al., 2013). Debido a la ausencia de evidencia, no se pueden hacer declaraciones sobre las fortalezas y debilidades de los diferentes sistemas de enseñanza-aprendizaje dentro de estas. En consecuencia, la integración de los educadores en el desarrollo de otras fábricas de aprendizaje debe ser implementada a fin de analizar, evaluar, validar y rediseñar diferentes aspectos de las FA. (Tisch et al., 2015)
- Por otra parte, no existen enfoques sistemáticos sobre el diseño de la FA, lo que lleva una y otra vez a situaciones inciertas con grandes esfuerzos pioneros (Tisch et al., 2013). En general, el complejo desarrollo del sistema de aprendizaje de la FA se basa en la experiencia e intuición de los individuos. Además, los cursos de enseñanza a menudo carecen de una precisa orientación hacia los objetivos. Aunque el desarrollo de las competencias se establece como el objetivo principal en los cursos de las FA, las competencias previstas no son explicadas, diferenciadas y operadas. (Tisch et al., 2013).
- En cuanto a la planeación de la FA, apenas se identifica un enfoque basado en competencias. Aquí, los medios didácticos y técnicos de las FA deben centrarse en el desarrollo efectivo de las competencias previstas (Tisch et al., 2013).

- Por último, la transferencia de los procedimientos de resolución de problemas de las FA a la fábrica real a menudo se ve obstaculizada por una asignación inadecuada del personal a determinados módulos de formación (Tisch et al., 2013).

2.3 Aprendizaje Experiencial y la conexión con las FA

En la introducción, el aprendizaje experiencial fue declarado parte fundamental de esta tesis. Este tipo de aprendizaje consiste en adquirir conocimientos a través de la experiencia, mediante el cual se estimula el pensamiento original y desarrolla una amplia gama de estrategias de pensamiento y habilidades perceptivas que no son invocadas por libros o clases tradicionales (Efstratia, 2014). Este tipo de acercamiento experimental se ha aplicado a diferentes cursos y programas relevantes a través una gama de áreas temáticas (Cantor, 1997) que incluyen la formación en temáticas relacionadas con la manufactura. Abele et al. (2015) comparten esta opinión al agregar que "la investigación ha demostrado que el aprendizaje en manufactura mediante la práctica conduce a mayores posibilidades de retención y aplicación que los métodos tradicionales, como las clases magistrales".

El aprendizaje puede definirse como “el proceso mediante el cual el conocimiento se crea a través de la transformación de la experiencia. El conocimiento surge de la combinación de comprender y transformar la experiencia” (D. A. Kolb, 2014). En otras palabras, el aprendizaje viene a través de la experiencia. Las investigaciones sobre el aprendizaje lo definen como un cambio individual en la persona debido a la interacción entre el sujeto y su entorno. Esta interacción trata de satisfacer la necesidad de un individuo y le permite adaptarse más adecuadamente al entorno externo (Bower, Hilgard, & others, 1981). De acuerdo con Schunk, Meece, & Pintrich, (2012), el aprendizaje tiene tres propiedades principales: implica un cambio, perdura con el tiempo y tiene lugar a través de la experiencia. Según Dale (1969), en su cono de experiencia, el proceso de aprendizaje más efectivo es el que es capaz de proporcionar el mayor número posible de enlaces a experiencias prácticas y concretas. Vale la pena informar que la gente generalmente recuerda sólo el 10 por ciento de lo que lee, el 20 por ciento de lo que escucha, el 30 por ciento de lo que ve, el 50 por ciento de lo que ve y oye, el 70 por ciento de lo que dice y escribe y más de 90 por ciento de lo que hacen (Dale, 1969). Esto ocurre también mientras se aprenden temáticas relacionadas con la manufactura. E Abele, Eichhorn, & Kuljanic (2008) muestran que el aprendizaje se mejora en entornos específicos como las "FA", donde los alumnos tienen experiencias concretas durante el proceso de aprendizaje. “La experiencia práctica en un entorno realista de fabricación es la base de una exitosa transferencia de conocimiento”(E Abele, Wennemer, & Eichhorn, 2010); De hecho, la tasa de recuperación sobre el contenidos temáticos de manufactura después de tres meses de aprendizaje experiencial es del 65 por ciento, en comparación con la audición (durante las clases: alrededor del 10 por ciento) o ver (durante los seminarios alrededor del 32 por ciento)(E Abele et al., 2010).

Este antecedente permite asociar de manera natural el concepto FA con las teorías de aprendizaje experiencial, sin embargo, como se observó en la sección pasada en los límites

y retos de las FA existen oportunidades de mejora en los enfoques para implementar estructuras didácticas formales en las diferentes iniciativas de este tipo.

2.3.1 Teoría de Aprendizaje Experiencial

Concretamente, el Aprendizaje Experiencial (AE) significa en su definición más simple “la construcción, adquisición y descubrimiento de nuevos conocimientos, habilidades y valores, a través de vivencias reflexionadas de manera sistémica” (D. A. Kolb, 2014) . El concepto de aprendizaje experiencial se forma a través de cuatro procesos dentro de un ciclo (D. A. Kolb, 2014), es decir, la experiencia concreta, la observación reflexiva, la conceptualización abstracta y la experimentación activa (ilustración 5).

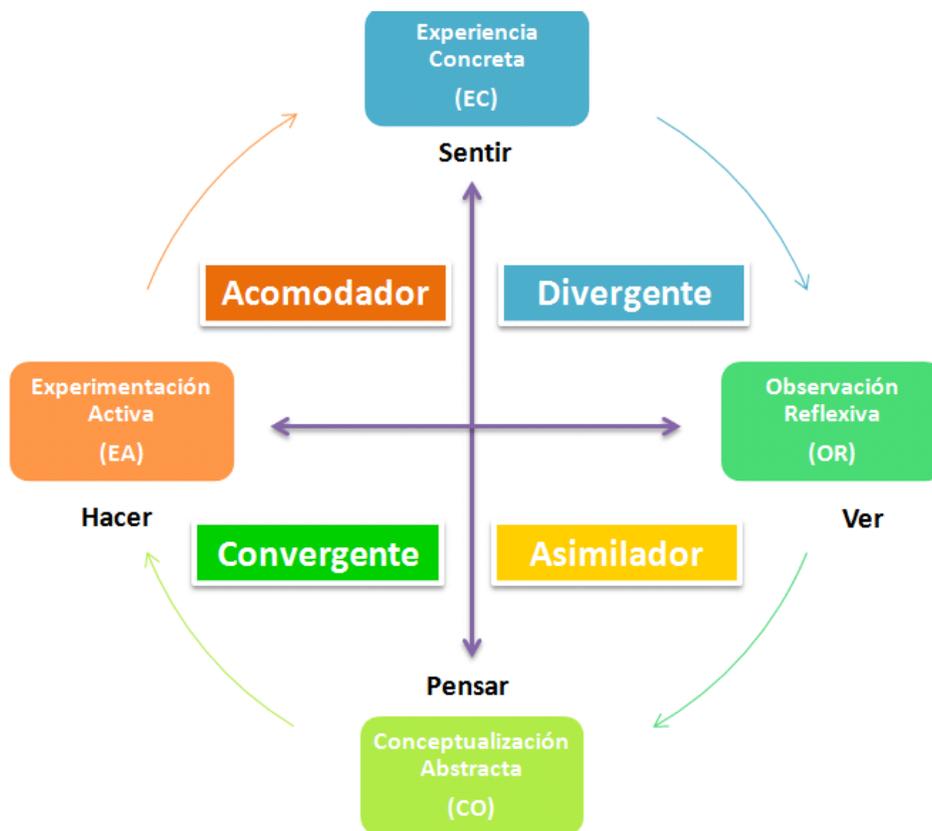


Ilustración 5. Ciclo de aprendizaje de Kolbs

A. Y. Kolb & Kolb (2005) indican que el primer paso del ciclo comienza con una experiencia concreta en la que el alumno está realizando una actividad, seguida por la recopilación de datos o la realización de reflexiones. En segundo lugar, la observación reflexiva se centra en observar, hacer ideas, compartir reacciones a través del análisis y la discusión. Tercero, en la etapa de conceptualización abstracta, el alumno piensa, entiende el concepto o situación y resuelve los problemas. Por último, se hace hincapié en probar ideas a través de la experimentación práctica y activa en nuevas circunstancias. Para ser “aprendices efectivos”, deberíamos idealmente desarrollar habilidades para las cuatro etapas del ciclo. Sin embargo,

pocos de nosotros podemos acercarnos al ideal respecto de esto, por lo que generalmente tendemos a desarrollar fortalezas en uno de los polos de cada dimensión (un modo de percibir, sintiendo o pensando, y un modo de procesar, observando o haciendo) (A. Y. Kolb & Kolb, 2005). Por lo general, aquellos polos en los que somos más hábiles son al mismo tiempo los modos en que preferimos acercarnos al aprendizaje, esto es, nuestro estilo de aprendizaje (Divergente, Asimilador, Convergente y Acomodador) (ilustración 5).

2.3.2 Estilos de aprendizaje

El concepto de estilo de aprendizaje describe las diferencias individuales en el aprendizaje, y están basadas en la preferencia del alumno por emplear diferentes fases del ciclo de aprendizaje (A. Y. Kolb & Kolb, 2005). Esto se debe a condiciones hereditarias, nuestras experiencias particulares de vida y las exigencias de nuestro entorno actual, por esta razón desarrollamos una forma preferida de elegir entre los cuatro modos de aprendizaje (A. Y. Kolb & Kolb, 2005). La importancia de este concepto recae al momento de diseñar prácticas que activen cada uno de los estilos, y que según algunos estudios mejora el progreso en los procesos de aprendizaje (Carol, 2015).

Kolb define los siguientes 4 estilos de aprendizaje (A. Y. Kolb & Kolb, 2005):

Estilo Divergente (sentir + observar): Quienes tienen este estilo de aprendizaje prefieren observar lo que sucede más que actuar. Tienen habilidad para observar un mismo fenómeno desde diversas perspectivas. Del mismo modo, pueden escuchar con amplitud mental, considerando distintos puntos de vista sobre una misma cuestión.

Estilo Asimilativo (pensar + observar): El estilo de aprendizaje asimilativo posee un enfoque conciso, lógico y preciso. Quienes poseen este estilo, se destacan por su capacidad para comprender la información, organizándola con un formato claro y lógico. Toman la experiencia de aprendizaje y buscan integrarla a marcos más amplios de teorías abstractas. Esta gente requiere explicaciones precisas y claras más que prácticas y oportunas.

Estilo Convergente (pensar + actuar): Las personas con estilo convergente tienen su foco puesto en la utilidad práctica de lo aprendido. Tienen capacidad para aplicar teorías e ideas a situaciones reales, por ejemplo, para los procesos de resolución de problemas y toma de decisiones. Están orientados, sobretodo, hacia los hechos y los resultados.

Estilo Acomodador (sentir + actuar): Las personas de estilo acomodador tienen un acercamiento predominantemente práctico y experimental. Es un estilo muy útil para el ejercicio de roles que requieran acción e iniciativa. Establecen objetivos y trabajan activamente en el campo, probando diferentes alternativas para el alcance de los objetivos. Les atraen los nuevos desafíos y experiencias; tienen facilidad para involucrarse en proyectos y adaptarse a nuevas situaciones. Saben arreglárselas, pueden llevar adelante los planes y correr los riesgos que sean necesarios. Aprenden con la experiencia.

2.3.3 Sistema 4MAT como modelo de aplicación de la teoría de aprendizaje experiencial

Los investigadores en temas educativos han demostrado que la introducción del concepto estilos de aprendizaje en diferentes ámbitos educativos, permite mejorar el desempeño de los estudiantes aumentando su comprensión y sentido crítico (Ramirez Diaz, 2010).

El sistema 4MAT ha ganado reputación a lo largo de los años mediante diferentes reportes de investigación donde muestra su efectividad en el ámbito universitario, escolar y diferentes escenarios educativos (Ramirez Diaz, 2010) (Harb, Durrant, & Terry, 1991) (Artamónova, Mosquera, Ramirez, & Mosquera, 2014) (McCarthy, 1990)(Rosado Guzmán, Sánchez Guzmán, & Garcia Salcedo, 2016)(Bauer, Magnan, & Laszewski, 2016). Este es un sistema que ayuda a planificar y diseñar las clases (o unidades didácticas) de modo que se incluyan estrategias didácticas para cada uno de los estilos de aprendizaje (McCarthy, 1990). (ilustración 6).

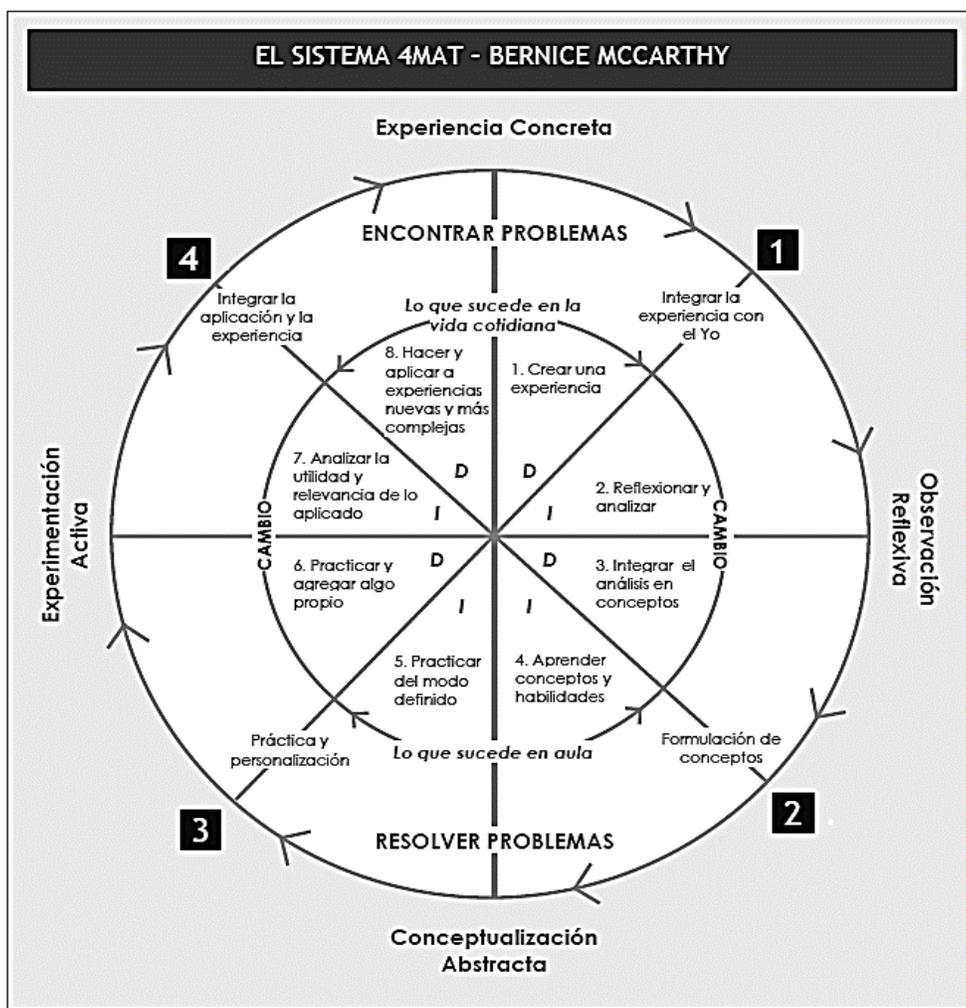


Ilustración 6. Sistema 4MAT (Gómez Pawelek, 2003)

Este sistema está basado en las diferentes etapas del ciclo de aprendizaje experiencial de Kolb y plantea 2 premisas fundamentales (McCarthy & McCarthy, 2005):

- Las personas tienen una preferencia por un estilo de aprendizaje y un procesamiento hemisférico (modo-derecho y modo-izquierdo)
- Diseñando y usando múltiples estrategias en un marco sistemático para enseñar a cada una de las preferencias se puede mejorar la enseñanza- aprendizaje.

4MAT consiste en un ciclo de instrucción de 8 pasos (Ilustración 6), los cuales capitalizan individualmente las preferencias de aprendizaje y la predominancia en el procesamiento cerebral.

Estos son los pasos que conforman el ciclo (McCarthy, 1990):

1. Conectar (Crear una experiencia).

El primer paso del Sistema 4MAT está diseñado para involucrar al alumno en una experiencia concreta que conduzca a una búsqueda del conocimiento y experiencia previa. Esta búsqueda está diseñada para crear un diálogo grupal interactivo que conecte lo que el alumno ya conoce y cree, con lo que el profesor pretende enseñar. En este diálogo no hay respuestas correctas. Los estudiantes experimentan y comparan las percepciones de su estado actual de conocimiento y trabajan cooperativamente para crear un conjunto de aprendizajes generales desde el cual van a proceder. En este paso, el profesor fomenta la diversificación de las ideas, el diálogo y la participación.

2. Poner Atención (Reflexionar y analizar)

El segundo paso del sistema 4MAT de McCarthy, el cuadrante uno - hemisferio izquierdo (Ilustración 6), está diseñado para adicionar en el estudiante el proceso de juicio a las percepciones y al diálogo generados en el primer paso. En este módulo de enseñanza, el profesor promueve la reflexión del estudiante sobre el nivel existente de su conocimiento y experiencia para determinar si sus propias opiniones y creencias son soportables. El énfasis del instructor aquí no es calificar o cerrar el pensamiento del estudiante. Los pasos uno y dos se desarrollan en el primer cuadrante (ilustración 6), donde el objetivo debe ser la motivación y conexión con el tema, las creencias y las opiniones comienzan a evolucionar como los organizadores de las estructuras para el pensamiento futuro y la construcción de la teoría.

3. Imagen (Integrar el análisis en conceptos):

El tercer paso del sistema 4MAT, está diseñado para crear un contexto en el que el alumno represente la naturaleza subjetiva de su conocimiento existente como una preparación para la validación y análisis de ideas. En este paso se anima a los alumnos a representar gráficamente su estado actual de comprensión del tema. La creación de imágenes, central para este paso, es una actividad del hemisferio cerebral derecho. El énfasis aquí es la expansión de las representaciones del significado, este paso requiere que el alumno empiece a pasar de la experiencia reflexiva al pensamiento reflexivo. El papel del maestro aquí es

llamar la atención sobre aspectos de estructura y objetividad implícitos en las representaciones de lo que saben los estudiantes.

4. Informar (Aprender los conceptos y habilidades):

El cuarto paso del sistema 4MAT conecta a los estudiantes con el pensamiento objetivo. El énfasis aquí es el análisis de conceptos comprobables, hechos, generalizaciones y teorías. El papel del profesor es presentar la información y experiencia de manera completa y sistemática. Una buena clase se desarrolla sobre las conexiones personales establecidas en el cuadrante uno para fomentar el pensamiento conceptual. Este es un modo de enseñanza del hemisferio izquierdo.

5. Práctica (Practicar del modo definido):

En el paso cinco del sistema 4MAT, el énfasis pasa de la adquisición y asimilación a la prueba y adaptación. Los estudiantes ahora toman la iniciativa para aplicar lo que se ha enseñado. La meta es el refuerzo y la evidencia diagnóstica de la capacidad del estudiante para aplicar los conceptos enseñados. El papel del maestro aquí es entrenar y ayudar a los estudiantes a refinar su capacidad de encontrar aplicaciones de sus ideas. Debido a que el énfasis de este conjunto de enseñanza / aprendizaje es el modo cerebral izquierdo, son de suma importancia las respuestas correctas y el producto de los estudiantes, ya que demuestran su capacidad para aplicar los conceptos.

6. Extender (Practicar y agregar algo propio).

El sexto paso del sistema 4MAT ejemplifica la idea de John Dewey de que el estudiante es un científico. En esta configuración de aprendizaje el estudiante prueba los límites y contradicciones de su comprensión. El papel del profesor es alentar a los estudiantes a llevar la aplicación de las ideas aprendidas a niveles más sofisticados y personales. Se alienta a los estudiantes a desarrollar sus propias aplicaciones que demuestren que entienden y pueden aplicar lo aprendido. El trabajo basado en un proyecto es la esencia de esta fase del Modelo 4MAT. El énfasis de modo cerebral derecho en esta configuración de aprendizaje está diseñado para alentar a los estudiantes a crear aplicaciones personales en sus experiencias con las ideas aprendidas.

7. Refinar (analizar la utilidad y relevancia de lo aplicado):

El paso siete del sistema 4MAT requiere que el alumno examine críticamente el lugar del nuevo conocimiento y experiencia adquirida en su visión del mundo existente. La cuestión central aquí es qué nuevas preguntas tengo y qué se debe hacer para integrar este aprendizaje en un subconjunto conceptual significativo. Trabajando solo o preferiblemente en parejas, los aprendices de esta configuración de aprendizaje corrigen y perfeccionan su trabajo. También enfrentan y resuelven las contradicciones implícitas en la tensión entre el esquema nuevo y el anterior. El papel del profesor aquí es guiar el refinamiento del viejo esquema y animar la formación de una perspectiva más completa.

8. Ejecutar (hacer y aplicar experiencias nuevas y más complejas):

La esencia del paso ocho en el sistema 4MAT es la integración, la celebración y el cierre. En esto, el último de los pasos de aprendizaje de McCarthy, el alumno regresa al lugar donde comenzó, el yo, e integra la experiencia de aprendizaje en una visión de mundo ligeramente diferente y personalmente sostenida. Este es el paso donde se dan las presentaciones, donde se hacen exposiciones y se envían los informes de investigación. El papel del profesor es unirse a la celebración y facilitar la entrada en la siguiente unidad de estudio.

Adicional al ciclo de 8 pasos, el sistema 4MAT brinda una herramienta que permite identificar el estilo de aprendizaje de los alumnos que hacen parte de cada módulo temático o clase. Esta consiste en un test de 15 preguntas que determinan la preferencia de aprendizaje de cada individuo (anexo 1). A los estilos definidos por Kolb, McCarthy los denomina: Tipo 1 o Aprendiz Imaginativo (al Divergente), Tipo 2 o Aprendiz Analítico (al Asimilador), Tipo 3 o Aprendiz con Sentido Común (al Convergente) y Tipo 4 o Aprendiz Dinámico (al Acomodador).

Resumiendo, las FA brindan escenarios donde el usuario pueda tener una experiencia real desarrollada en un contexto académico que le permita desarrollar competencias profesionales y el AE (Aprendizaje Experiencial) es una de las teorías para adquirir conocimiento a través de la experiencia; se trata de un método de enseñanza específico que puede lograr un resultado beneficioso en la capacidad de aprendizaje de los estudiantes. Para esta investigación la herramienta que permite integrar la FA con AE es el sistema 4MAT.

2.4 Resultados del aprendizaje

En los últimos años, el término "resultados del aprendizaje" ha surgido como un concepto básico en la política educativa mundial (Mølsted & Karseth, 2016) (Morell & Trucco, 2012). Aunque existen varias definiciones, los resultados del aprendizaje pueden describirse como lo que los alumnos o estudiantes pueden hacer realmente con lo que saben y han aprendido (Prøitz, 2010). Esta definición implica que los resultados son acciones y desempeños que contienen y reflejan la competencia del alumno en el uso exitoso de contenido, información, ideas y herramientas (Melton, 1996). Por lo tanto, definimos los resultados del aprendizaje como las competencias y habilidades que los alumnos tendrán después de un período de aprendizaje. Por otro lado, las estrategias para evaluar estas competencias se enfocan en valorar el proceso y/o el resultado y para cada uno de ellos existen diferentes instrumentos, (McKenna & Bull, 1999) (Schunk et al., 2012) que si bien serán utilizados en nuestra investigación no son el objeto de estudio.

2.5 La motivación y la conexión con aprendizaje.

La motivación puede afectar a todas las fases de aprendizaje y el rendimiento (Schunk et al., 2012), la motivación se refiere al proceso de instigar y sostener el comportamiento dirigido a metas (Schunk et al., 2012). Según Schunk et al. (2012) los estudiantes demuestran conducta motivada porque previamente fueron reforzados por ella y porque hay refuerzos efectivos.

Las teorías del comportamiento no distinguen la motivación del aprendizaje, sino que usan los mismos principios para explicar todo comportamiento. En contraste, las teorías cognitivas consideran la motivación y el aprendizaje como relacionados, pero no idénticos (Schunk et al., 2012) (Schunk, 1991). Uno puede estar motivado, pero no aprender; Uno puede aprender sin estar motivado. Las teorías cognitivas enfatizan que la motivación puede ayudar a dirigir la atención e influir en cómo se procesa la información. Aunque el refuerzo puede motivar a los estudiantes, sus efectos sobre el comportamiento no son automáticos, sino que dependen de cómo los estudiantes lo interpreten (Schunk et al., 2012). La investigación ha identificado muchos procesos cognitivos que motivan a los estudiantes; Por ejemplo, metas, comparaciones sociales, autoeficacia, valores e intereses. En esa línea los maestros deben considerar los efectos motivacionales de las prácticas de instrucción y los factores del aula para asegurar que los estudiantes permanezcan motivados para aprender (Schunk et al., 2012).

3. Propuesta

3.1 Metodología de la investigación

En orden de cumplir con los objetivos de la investigación esta se divide en dos etapas principales, (ilustración 7):

3.1.1 Primera Etapa: Enfoque de los Tres Pilares

La primera parte incluye un análisis de la literatura sobre las FA y AE, de donde se fundamenta conceptualmente la propuesta del enfoque de los tres pilares para construir una FA. Los pasos que comprenden esta primera etapa son los siguientes:

1. Identificación de la literatura relevante
2. Análisis textual cuantitativo
3. Análisis textual cualitativo
4. Propuesta de enfoque

1. Identificar la literatura relevante: la búsqueda de la literatura se lleva a cabo usando las bases de datos de publicaciones científicas (SCOPUS, ISI Web of Science y ScienceDirect). Luego se determinó un criterio de selección para incluir o excluir las publicaciones que se harían parte de la investigación.

2. El análisis textual cuantitativo se realiza siguiendo algunas recomendaciones realizadas por Roberts (2000). En el primer paso, se generó una lista de palabras (unigramas, bigramas y trigramas) identificados en la literatura seleccionada. Posteriormente se realizó una cuantificación del número de ocurrencias que estas palabras tenían en los títulos, resúmenes y palabras claves de los artículos seleccionados.

3. El análisis textual cualitativo se realiza con el objetivo de buscar el significado de contexto de la lista de palabras con mayor número de ocurrencias en los artículos seleccionados (Marshall & Rossman, 2014). Este consistió en identificar su significado mediante la revisión de las frases que incluían estas palabras. Luego de identificar su significado estas se agruparon en clústeres temáticos, los cuales consolidan el conjunto de palabras por categorías.

4. Propuesta: mediante el conjunto de características resultantes del proceso anterior se pretende estructurar un enfoque para implementar la FA Universidad Eafit, de modo que, mediante este se orienten el conjunto de acciones para dotar la FA con los atributos más relevantes considerados en esta investigación.

En resumen, mediante el desarrollo de estos cuatro pasos (selección de la literatura, análisis textual cuantitativo y cualitativo y propuesta de enfoque) se estructuró el enfoque que dio como resultado la implementación de la FA Universidad Eafit. La segunda etapa consiste en el desarrollo de un caso de estudio, el cual será ampliado en la siguiente sección.

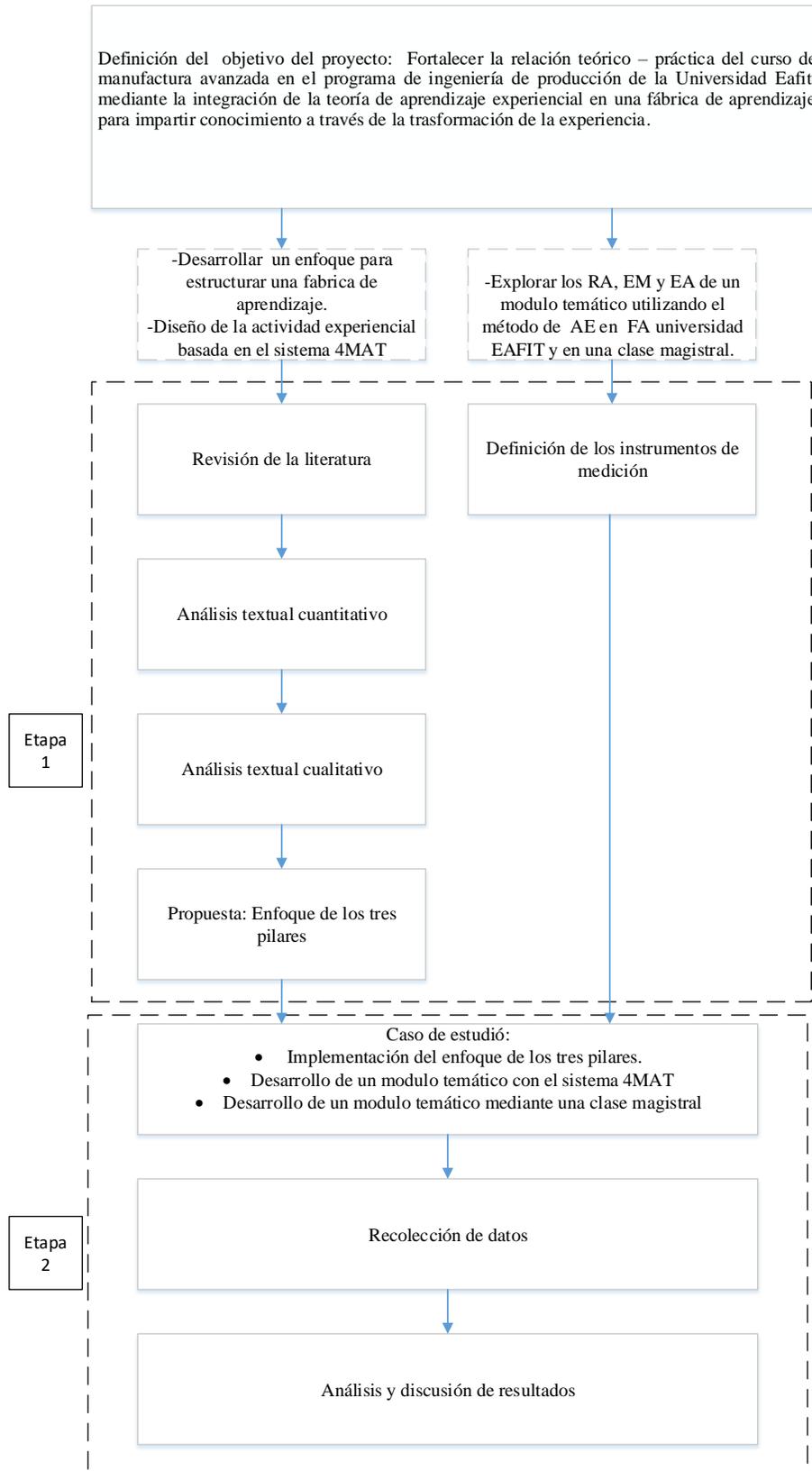


Ilustración 7. Diseño de la investigación. Elaboración propia

3.1.2 Segunda Etapa: Caso de estudio

Para alcanzar el objetivo de esta investigación es oportuno el diseño de un caso de estudio donde se puedan aplicar el enfoque de los tres pilares y la integración de la teoría experiencial mediante la aplicación del sistema 4MAT en la FA Universidad Eafit.

El caso de estudio es particularmente apropiado para investigaciones exploratorias y descriptivas (Yin, 2013). El objeto del caso de estudio es la prueba del enfoque propuesto y el desarrollo de una actividad con el sistema 4MAT para realizar la exploración los resultados de aprendizaje, estado de motivación y el estilo de aprendizaje de los participantes de la FA. Como describe Yin (2003), el diseño de la investigación del caso de estudio puede usarse para describir una intervención y su contexto. Algunos autores se refieren a esto como un "experimento de campo". En la prueba de este estudio, la intervención es la aplicación del enfoque propuesto y la integración del sistema 4MAT, y el contexto son los grupos de asignatura Manufactura Avanzada del programa de Ingeniería de Producción de la Universidad Eafit, este caso de estudio se ha dividido en dos etapas principales:

- (1) Prueba del enfoque propuesto e integración del sistema 4MAT: el enfoque ha sido probado en la FA de la universidad Eafit y se ha implementado un módulo temático diseñado bajo el sistema 4MAT.
- (2) Reunir los datos mediante un estudio exploratorio estructurado. Evaluación cualitativa de la FA, evaluación cualitativa y cuantitativa de los resultados de aprendizaje, test para evaluar la motivación y test para determinar los estilos de aprendizaje.

3.1.2.1 Recolección de datos:

Esta investigación hace parte del trabajo que lleva a cabo en el grupo de investigación Tecnologías para Producción de la escuela de ingeniería. Una de sus líneas de trabajo es el área de manufactura, para este trabajo en particular, se intervinieron dos grupos de la asignatura Manufactura Avanzada (8 y 11 estudiantes respectivamente) que forman parte del pensum ingeniería de Producción. El desarrollo de la actividad experiencial y clase magistral, se realizaron durante una sección de tres horas.

3.1.2.2 Instrumentos

Lista de chequeo FA

El enfoque cualitativo se selecciona cuando el propósito es examinar la forma en que los individuos perciben y experimentan los fenómenos que los rodean profundizando en sus puntos de vista, interpretaciones y significados (Sampieri, Collado, Lucio, & Pérez, 2014). El enfoque cualitativo es recomendable cuando el tema del estudio ha sido poco explorado o no se ha hecho investigación al respecto en ningún grupo social específico. Hays (2004) señaló que la observación es un aspecto importante de la investigación de estudios de casos,

especialmente en entornos escolares donde la interacción no podría entenderse de otro modo. La literatura señala que la observación es parte integral del estudio de caso (LeCompte, 2000). En este sentido Hays (2004) señala que los datos de observación pueden ser recolectados de manera formal e informal.

Este estudio utiliza una guía formal denominada lista de chequeo cualitativa, donde el observador, en este caso, tres profesores del área de manufactura, determinan según su percepción si la FA Universidad Eafit cumple con las especificaciones que fueron planteadas en los 3 pilares. Esta agrupa todos los aspectos y acciones que se tuvieron en cuenta en los pilares propuestos, para evaluar cada punto definido en la construcción de los pilares y así retroalimentar el proceso de implementación de la FA universidad Eafit.

La lista chequeo se divide en tres secciones (tabla2) correspondiente a los tres pilares. Para cada ítem se realiza una pregunta donde el observador debe determinar según su percepción si se cumple o no, y si es pertinente realizar una observación. Este proceso se realiza al final de la actividad experiencial donde el observador tiene un rol pasivo (no interviene) durante el desarrollo de la misma.

Tabla 2. Lista de chequeo cualitativa para la evaluación de la FA

Lista de chequeo: enfoque de los tres pilares						
Pilar	Aspecto	Aspecto chequeable	FA universidad EAFIT	Cumple	No cumple	Observación
Pilar didáctico	Grupo objetivo	¿En la FA U. Eafit se incluyó el grupo objetivo determinado en el pilar didáctico?				
	objetivo educacional	¿Se identifica el objetivo educacional de la FA universidad Eafit?				
	Estrategia enseñanza-aprendizaje	¿la FA U Eafit implemento la estrategia de enseñanza aprendizaje especificada en el pilar didáctico?				
Pilar de integración	Área de la cadena de valor	¿la FA Universidad Eafit vinculo las actividades de la CV definidas en el pilar de integración?				
	Integración de contenidos	¿La FA U. Eafit incluyo las asignaturas definidas en el pilar de integración?				
pilar de ingeniería	Tecnologías	¿La FA U Eafit incluyo la infraestructura tecnológica, de equipos y procesos definidos en pilar de ingeniería?				

	Objetivos de ingeniería	¿Se identifica el objetivo de ingeniería en la FA Universidad Eafit?				
	estrategias	¿La infraestructura de la FA Universidad Eafit permite vincular las estrategias definidas en el pilar de ingeniería?				

Resultados de aprendizaje: Prueba Escrita y Evaluación cualitativa

Schunk et al. (2012) indica que el aprendizaje es inferencial; No lo observamos directamente sino a través de sus productos y resultados. Los investigadores y profesionales que trabajan con los estudiantes pueden creer que los estudiantes han aprendido, pero la única manera de saber es evaluar los productos y resultados del aprendizaje. La evaluación involucra "un intento formal de determinar el estatus de los estudiantes con respecto a las variables educativas de interés" (Stiggins & Popham, 2008). Dos puntos son importantes de mencionar con respecto a la evaluación de los resultados de aprendizaje. En primer lugar la cuantificación, a menudo conduce a que las pruebas escritas sean los medios de evaluación, este último incluye muchos procedimientos de medición además de estas (Schunk et al., 2012). En segundo lugar, las habilidades de los estudiantes en algunas áreas a menudo son el resultado del aprendizaje evaluado, pero los investigadores y profesionales también pueden estar interesados en otras formas de aprendizaje (Schunk et al., 2012). Por ejemplo, pueden querer saber si los estudiantes han aprendido nuevas actitudes o estrategias de autorregulación o si los intereses, valores, autoeficacia y motivación de los estudiantes han cambiado como resultado del aprendizaje del contenido. Las maneras de evaluar los productos o resultados del aprendizaje incluyen observaciones directas, respuestas escritas, respuestas orales, evaluaciones por otros y auto informes.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, pero sin entrar en la discusión sobre cual es manera correcta de cuantificar los resultados de aprendizaje, se realizó una prueba teórica escrita y una evaluación cualitativa por medio de la observación de los participantes del caso de estudio. En la prueba escrita, su relativa facilidad de uso y capacidad para cubrir una amplia variedad de material hacen de las respuestas escritas los indicadores deseables de aprendizaje (Schunk et al., 2012). Asumimos que las respuestas escritas reflejan el aprendizaje, pero muchos factores pueden afectar el desempeño del comportamiento incluso cuando los estudiantes han aprendido. Las respuestas escritas nos obligan a creer que los estudiantes están haciendo todo lo posible y que no hay factores extraños (por ejemplo, fatiga, enfermedad, engaño) operando de tal manera que su trabajo escrito no representa lo que han aprendido.

Esta prueba escrita fue diseñada por tres profesores expertos en el tema. Esta se realiza al principio y al final de cada sesión con el objetivo de evaluar el progreso en la comprensión teórica de los temas que se desean desarrollar. Este test consiste en 7 preguntas (anexo2) que

deben ser respondidas de forma física. La escala de calificación de cada pregunta es de 1 a 5 dependiendo de la respuesta a la pregunta. Se califica 1 si la pregunta no fue respuesta o fue incorrecta. 2 puntos para una respuesta “predominantemente incorrecta”, 3 puntos para una “parcialmente correcta”, 4 puntos para una “predominantemente correcta” y 5 puntos para una “correcta”. La suma total de puntos sería de 35 para un test completamente bueno.

Por otro lado, en la evaluación cualitativa los instrumentos no son estandarizados, sino que se trabaja con múltiples fuentes de datos, que pueden ser entrevistas, observaciones directas, documentos, material audiovisual, etc (Sampieri et al., 2014) . Además, se pueden recolectar datos de diferentes tipos: lenguaje escrito, verbal y no verbal, conductas observables e imágenes (Sampieri et al., 2014). El reto mayor consiste en introducirse al ambiente y mimetizarse con éste, pero también en captar lo que las unidades o casos expresan y adquirir una comprensión profunda del fenómeno estudiado (Sampieri et al., 2014).

En este trabajo la evaluación cualitativa consistió en la observación del desempeño de los estudiantes durante el desarrollo de un ejercicio práctico en ambos escenarios (experiencial y magistral). Esta fue realizada por tres profesores del área de manufactura los cuales fueron orientados por un formato que contenía los aspectos que se deseaban evaluar durante el desarrollo de ambas clases (anexo3).

Medición del estado de motivación: Test MSLQ

En el apartado de la revisión de la literatura se resalta la vinculación de la motivación como un factor importante en los procesos de aprendizaje. Expertos argumentan que existen situaciones de clase, tareas particulares y/o metodologías de enseñanza que pueden afectar el estado de motivación del estudiante positiva o negativamente (Pintrich & De Groot, 1990). El instrumento de medición para recolectar los datos concernientes al estado de motivación fue el test *Motivated Strategies Learning Questionnaire (MSLQ)* que fue desarrollado por Pintrich, Smith, Garcia, & McKeachie (1993), con el objetivo de evaluar las estrategias de enseñanza-aprendizaje en instituciones educativas. Durante más de diez años el MSLQ fue sometido a distintos estudios de análisis y validación que fueron depurando e incrementando su validez y fiabilidad, así como posibilitando su adaptación y validación en diferentes poblaciones y culturas (Tinoco, Heras, Castellar, & Zapata, 2011) (Ahmed Al Khatib, 2010).

El MSLQ parte del modelo teórico del aprendizaje autorregulado de Paul Pintrich, basado en la teoría social-cognitiva de la motivación y autorregulación del aprendizaje, que asume que estos procesos no son exclusivos de las características del estudiante, sino que también dependen de numerosos factores implicados en el entorno de aprendizaje. Los datos presentados en el manual MSLQ (Pintrich & others, 1991) se basaron en el seguimiento de una muestra de 380 estudiantes universitarios. Este consta de 81 ítems distribuidos en dos secciones: motivación y estrategias de aprendizaje, con quince subescalas en total. La sección correspondiente a la evaluación de las dimensiones motivacionales del aprendizaje está compuesta por treinta y un ítems, mientras que la sección correspondiente a estrategias de aprendizaje la conforman cincuenta ítems. Los estudiantes deben responder señalando el grado de acuerdo con las afirmaciones destacadas en los mismos a través de una escala tipo

Likert de siete puntos (1 = “totalmente en desacuerdo”; 7 = “totalmente de acuerdo”). Tal como destaca Pintrich & others (1991), el MSLQ puede aplicarse completo o cada subescala particular según las necesidades específicas del estudio y del aplicador. Para nuestra investigación se aplica únicamente la sección de motivación la cual se divide en las siguientes subescalas (Pintrich & others, 1991):

Orientación intrínseca: se refiere al grado en que el estudiante se percibe a sí mismo participando en una tarea por razones tales como el desafío, la curiosidad y la maestría en el desarrollo de la tarea. La participación en la tarea es un fin por sí mismo.

Orientación extrínseca: se refiere al grado en que el estudiante se percibe a sí mismo participando en una tarea por razones tales como la obtención de buenas calificaciones, de recompensas, o la evaluación por otros.

Valor de la tarea: se refiere a la evaluación que el estudiante realiza sobre el interés, la importancia y la utilidad de las tareas académicas.

Creencias de aprendizaje: evalúa las creencias de que los resultados dependen del propio esfuerzo frente a que dependen de factores externos. Si el estudiante siente que puede controlar su rendimiento académico, es más probable que active las estrategias para lograr los resultados deseados.

Autoeficacia: evalúa la expectativa de éxito y la autoeficacia del estudiante. La primera se refiere a las expectativas de desempeño, y se relaciona específicamente con el rendimiento de la tarea. La autoeficacia se refiere a la autoevaluación del dominio de una tarea y a la confianza en las propias habilidades para realizarla.

Ansiedad ante exámenes: se refiere tanto a los pensamientos negativos como a los aspectos afectivos y emocionales implicados en el desarrollo de las pruebas de evaluación que distorsionan el nivel de desempeño de los estudiantes.

El test MSLQ en su dimensión de motivación consiste en 31 preguntas que los estudiantes deben responder señalando el grado de acuerdo con las afirmaciones destacadas en los mismos a través de una escala tipo Likert de siete puntos (1 = “totalmente en desacuerdo”; 7 = “totalmente de acuerdo”). Este test se realiza al final de la clase utilizando la aplicación de encuestas de google (Anexo 4).

Estilos de aprendizaje: Test LTM

En la revisión de la literatura se expuso la conexión que existe entre el estilo de aprendizaje, definido como la preferencia que tiene el individuo por una fase del ciclo de aprendizaje y el desempeño de los estudiantes en el proceso educativo. El sistema 4MAT, el cual es la herramienta que este trabajo de investigación aplica para implementar el ciclo de aprendizaje experiencial tiene su propio instrumento para determinar el estilo de aprendizaje (McCarthy & McCarthy, 2005). Esta herramienta es nombrada *Learning Type Measure instrument (LTM)*, refleja específicamente las preferencias individuales para atender, actuar y crear

representaciones de conocimiento y experiencia (McCarthy & McCarthy, 2005). En otros términos, determina la preferencia de un alumno por una de las fases del ciclo experiencial. Este instrumento es un cuestionario que consta de 15 preguntas (anexo1), cada una de las cuales tiene 4 opciones. A cada opción se le debe asignar un valor de 4 a la que mejor lo describa y 1 a la que menos, 3 y 2 a las restantes sin repetir el valor los mismos. Cada respuesta se identifica con uno de los estilos de aprendizaje, por ejemplo, en la pregunta soy excelente para ... propone las siguientes respuestas: 1. tomar decisiones realistas, asociada al estilo de aprendizaje tres, 2. Llegar a conclusiones precisas, estilo dos, 3. descubrir relaciones ocultas, estilo cuatro y 4. respetar los sentimientos de las personas perteneciente al estilo uno. Es importante señalar que este cuestionario ya se ha utilizado en investigaciones similares (Ramírez Díaz, 2010). Luego de completar todo el cuestionario se realiza la sumatoria para cada estilo (tabla3), con el cual se determina la preferencia por uno de ellos. Cada individuo de tiene un estilo que predominante, pero en realidad es una combinación única del puntaje del estilo para cada encuestado.

Tabla 3. Resultados Test de estilos de aprendizaje

Total estilo 1	Total estilo 2	Total estilo 3	Total estilo 4
25	44	50	18

En la tabla se observa la sumatoria de las puntuaciones para cada estilo en las respuestas de un estudiante; el estilo predominante es el tipo 3, pero la combinación global de estilos es 3-2-1-4. Este cuestionario se llevó a cabo una semana antes desarrollar las actividades correspondientes al caso de estudio mediante la aplicación de encuestas de google (Anexo1).

3.2 Desarrollo Primera Etapa

En esta sección se presentará el proceso mediante el cual se propone el enfoque de los tres pilares para la implementación de la FA Universidad Eafit. En este se desarrollan los primeros cuatro pasos propuestos en la metodología: selección de la literatura, análisis textual cuantitativo, análisis textual cualitativo. Luego de tener un panorama claro de los aspectos más relevantes que debe incluir una FA, se desarrolla el último paso: Estructurar el enfoque, el cual permitirá guiar tres aspectos fundamentales en la implementación de la FA Universidad Eafit: pilar didáctico, pilar de integración y pilar de ingeniería.

3.2.1 Selección de la literatura relevante

Para identificar la literatura acerca de las FA, se realizó una búsqueda bibliográfica utilizando tres bases de datos: SCOPUS, ISI Web of Science y ScienceDirect. Adicionalmente, se buscó en los índices de publicaciones relacionadas con ingeniería y educación en ingeniería, incluidos *Journal of Engineering Education*, *Advances in Engineering Education*, *Journal of Science Education and Technology*, *European Journal of Engineering Education*, *International Journal of Engineering Education and Procedia CIRP*. Las palabras clave

utilizadas para esta búsqueda fueron compuestas por los términos "fábricas de aprendizaje" y "fábrica de aprendizaje", obteniendo un resultado de 123 artículos que contenían estas palabras en sus títulos, resúmenes y palabras clave hasta abril del año 2016. Este grupo de publicaciones fue filtrado, excluyendo las que en sus contenidos no se refirieran a las fábricas de aprendizaje como una propuesta didáctica en contextos industriales y académicos. Este proceso seleccionó un total de 117 publicaciones (anexo5) que hacían referencia al concepto fábrica de aprendizaje.

El resumen de este de este proceso se consolida en la tabla 4, donde se observa que la mayoría de las publicaciones que hacen referencia a este concepto son artículos de conferencia y el área de estudio en la cual se clasifican es ingeniería y afines, aunque también áreas como administración de negocios y ciencias de la computación referencian sobre el tema. Se resalta que el país de origen con más publicaciones es Alemania y que el año con más artículos es el 2015, indicándonos la vigencia que tiene este concepto hoy en día.

Tabla 4 Resumen y clasificación de la literatura seleccionada.

Resumen y clasificación de los artículos encontrados							
Área de estudio		Tipo de documento		País de origen		Cantidad de publicaciones por año desde 1995	
Ingeniería y afines	108	Artículo de conferencia	80	Alemania	52	2015	30
Administración de negocios	17	Artículo	37	Estados Unidos	41	2014	11
Ciencias de la computación	15	Conferencia de revisión	3	Puerto Rico	9	2013	8
Ciencias Sociales	14	Reporte	2	Indefinido	8	2012	8
Ciencias de la decisión	9	Artículo de prensa	1	Austria	6	1996	8
otros	10	Nota	1	Otros	8	otros	51

3.2.2 Análisis textual cuantitativo

El análisis textual cuantitativo se realiza siguiendo algunas recomendaciones realizadas por Roberts (2000). En el primer paso, se generaron dos listas de palabras (unigramas, bigramas y trigramas) identificados en la literatura seleccionada. La primera lista la denominamos afines educación, la cual contenía las palabras que tenían relación con un contexto de formación, didáctica, pedagogía, enseñanza, entre otras (tabla 5). La segunda contiene los términos identificados en áreas relacionadas con la ingeniería, como manufactura, producción, gestión (tabla5).

Posteriormente se realizó la cuantificación del número de ocurrencias de las anteriores palabras contenidas en los títulos, resúmenes y palabras claves de los artículos seleccionados. Se resalta que las palabras más con mayor número de ocurrencias en cada una de las listas fueron “ingeniería en educación” y “manufactura” respectivamente.

Tabla 5 palabras con mayor número de ocurrencias dentro de la literatura seleccionada

Clasificación			
Afines educación		Ingeniería	
Palabra(s)	Frecuencia	Palabra(s)	Frecuencia
Educación en ingeniería	62	Manufactura	75
Desarrollo de proyectos	46	Producción	65
Universidad	41	Diseño	59
Investigación	38	Industria	48
Desarrollo de conocimiento	37	Productos	47
Entrenamiento	33	Gestión	43
Desarrollo de experiencia	33	Lean	23
Enseñanza	30	Ensamble	17
Aprendizaje basado en la practica	29	Operaciones	14
Laboratorio	28	Logística	11
Espacios reales	26	Automatización	9
Currículo de ingeniería	25	Simulación	9
Desarrollo de competencias	19	Software	8
basado en problemas	19	Ambiente digital	7
Resultado de los estudiantes	14	Ciber físico	5
Estudiantes sin grado	10	Trabajo de taller	5
Estudiantes graduados	10	Sistemas cambiables	4
Didáctica	8	Industria 4.0	4
Aprendizaje activo	7	virtualización	3
Aprendizaje experiencial	6	Internet de las cosas	3

3.2.3 Análisis textual cualitativo

El análisis textual cualitativo se realiza con el objetivo de buscar el significado de contexto de la lista de palabras con mayor número de ocurrencias en los artículos seleccionados (Marshall & Rossman, 2014) (tabla6). Este consistió en identificar su significado mediante la revisión de las frases que incluían estas palabras. Por ejemplo, la palabra simulación en un artículo era designada como un proceso en el cual computacionalmente se recreaban escenarios productivos para evaluar el comportamiento de una variable. En otro contexto esta se plantea como la recreación de situaciones de aprendizaje puntuales como método de didáctico en una FA. Según su significado estas se agruparon en clústeres temáticos. Como resultado de este proceso se determinaron siete clústeres temáticos donde se agrupan las palabras con más ocurrencias según su significado.

Tabla 6. Análisis textual cualitativo y su clasificación por clústeres temáticos

Cluster1	Grupo Objetivo	Universidades
		Graduados
		Estudiantes
		Educación en ingeniería
		Trabajadores
Clúster 2	Objetivo Educacional	Desarrollo de proyectos
		Investigación
		Desarrollo de conocimiento
		Desarrollo de experiencia
Cluster3	Estrategia de Enseñanza- Aprendizaje	Basado en la practica
		Orientado a la acción
		Aprendizaje activo
		Aprendizaje experiencial
Clúster 4	Áreas de la Cadena de Valor	Manufactura
		Producción
		Diseño
		Gerencia / Gestión
		Logística
Cluster5	Tecnologías	TIC
		Software
		Manufactura aditiva
		RFID
		Sistemas Ciber Físicos
		IoT (internet de las cosas)
Clúster 6	Objetivos de Ingeniería	Eficiencia
		Desarrollo de Tecnologías
		Sostenibilidad

Clúster 7	Estrategias	Sistemas de Manufactura Cambiables
		Gestión de la producción
		Manufactura Lean
		Manufactura Adaptable
		Industria 4.0

En estos 7 clústeres se agrupan las características más relevantes de las FA para la literatura seleccionada en esta investigación. Este conjunto de características serán la base para estructurar el enfoque que permita construir la FA Universidad Eafit.

3.2.4 Propuesta de Enfoque: Tres pilares

Mediante la estructuración del enfoque de los tres pilares se orientan y determinan las acciones para conformar la FA Universidad Eafit. Este enfoque está basado en las características determinadas mediante la conformación de los 7 clústeres resultantes del análisis textual cualitativo. Cabe aclarar, que cada pilar se comporta como hilo conductor de las acciones para la implementación y que los tres están interconectados, por tal efecto las determinaciones y acciones en la estructuración de la FA están ligadas entre ellas.

El enfoque para estructurar la FA Universidad Eafit consiste en la formación de tres pilares (Ilustración 8):

- Pilar Didáctico
- Pilar de Integración
- Pilar de Ingeniería

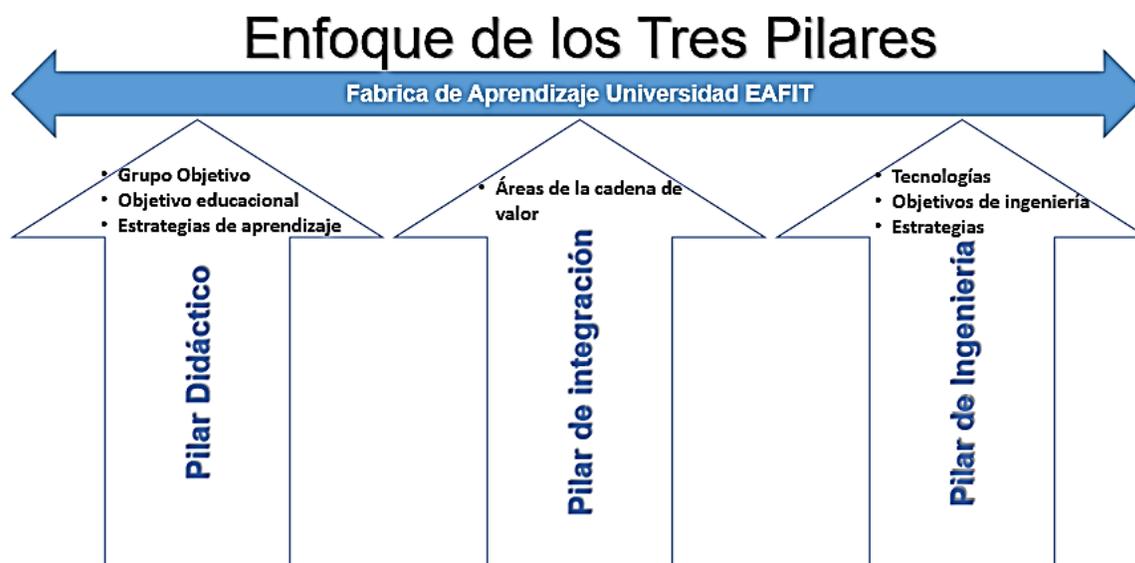


Ilustración 8. Enfoque de los Tres Pilares. Elaboracion Propia

Pilar didáctico

Conformado por los clústeres grupo objetivo, objetivo educacional y estrategias de aprendizaje. Este pilar agrupa todas las características didácticas que se deben definir en la FA. En las diferentes FA se encontraron que los grupos objetivo eran diferentes, en su mayoría se enfocaban en los estudiantes universitarios, pero otras iniciativas pretendían la formación de empleados, técnicos y personal administrativo de las empresas. Por otra parte, el objetivo educacional se movía entre formación de competencias y la investigación en su mayoría. En otros escenarios a menor escala, se presenta el objetivo educacional como un espacio demostrativo, de transferencia y testeo tecnológico. El último componente que hace parte del pilar didáctico de la FA es la estrategia de enseñanza- aprendizaje que se utiliza para alcanzar los objetivos de aprendizaje como la formación de competencias. En este sentido las diferentes iniciativas han aplicado metodologías basadas en el aprendizaje activo, fundamentados en la práctica y en la experiencia. A continuación, se presenta el formato que se utilizó para consolidar las acciones para formar el pilar didáctico.

Tabla 7. Formato de especiaciones para el pilar didáctico

Pilar	Aspecto	Acción	FA Universidad EAFIT
Pilar didáctico	Grupo objetivo	Definir grupo objetivo	
	Objetivo educacional	Definir objetivo educacional	
	Estrategia enseñanza-aprendizaje	Seleccionar estrategia enseñanza-aprendizaje	

Pilar de integración

El pilar de integración en esta propuesta de enfoque tiene dos ópticas, la primera tiene que ver con la integración de las secciones que hacen parte de la cadena de valor industrial en la FA. Por ejemplo, manufactura fue el término que más ocurrencias tuvo dentro del clúster de las áreas de cadena de valor, pero otras actividades que hacen parte de la misma, como diseño, logística, planeación y control de la producción también hacen parte de un sistema productivo. Si bien en la definición de FA que fue seleccionada en esta investigación, dice: “las FA son réplicas de las secciones de la cadena de valor...”, estas secciones a su vez dependen de otras para su funcionamiento. En este sentido la vinculación en la FA de actividades de apoyo a la línea de manufactura hacen parte fundamental del funcionamiento de la misma.

La otra óptica tiene que ver con la integración de los contenidos académicos alrededor de una FA. La línea de producción o de manufactura es uno de los escenarios naturales donde convergen los contenidos temáticos del currículo de ingeniería de producción. En este sentido, la FA se vuelve en la herramienta que articula tanto las prácticas individuales como prácticas integradoras en escenarios reales, que hasta ahora son un vacío dentro del pensum de las ingenierías. Se presenta el formato que agrupo el desarrollo de las acciones para construir el pilar de integración.

Tabla 8. Formato de especificaciones para el pilar de integración

Pilar	aspecto	Acción	FA universidad EAFIT
Pilar de integración	Área de la cadena de valor	Definir actividades de la cadena de valor a integrar.	
	Integración de contenidos	Seleccionar asignaturas a vincular en la FA	

Pilar de ingeniería

Este pilar cubre los clústeres tecnologías, objetivos de ingeniería y estrategias de ingeniería. Este es el conductor del contenido técnico y tecnológico de la FA. En diferentes iniciativas el enfoque de la infraestructura varía en características como el producto, grado de automatización, volumen de producción y el sector productivo al que se apunta, de modo que estos aspectos deben de ser determinados según el objetivo de la FA. Tendencias a nivel productivo como la manufactura aditiva, internet de las cosas y los sistemas ciber físicos hacen parte fundamental de algunas iniciativas. Sin embargo, en su mayoría los procesos productivos de las FA están orientados hacia un enfoque más estratégico que tecnológico, de tal manera que la vinculación de estrategias productivas como Manufactura Lean, manufactura flexible y cambiante han sido más comunes en cuanto a los contenidos de ingeniería. Con la conformación de este pilar se proyecta guiar e implementar una infraestructura que permita recrear los escenarios productivos para desarrollar los objetivos a nivel de ingeniería vinculados a la FA Universidad Eafit. Se presenta el formato que agrupa las acciones para construir el pilar de ingeniería.

Tabla 9 Formato de especificaciones para el pilar de Ingeniería

Pilar	Aspecto	Acción	FA universidad EAFIT
Pilar de Ingeniería	Tecnologías	Definir e implementar tecnologías , procesos e infraestructura que soporte los pilares didáctico e integración	
	Objetivos de ingeniería	Definir propósito técnico de la FA	
	Estrategias	Seleccionar estrategias a vincular	

3.2.5 Aplicación de los tres pilares

En esta fase se describirá el proceso de aplicación de los tres pilares en la FA universidad Eafit. Las acciones y decisiones que se tomaron fueron guiadas por el enfoque propuesto, donde cada una de ellas conduce a la creación de los pilares y por consiguiente que el resultado sea una iniciativa que este dotada de las características que definen una FA.

Pilar didáctico

Este pilar agrupo todo el componente didáctico de las FA. Por medio de su desarrollo se implementa la estructura que permita desplegar eficientemente el objetivo educacional más relevante de la FA que es el desarrollar competencias. La formación de este pilar lo direccionan 3 clústeres (Ilustración 9):

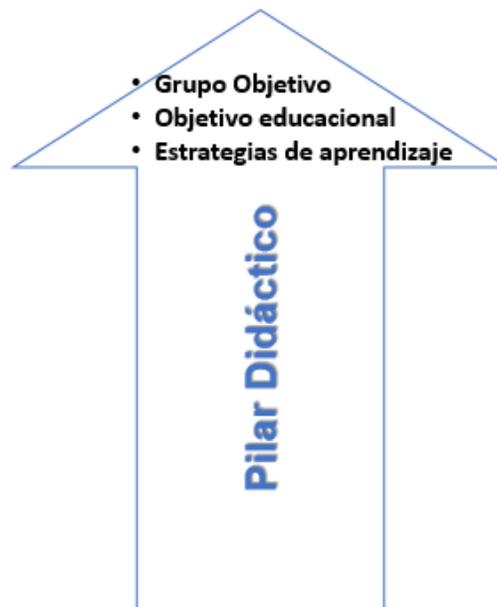


Ilustración 9. Pilar didáctico (cluster grupo objetivo, objetivo educacional y estrategia de aprendizaje) Elaboración propia

Grupo objetivo: El Departamento de Ingeniería de Producción quiere integrar el sector industria con el entorno académico para mejorar la calidad de los egresados del programa, con este argumento se determinó como grupo objetivo los alumnos de pregrado y posgrado del programa de Ingeniería de Producción.

Objetivo educacional: Se determina como formativo educacional y se define tomando como referente las siguientes situaciones puntuales:

- Se alinea con los objetivos del grupo de investigación Tecnologías para la Producción en su objetivo de querer implementar metodologías que permitan **fortalecer la relación teórico-práctica** en la formación del ingeniero.

- Necesidad de generar espacios que permitan el **desarrollo de competencias** mediante la experiencia en contextos reales.
- La **educación** en manufactura es una de las áreas estratégicas para afrontar los retos del sector productivo.

Estrategia enseñanza- aprendizaje: particularmente este ítem del pilar didáctico es el más importante para el desarrollo del objetivo educacional definido en el anterior punto, debido a que existe el antecedente que las FA han tenido un vacío en la creación de procesos que permitan el eficiente desarrollo de competencias. En este sentido el análisis textual cualitativo indicó que los enfoques más utilizados en las FA han sido el aprendizaje basado en problemas, aprendizaje basado en la acción, aprendizaje activo y aprendizaje experiencial. En la revisión de la literatura autores como E Abele et al. (2008) indican que el proceso de aprendizaje se ha potencializado en ambientes como las FA, donde los participantes tienen experiencias concretas durante el proceso de aprendizaje. Esto se ajusta desde la perspectiva de (De Zan et al., 2015) con los principios de aprendizaje experiencial, que promueven una reproducción de una realidad simulada que estimula la cognición de los estudiantes desafiándolos a lograr conceptos abstractos a través de una aplicación práctica directa y concreta. Por esa razón, esta investigación en el estado del arte realiza un apartado especial sobre la teoría de aprendizaje experiencial, con el objetivo de profundizar en los conceptos y las aplicaciones del mismo en escenarios educativos. El sistema 4MAT resalta como una implementación del ciclo de aprendizaje experiencial aplicada en la educación escolar y universitaria, donde autores expresan bondades como la vinculación de los estilos de aprendizaje y la practicidad para implementar el método mediante el seguimiento de 8 pasos (Ramirez Diaz, 2010) (McCarthy, 1990). En la implementación de la actividad experiencial se detalla la aplicación del sistema 4MAT como estrategia de enseñanza- aprendizaje.

En resumen, el componente que agrupa los aspectos didácticos de las FA es nombrado en esta investigación pilar didáctico. Este define características propias como el grupo al que va dirigido la FA, el objetivo educacional y el método utilizado para lograr este mismo. En el contexto de esta investigación, que está ligado a la necesidad del Departamento de Ingeniería de Producción de la Universidad Eafit y el grupo de investigación de Tecnologías para la Producción se establecieron los atributos para la FA Universidad Eafit consolidados en la tabla 10.

Tabla 10 Características del pilar didáctico Universidad EAFIT

Pilar	Aspecto	Acción	FA Universidad EAFIT
Pilar didáctico	Grupo objetivo	Determinar el grupo objetivo de FA	Estudiantes de la asignatura Manufactura Avanzada del programa de Ingeniería de Producción.
	Objetivo educacional	Determinar objetivo educacional	Desarrollo de competencias

	Estrategia enseñanza-aprendizaje	Determinar metodología de aprendizaje	Aprendizaje experiencial: Sistema 4MAT
--	----------------------------------	---------------------------------------	---

Pilar de integración

En la definición de este pilar se enuncian 2 objetivos diferentes(ilustracion10):

- Integración de algunas actividades que conforman la cadena de valor productiva.
- Integración de los contenidos temáticos en una FA.

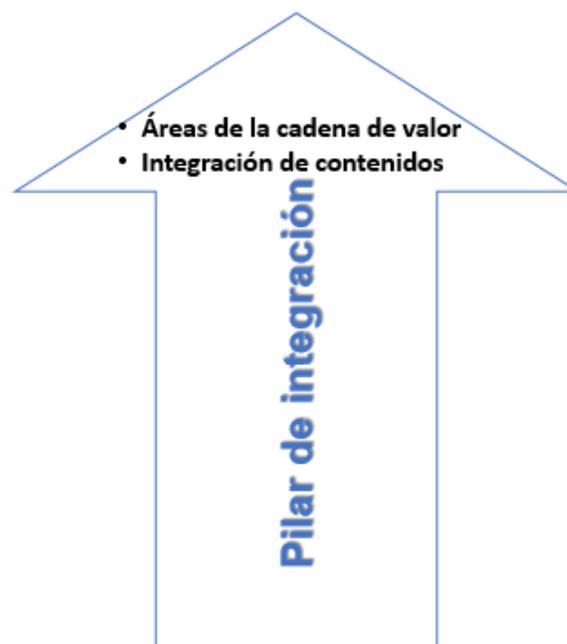


Ilustración 10 Pilar de integración. elaboración Propia

Se debe determinar qué actividades de la cadena de valor se deben integrar en la FA universidad EAFIT. La estructura de cadena de valor se presenta en la ilustración 11. Esta plantea que las operaciones son una actividad primaria, que agrupa la manufactura, ensamble, empaque, control de la producción, control de calidad y mantenimiento. Las operaciones en este modelo de cadena de valor son precedidas por la actividad de logística interna, que es fundamental para el funcionamiento del proceso manufactura. Basados en esta relación de dependencia, se deben integrar tanto en su infraestructura como en los contenidos académicos de la FA de modo que se logre el mayor realismo posible en estas secciones de la cadena de valor. En este apartado toma una especial relevancia el pilar de ingeniería ya que condiciona los procesos, tecnologías e infraestructura física de la FA para que se puedan integrar las actividades.



Ilustración 12. Cadena de valor de Porter (Porter, 2008)

Continuando en el modelo de cadena de valor de Porter (2008), las actividades de soporte se plantean como las acciones que apoyan las actividades primarias. La actividad que se refiere al desarrollo de productos y tecnologías tiene una estrecha relación con la ingeniería de producción y está compuesta por el diseño de procesos y productos, desarrollo de sistemas de información y en general todas las actividades de investigación y desarrollo; la integración de estas actividades en forma correcta permite construir escenarios reales productivos. En la ilustración 12 se agrupan las actividades de la cadena de valor vinculadas a la FA Universidad Eafit y que componen el primer objetivo.

Fabrica de Aprendizaje Universidad EAFIT						
Actividades Cadena de valor						
	Logística Interna	Operaciones	Desarrollo de productos y tecnología			
Asignaturas Vinculadas	Pregrado	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de producción 1 y 2 • Control de la producción 	<ul style="list-style-type: none"> • Pensamiento Sistémico • Logística industrial 	<ul style="list-style-type: none"> • Planeación de la producción • Modelos de decisión 	<ul style="list-style-type: none"> • Control Calidad • Simulación 	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos de manufactura 1 y 2 • Manufactura Avanzada
	Postgrado	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño para la manufactura • Gestión de inventarios 	<ul style="list-style-type: none"> • PLM • Diseño para X 	<ul style="list-style-type: none"> • Estrategia de operaciones y logística • Diseño para el ensamble 	<ul style="list-style-type: none"> • Planeación de ventas y operaciones • Gestión de inventarios 	

Ilustración 11. Actividades de la cadena de valor y Asignaturas vinculadas a la FA U.EAFIT

El segundo objetivo va relacionado con la integración de los contenidos temáticos alrededor de la FA universidad Eafit. La base de esta integración consiste en relacionar las actividades que se incluyeron en la cadena de valor (logística interna, operaciones, desarrollo de productos y tecnología) con las asignaturas del pensum de ingeniería de producción. Para este propósito se identificaron las áreas del programa de IP que pudieran desarrollar módulos temáticos en la FA. (Ilustración 12).

A continuación, se agrupan en el formato propuesto, las características definidas en este pilar.

Tabla 11. Resumen Pilar de integración

Pilar	Aspecto	Acción	FA universidad EAFIT
Pilar de integración	Área de la cadena de valor (CV)	Definir actividades de la CV a integrar.	Operaciones - Logística interna - desarrollo de procesos y tecnologías (ilustración 12)
	Integración de contenidos	Seleccionar asignaturas a vincular en la FA	Asignaturas de pregrado y posgrado de IP (ilustración 12)

Pilar de ingeniería.

El desarrollo de este pilar se alinea con los pilares didáctico e integración. En el pilar didáctico se definió como grupo objetivo los estudiantes de ingeniería de producción que cursan la asignatura Manufactura Avanzada, el objetivo de la FA es el desarrollo de competencias mediante un método experiencial. Por lo antes expuesto, la infraestructura resultante debe soportar y contribuir al desarrollo de este pilar.

Infraestructura técnica y tecnológica: La manufactura es la transformación de materia prima en un producto terminado, donde los procesos de ensamble son parte fundamental de esta. El desarrollo de la infraestructura de esta actividad en la FA Universidad Eafit tiene una estrecha conexión con los 2 pilares propuestos:

Conexión con el pilar didáctico: El aprendizaje experiencial se define como la adquisición de conocimiento mediante la exposición y reflexión de situaciones concretas, la infraestructura de la FA debe permitir recrear diferentes escenarios de la misma. Por tal motivo, la flexibilidad y modularidad se convierte en una de las características más representativas.

Conexión con el pilar de integración: El pilar de integración define las áreas de la cadena de valor que deben ser incluidas en la FA, en nuestro caso se deben articular tareas de almacenamiento, despacho, logística interna, sistema de ensamble y control de la calidad de los productos creados allí. Adicionalmente, este pilar vincula a la cadena de valor

herramientas informáticas necesarias para el seguimiento y la validación de la información arrojada en este ciclo productivo.

Tecnologías: La vinculación de tendencias del sector industrial como TICs, manufactura aditiva, internet de las cosas(IoT) sistemas de radio frecuencia (RFID), plataformas de gestión entre otras es común en las FA. Para ir alineado con estos retos informáticos se dota la FA con hardware y software de simulación de sistemas productivos, diseño y simulación de dispositivos, Gestión del Ciclo de Vida del Producto (PLM), entre otros.

Objetivos y estrategias de ingeniería: Estas dos categorías están muy relacionadas en la FA de la universidad EAFIT, en ella se forman los alumnos para aplicar diferentes estrategias de ingeniería como: Lean, diseño para X, simulación computacional de procesos y manufactura flexible, para que estén en capacidad de proponer e implementar sistemas de mejoramiento continuos en diferentes ciclos productivos.

Resumen

El desarrollo de la infraestructura física de la FA Universidad Eafit está orientado no solo por la construcción del pilar de ingeniería, el cual caracteriza los componentes de la infraestructura física y las estrategias que se utilizan en la FA. Adicionalmente, se articula con los pilares didácticos y de integración. En la tabla 12 se resume las características determinadas en este pilar.

Tabla 12. Resumen Pilar de ingeniería

Pilar	Aspecto	Acción	FA universidad EAFIT
Pilar de Ingeniería	Tecnologías	Definir e implementar tecnologías , procesos e infraestructura que soporte los pilares didáctico e integración	Línea de ensamble, sistema de manufactura flexible, infraestructura de logística interna, hardware y software computacional, Sistema de manufactura aditiva, plataforma de gestión del ciclo de vida, simulación computacional de sistemas productivos,
	Objetivos de ingeniería	Definir propósito de ingeniería de la FA	Formación de competencias para la aplicación de estrategias que permitan mejoramiento de procesos productivos.
	Estrategias	Seleccionar estrategias a vincular	Manufactura LEAN, Diseño para X, Gestión de ciclo de vida del producto

Resumen enfoque de los tres pilares

Se presenta la FA de la Universidad EAFIT como el resultado de la agrupación de los aspectos más relevantes de la literatura seleccionada, más la adición de los atributos generados por las particularidades de este proyecto y guiado por el proceso de caracterización según aspectos como: propósito de la FA, grupo objetivo, estrategia didáctica, vinculación de contenidos académicos, infraestructura física y herramientas para el desarrollo de los objetivos de ingeniería.

En la tabla 13 se resume el resultado del desarrollo de los tres pilares, que constituyen la ficha técnica de la FA, está contiene algunas de las características mínimas que se deben considerar para conformar una FA.

Tabla 13 . Resumen de los tres pilares de la FA Universidad EAFIT

Área disponible			116m ²
Pilar	Aspecto	Acción	FA universidad EAFIT
Pilar didáctico	Grupo objetivo	Definir grupo objetivo	Estudiantes del área de manufactura ingeniería de producción.
	Objetivo Educativo	Definir objetivo educacional	Desarrollo de competencias
	Estrategia enseñanza-aprendizaje	Seleccionar estrategia enseñanza-aprendizaje	Aprendizaje experiencial: Sistema 4matt
Pilar de integración	Área de la cadena de valor	Definir actividades de la CV a integrar.	Logística interna- Operaciones - Desarrollo de procesos y tecnologías
	Integración de Contenidos	Seleccionar asignaturas a vincular en la FA	Asignaturas de pregrado y posgrado de IP(imagen)
Pilar de Ingeniería	Tecnologías e Infraestructura	Definir e implementar tecnologías , procesos e infraestructura que soporte los pilares didáctico e integración	Línea de ensamble, sistema de manufactura flexible, infraestructura de intralogística, hardware y software computacional, Sistema de manufactura aditiva, plataforma de gestión del ciclo de vida, simulación computacional de sistemas productivos,
	Objetivos de Ingeniería	Definir propósito de Ingeniería de la FA	Formación de competencias para la aplicación de estrategias que permitan mejoramiento de procesos productivos.
	Estrategias	Seleccionar estrategias de ingeniería a vincular	Manufactura LEAN, Diseño para X, Gestión de ciclo de vida del producto

3.2.6 Resultado Fabrica de aprendizaje Universidad Eafit

Esta sección presenta los resultados obtenidos en la investigación orientados a cumplir con el objetivo de estructurar y construir una FA. Primero se describirá en detalle el proceso de diseño y las características de FA Universidad Eafit, luego se presentará el desarrollo de la actividad experiencial en este espacio y los datos recolectados mediante los instrumentos planteados por la investigación. Los resultados están orientados a responder las preguntas y cumplir objetivos planteados por esta investigación.

3.2.6.1 FA Universidad EAFIT: Diseño e Infraestructura

Mediante la estructuración de la FA Universidad Eafit aplicando el enfoque de los tres pilares se definieron las características que esta iniciativa debe contener en su infraestructura didáctica y física. Esta sección describirá el proceso de diseño e implementación de la infraestructura de la FA universidad Eafit orientado por el enfoque propuesto.

La construcción de la infraestructura física se dividió en 2 etapas:

- Etapa de diseño: en esta se realiza un esquema de los equipos que hacen parte de la sección de la cadena de valor productiva que se desea recrear, se plantean y diseñan las necesidades de infraestructura física como redes de aire, electricidad y datos. Es importante mencionar que estos diseños van orientados por la ficha técnica generada en la definición de los tres pilares.
- Etapa de implementación: se realiza la ejecución y los ajustes de los diseños generados en la etapa de diseño.

Etapa de diseño

La FA debe permitir la evaluación de diferentes escenarios productivas articulados por las recomendaciones impartidas por los componentes didácticos y de ingeniería de la iniciativa, siendo la flexibilidad y modularidad sus atributos más representativos.

En FA se han utilizado sistemas de ensamble idénticos a los industriales(Ulf Wagner, AlGeddawy, ElMaraghy, & M"Yller, 2012). Un caso representativo es el Toyota Lab de la Universidad de Rochester, USA (ilustración 13).Se contactó al encargado de este laboratorio



Ilustración 13. Toyota LAB (toyota lab, 2017)

para indagar sobre las ventajas y desventajas que han tenido con este tipo de sistemas, ya que en la revisión de la literatura no existe información alguna, el personal a cargo indico que la movilidad de este sistema era limitada, lo que hacía que recrear los escenarios fuera una operación tediosa teniendo en cuenta los tiempos de clase, pero en contraste, evaluó el sistema de ensamble como funcional para algunos escenarios de aprendizaje.

Partiendo del espacio (116 m²) y de un diseño preliminar de la planta compuesto por siete puestos de trabajo autónomos (aire comprimido, electricidad, iluminación y sistema de desplazamiento) pero vinculantes entre sí, se procedió con la búsqueda del proveedor más indicado de acuerdo con nuestras necesidades y expectativas.

El proveedor nacional brindó la posibilidad de realizar modificaciones sobre los equipos, de modo que el producto cumpliera las condiciones técnicas y didácticas. Adicionalmente por su cercanía y servicio posventa se eligió la oferta del proveedor nacional, el espacio asignado por la Universidad Eafit para la FA en el campus fue un área de 12,5 m x 9,3 (ilustración 14) sumando un área total de 116 m².

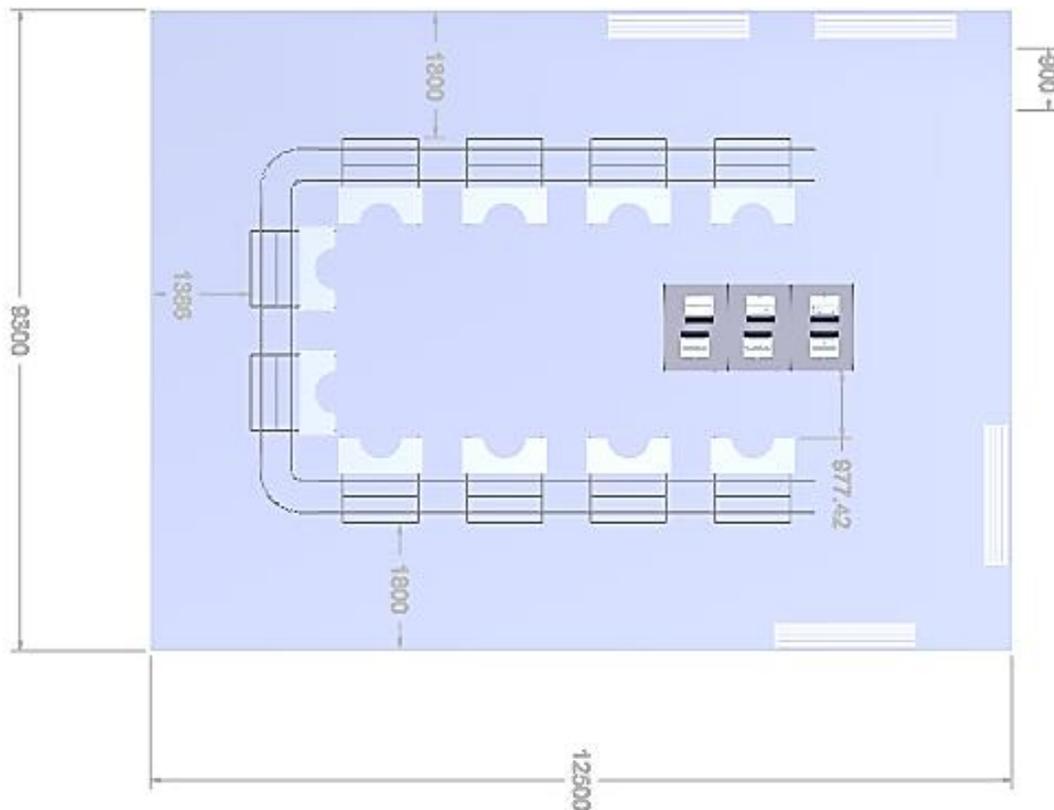


Ilustración 14. Espacio designado para la FA Univesidad EAFIT

Se localizaron dos proveedores para la construcción y puesta a punto de la FA. En la tabla 14 se resumen los dos presupuestos. En el anexo 6 se detallan ambas cotizaciones.

Tabla 14 Presupuesto FA universidad EAFIT

Proveedor	Descripción	Valor	Observaciones
USA	línea de ensamble manual de 8 módulos + accesorios	145.083.000	sin posibilidad de modificaciones
Nacional	línea de ensamble manual 8 módulos + accesorios	120.155.272	personalización del diseño según necesidades

Por último, se detallaron planos de las redes de servicio, equipos de cómputo, instalaciones eléctricas, redes de comunicación los cuales serán descritos en la siguiente sección.

Diseño de la infraestructura física

Basados en las características planteadas en la ficha técnica de la FA se desarrolla el diseño de toda la infraestructura de la FA Universidad Eafit. Esta se divide en tres sistemas: Sistema de ensamble, sistema de abastecimiento y sistemas de apoyo (ilustración 15).

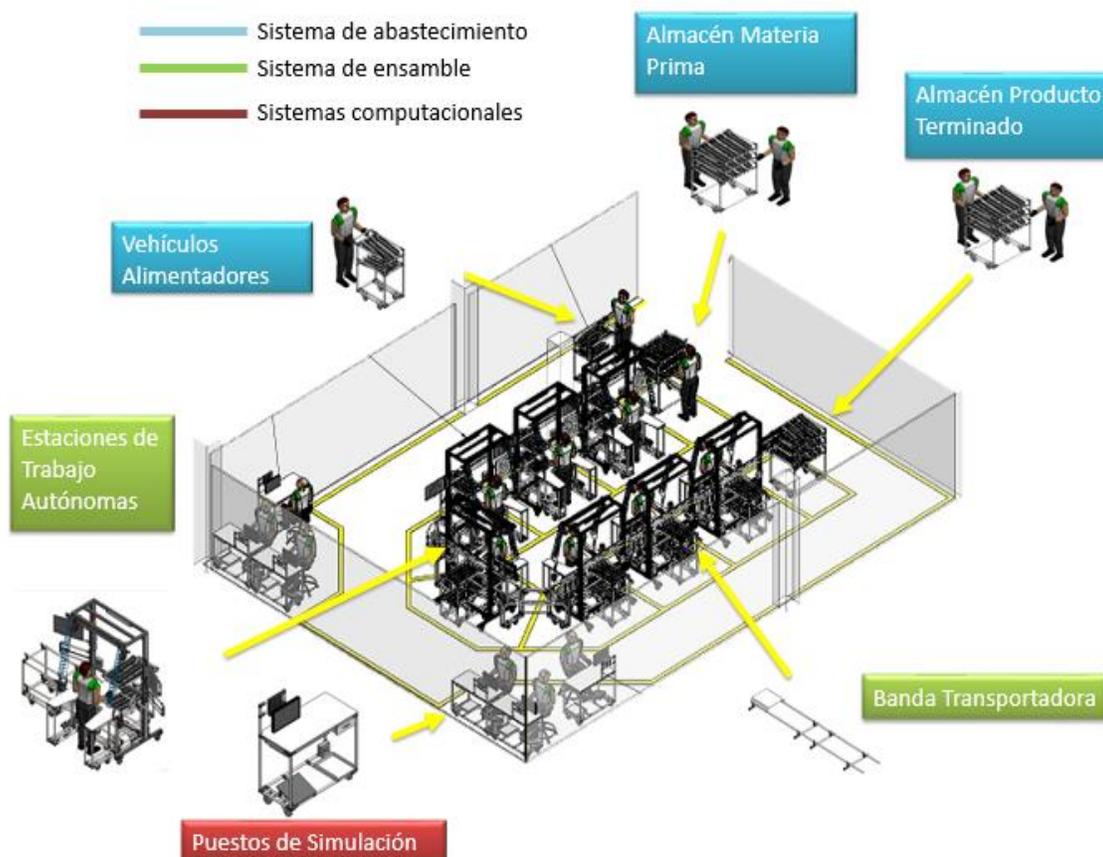


Ilustración 15. Infraestructura física FA Universidad EAFIT

Sistema de ensamble:

En la construcción de los pilares se definió que el área de la cadena de valor que se recrearía sería una línea de manufactura, específicamente el proceso de ensamble. Esta operación en diferentes FA varía en su grado de automatización, dependiendo del grupo objetivo y propósito de cada iniciativa. La FA universidad Eafit se orienta hacia un proceso ensamble manual, pero con la posibilidad de la integración de herramientas de ensamble semiautomáticas para generar diferentes escenarios productivos.

Para este propósito, se diseñó una estación de ensamble modular, a la cual se le pudieran adecuar diferentes sistemas neumáticos y/o electrónicos, de abastecimiento y de transporte según el caso. Cada estación de ensamble está compuesta por un módulo de servicios, módulo de transporte y una mesa auxiliar (Ilustración 16).

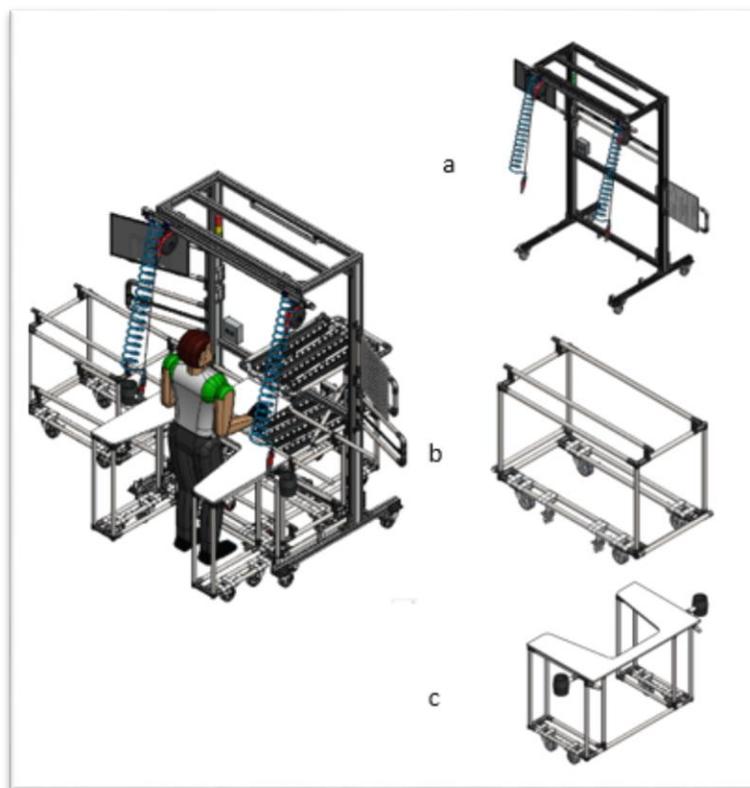


Ilustración 16. Modulo de ensamble a) modulo de servicios, b) modulo de transporte y c) mesa auxiliar.

El módulo de servicios (ilustración 16a) provee cuando sea determinado por el objetivo de la práctica, aire comprimido, electricidad, iluminación, sistema de cómputo y accesorios para la ubicación de herramientas. Esta división por módulos permite simular escenarios en los cuales se les puede ir adicionando ayudas tecnológicas y evaluar diferentes aspectos propios del objetivo de ingeniería. El módulo de transporte (ilustración 16b) y la mesa de apoyo (ilustración 16c) también permiten su inclusión o no en la línea de ensamble, de modo que cada módulo de ensamble se puede adaptar a la necesidad tanto didáctica como de ingeniería.

Otra característica que permite realizar esta infraestructura modular es la posibilidad de configurar la línea de diferentes maneras. En este sentido generar distribuciones en U, L, línea recta, dos líneas o los módulos individuales la dan una versatilidad desde el punto de vista didáctico y de ingeniería para recrear escenarios (ilustración 17).

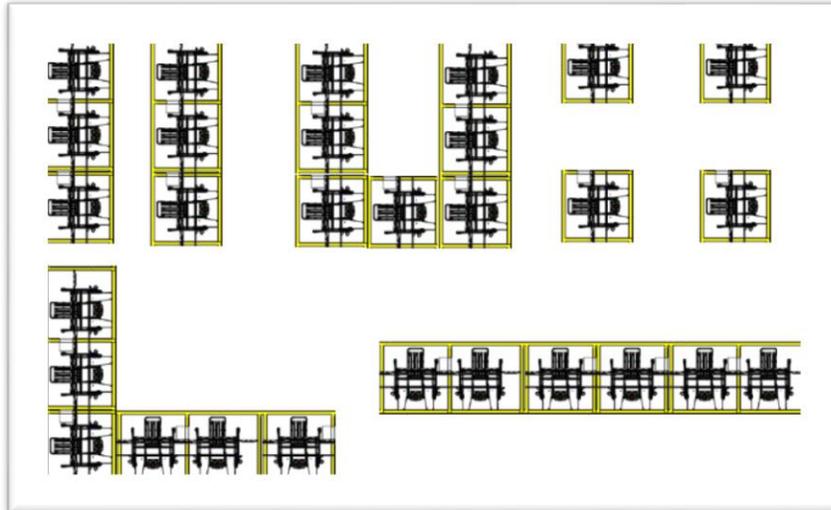


Ilustración 17. Diferentes configuraciones de la FA universidad EAFIT.
Elaboracion propia

Sistema de abastecimiento: La inclusión de la actividad primaria de logística interna requiere de una infraestructura que permita desarrollar las necesidades de abastecimiento y almacenamiento en la línea de ensamble. Para este propósito se incorporaron los siguientes módulos: almacén de materia prima, surtidor de materia prima, surtidor global y módulo de producto terminado. Igual que los módulos de ensamble estos son independientes y la inclusión de los mismos depende de la característica del escenario que se desea recrear. (Ilustración 18).



Ilustración 18. infraestructura de logística interna

Sistemas de apoyo: Por dos especificaciones determinadas en los pilares se incluye una zona de sistemas de apoyo en la FA. La primera tiene que ver con la vinculación de la actividad de desarrollo de procesos y tecnologías en la cadena de valor recreada, la cual requiere herramientas que permitan el despliegue de la misma; en este sentido los equipos de cómputo y software especializado son indispensables para implementar actividades en esta dirección. La segunda razón es la importancia que la infraestructura de hardware y software computacional representa para el desarrollo e integración de los contenidos temáticos que se quieren incluir en la FA. La gran mayoría de asignaturas que se vincularon a esta iniciativa requieren de este tipo de herramientas para su desarrollo. Este sistema está formado por 7 estaciones de trabajo equipados con los softwares (Gestión del ciclo de vida, Simulación, modelación, office) que requiere cada área vinculada, más un banco de manufactura aditiva, el cual fue determinado en las tecnologías que debía incluir la FA.

Resumen etapa de diseño: Con el objetivo de lograr las especificaciones de la FA universidad Eafit se guiaron los diseños de la infraestructura física como de los equipos que hacen parte del proyecto. Es relevante mencionar que se pretendía crear un escenario que emulara una línea de ensamble, pero que adicionalmente tuviera características que permitiera desarrollar didácticamente el proceso de aprendizaje en la FA. Para esto la modularización de los equipos fue una restricción para cada uno de los diseños

El diseño y distribución general del proyecto se muestra en la ilustración 19, donde si bien se planteó una red eléctrica, de aire y de datos específica para este proyecto no se incluye dentro del plano.

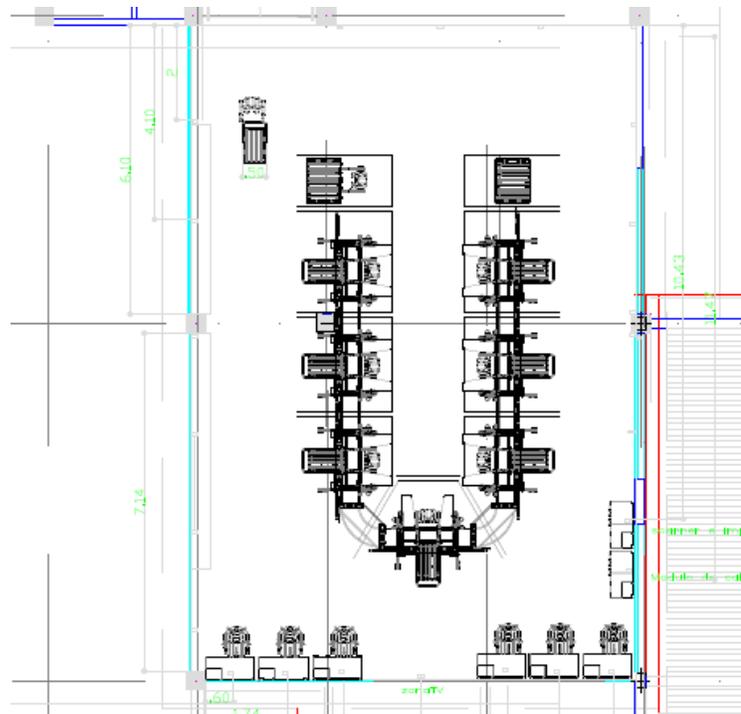


Ilustración 19. Planos arquitectónicos de la FA universidad EAFIT

3.2.6.2 Descripción de la FA Universidad EAFIT:

La FA universidad se diseñó como una línea de ensamble “genérica” que permitiera la vinculación de diferentes productos según las características de espacio y procesos desarrollados en la misma. Esta FA está ubicada en bloque catorce de la Universidad Eafit en la ciudad de Medellín. Está compuesta por siete estaciones de trabajo modulares, en la que se realizan diferentes operaciones de ensamble, control calidad, empaque según lo determine la actividad (ilustración 20).



Ilustración 20 Fabrica de aprendizaje Universidad EAFIT

La línea cuenta con un sistema de transporte, que consiste en un vehículo o bandeja transportadora sobre la cual se realizan las operaciones de ensamble. El uso de este sistema es opcional y depende de la distribución que se desee recrear (Ilustración 21).



Ilustración 21 Vehículo transportador de Productos

Cada módulo de ensamble está compuesto por una mesa de trabajo, sistema de servicios y sistema de almacenamiento. La mesa de trabajo es un accesorio que permite ampliar el área de ensamble a cada módulo según la necesidad. La FA no solo está planteada para desarrollar actividades sobre la línea como tal y en diferentes módulos temáticos se requiere el uso de superficies de trabajo diferentes, por ejemplo, disección de productos (Ilustración 22).

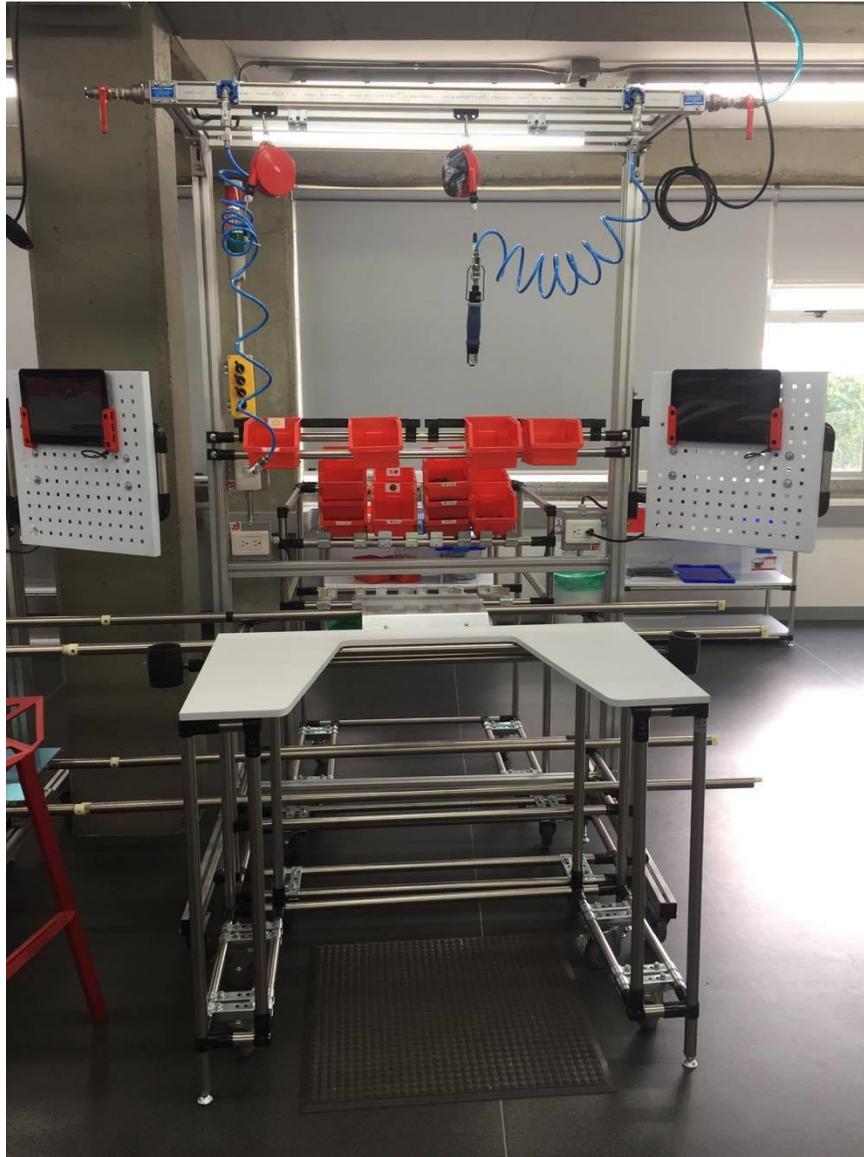


Ilustración 22. Módulo de ensamble

El módulo de servicios lo integra el sistema de aire comprimido, energía eléctrica, iluminación, sistema de cómputo y una serie de accesorios como baliza, equipo de cómputo, tablero de herramientas y soportes para cajas de almacenamiento. Cada sistema es independiente, y la utilización de los mismos se determina por el objetivo de la práctica (Ilustración 23).

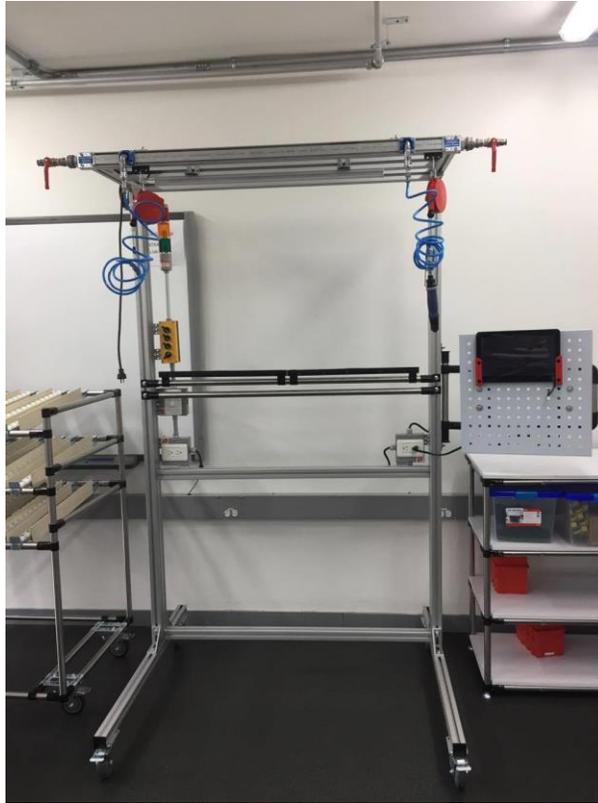


Ilustración 23. Módulo de servicio

El sistema de alimentador de cada módulo es un vehículo que permite almacenar los contenedores con los insumos del ensamble. En la parte inferior del mismo tiene una banda para evacuar los contenedores vacíos (ilustración 24).



Ilustración 24. Módulo de surtido

La línea cuenta con tres almacenes móviles adicionales; estos hacen la función de sección de materia prima, producto terminado y vehículo surtidor de la línea. (ilustración 25)



Ilustración 25. Equipos de almacenamiento

El sistema de energía eléctrica y aire comprimido de la FA permite la conexión de los módulos desde cualquier ubicación dentro de la misma. Para tal propósito se dotó el salón con una red de tomas perimetral y aérea para darle mayor flexibilidad al espacio (ilustración 26).



Ilustración 26. Redes de aire, iluminación, eléctrica y datos.

La zona de sistemas está compuesta por seis equipos de cómputo conectados por red a una plataforma de gestión del ciclo de vida del producto (PLM, Team Center). Adicionalmente, cada equipo cuenta con un software de simulación de plantas productivas (Plant Simulation), programa de modelación computacional (ZW3D), herramientas de manufactura CAM (Sprutcam) y herramientas estándar Office (ilustracion27).



Ilustración 27. Zona de sistemas de computo

Dos módulos adicionales que hacen parte de la FA son el puesto de control calidad y de manufactura aditiva. El primero está equipado con herramientas como calibrador, lupa e iluminación especializada para realizar evaluaciones de calidad a los productos fabricados en la línea. Adicionalmente este cuenta con un equipo de cómputo donde se puede gestionar la información extraída de los controles de calidad. El módulo de manufactura aditiva los conforma una impresora 3D de diferentes materiales poliméricos y las herramientas necesarias para este proceso (espátulas, destornilladores, cartuchos). (Ilustración 28)



Ilustración 28. Modulo de control calidad e impresion 3D.

La infraestructura permite la simulación de una sección de la cadena de valor, esta tiene un componente didáctico que es transversal a toda la FA. En esta dirección la dotación del salón con tableros móviles, sistema de audio y proyección se incluyen como herramientas que puedan contribuir al desarrollo de la infraestructura didáctica de la fábrica (ilustración 29).



Ilustración 29. Herramientas de apoyo didácticas

Resumen

En esta sección se expone el proceso de diseño de la FA orientado por las especificaciones definidas en los tres pilares. También se describieron cada una de las características de los elementos resultantes de la etapa de diseño. La infraestructura resultante es una línea de ensamble manual que puede distribuirse y utilizarse de diferentes maneras (distribución, inclusión de herramientas, módulos y recursos didácticos). Este espacio adicionalmente cuenta con herramientas de apoyo como una zona de sistemas computacionales y herramientas de soporte didáctico (tableros, audiovisuales).

4. Validación: aplicación del sistema 4MAT en FA Universidad EAFIT

4.1 Teoría utilizada dentro de actividades educacionales

Después de dar una visión general de la teoría de aprendizaje experiencial, el sistema de aplicación 4MAT y de las generalidades dentro de las FA, es necesario darle al lector una breve contextualización conceptual acerca del módulo temático seleccionado para el desarrollo de las actividades educacionales propuestas a lo largo del trabajo. En este espacio se pueden diseñar prácticas experienciales para una variedad de ejes temáticos que hacen parte del área de manufactura en la FA. Sin embargo, para efectos del caso de estudio seleccionamos un módulo que denominamos generación de secuencias de ensamble, el cual según Pintzos, Triantafyllou, Papakostas, Mourtzis, & Chryssolouris (2016), es el principio para desarrollar un plan de ensamble.

4.1.1 Generación de secuencias de ensamble: Diagrama And/Or

El ensamble de productos industrialmente producidos consume del 15 a 70% del tiempo total de fabricación (H. A. ElMaraghy & others, 2009). Por lo tanto, una estrategia de ensamble eficiente es absolutamente crítica. Controlar el volumen fluctuante de productos, así como un número mayor de variantes es especialmente difícil. La planeación del ensamble incluye la determinación de un método factible y la distribución para ensamblar un producto a partir de sus componentes (Pintzos et al., 2016). El plan de ensamble de un producto afecta la eficiencia tanto de los procesos de ensamble como de la línea de ensamble. Planificar y utilizar procesos de ensamble eficientes y eficaces puede contribuir activamente a la reducción del costo de fabricación de un producto (Chryssolouris, 2006). La planeación del ensamble comienza definiendo las relaciones entre las partes que componen el conjunto. Se han propuesto diferentes métodos de representación, que permiten distintas visiones sobre los componentes de un producto. Generalmente las relaciones de ensamble se representan mediante diagramas de precedencia y secuencias. Los diagramas de precedencia representan las relaciones directas entre tareas de ensamble que corresponden a diferentes componentes. De la misma manera, se desarrollaron los gráficos *And / Or* con el fin de modelar las relaciones de ensamble para generar secuencias válidas de ensamble (De Mello & Sanderson, 1990).

El diagrama *And / Or* se define como una representación gráfica de las relaciones directas entre las operaciones de ensamble y los componentes que conforman este (De Mello & Sanderson, 1990) (ilustración 30). Esta herramienta tiene 2 objetivos:

- Determinar las relaciones entre las operaciones y partes que comprenden el ensamble.
- Mostrar gráficamente todas las posibles secuencias de ensamble de un producto dado

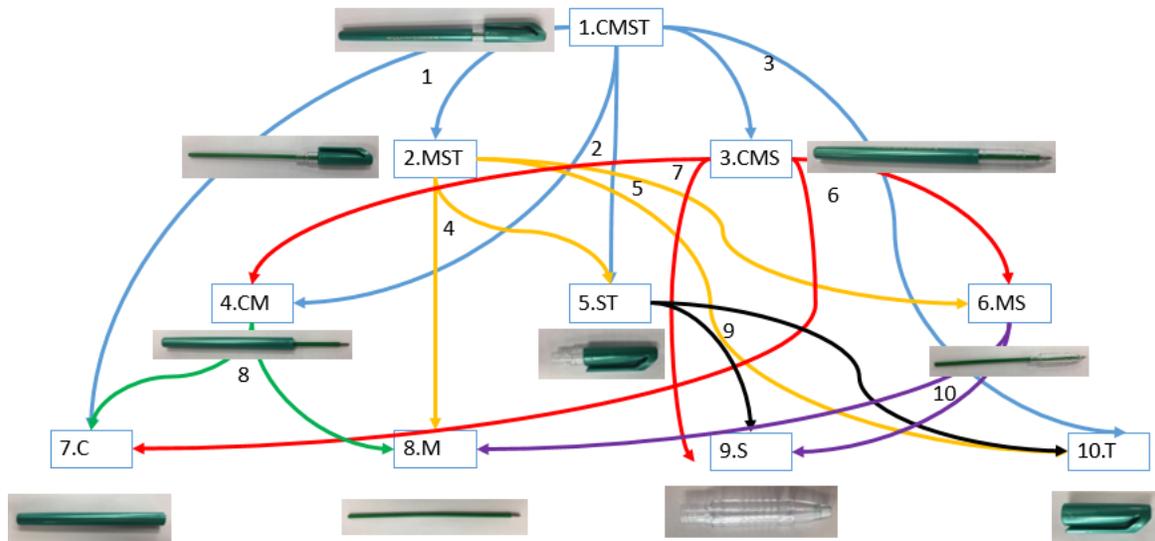


Ilustración 30. Diagrama *And/Or* de un lapicero. Elaboración Propia

Los autores señalan que este tipo de representación tiene la ventaja de generar más de una secuencia válida de ensamblaje en contraste con la generación directa de la misma, lo que supone la posibilidad de comparar y evaluar alternativas en términos de costos, tiempos y grado de dificultad de las diferentes variantes de secuencias que comprenden el ensamblaje del producto (De Mello & Sanderson, 1990). En contraste, otros autores señalan que esta tarea consume mucho tiempo y está basada en la percepción del ingeniero por lo cual se pueden excluir posibles relaciones (Pintzos et al., 2016).

Definiciones que hacen parte del diagrama *And/Or* (De Mello & Sanderson, 1990):

- Nodos (ensambles - subensambles -partes): Posibles estados de la secuencia de ensamblaje (Ilustración 31).
- Arcos: Posibles conexiones (operaciones) entre partes o subconjuntos (nodos) en el proceso de ensamblaje (Ilustración 31).

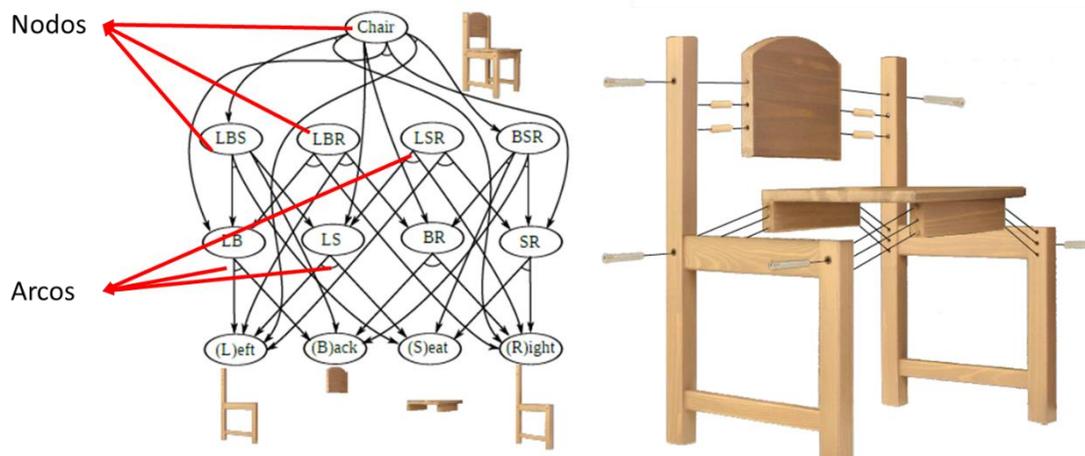


Ilustración 31. Diagrama *And/or* para Silla (Knepper et al., 2014)

- Operaciones: Conjunto de una o más tareas que trabajan juntas para transformar entradas en salidas. Estas tareas pueden ser realizadas por personas o máquinas que utilizan recursos como energía o material.
- Precedencia: Son restricciones físicas del orden en que se realizan las operaciones.
- Secuencia: Serie de elementos/operaciones que se suceden unos a otros y guardan relación entre sí (ilustración 32).

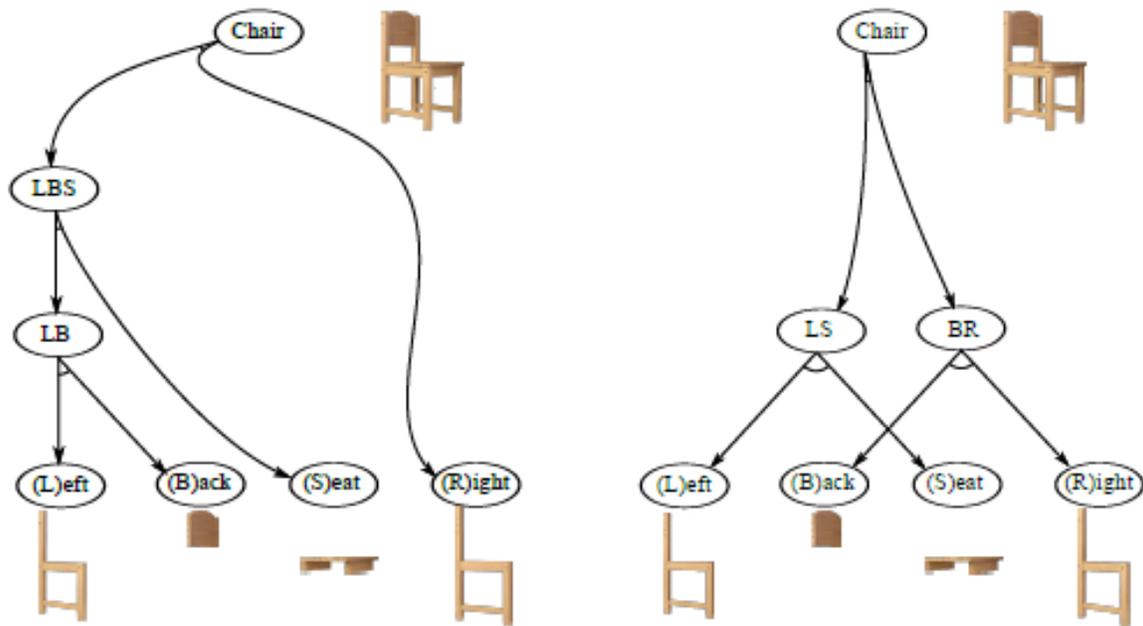


Ilustración 32 Secuencias de ensamblaje para una silla (Knepper, Ahuja, Lalonde, & Rus, 2014)

Si bien De Mello & Sanderson (1990) no dictan las fases o “paso a paso” para generar la gráfica And/Or, este trabajo presenta el proceso de desarrollo que utilizó durante la actividad educacional. Los siguientes son los pasos aplicados en el trabajo para generar el diagrama And/Or:

1. Determinar los componentes del ensamblaje: El primer paso consiste en establecer el número de componentes para un producto dado. Si no se dispone del número de piezas, se procede a desensamblar el producto hasta establecer las partes que conforman el mismo. (ilustración 33). Para mejor comprensión desarrollaremos un ejercicio propuesto dentro de la actividad educacional: Generación de secuencias de ensamblaje para el Lapicero Stabilo Excel.

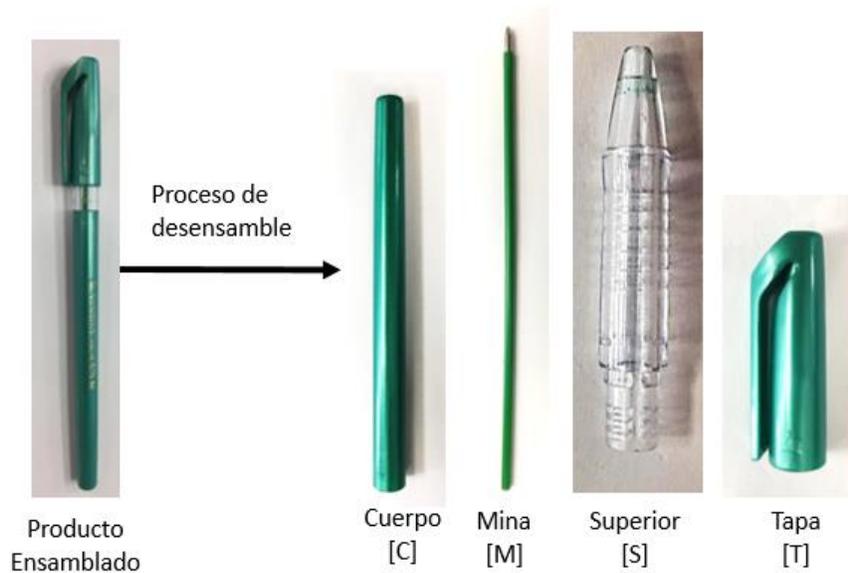


Ilustración 34 Partes del lapicero. elaboración propia

2.Determinar los nodos: El proceso para determinar los nodos de un producto, consiste en identificar las posibles variantes de subensamble que resultan al momento de desensamblar el mismo. Por ejemplo, en la ilustración 32 se observa el nodo 2.MST, el cual es el resultado de remover la pieza 7.C del nodo 1. CMST. De la misma manera el nodo 5.ST es el resultado de separar la parte 8.M del nodo 2.MST.

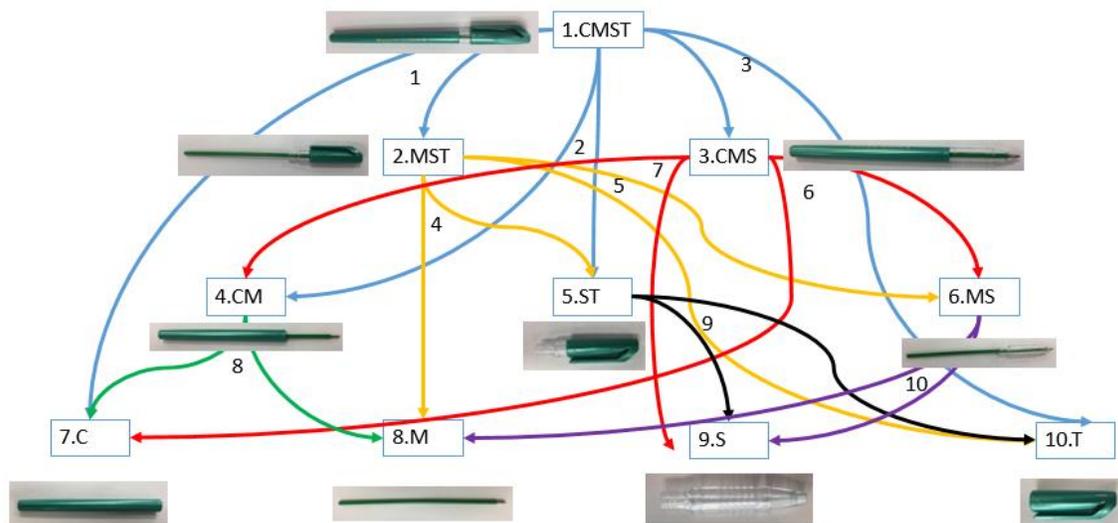


Ilustración 33. Diagrama And/Or para Lapicero Stabilo Excel. Elaboración propia

3.Asignar número a cada arco (operación): En la medida que se van generando los posibles nodos se deben identificar las operaciones resultantes que en este método se denominan

arcos. En la ilustración 34 se identifica el arco 1 como resultado de separar el nodo 7.C y 2.MST.

4. Generar las posibles secuencias a partir de la gráfica: cuando se construye el diagrama *And/Or* se plasman todas las posibles operaciones que se pueden realizar para generar los diferentes ensambles. En la ilustración 35 se ejemplifica una de las posibles secuencias generadas a partir del diagrama.

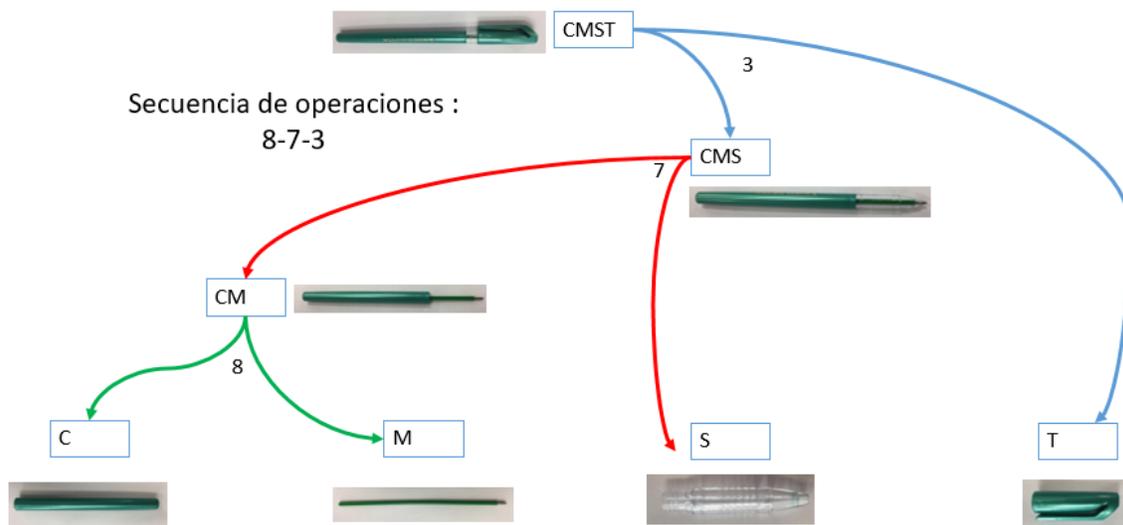


Ilustración 35. Secuencia de ensamble para Lapicero Stabilo Excel. Elaboración propia

La teoría que se desarrolló en este apartado, rige el contenido conceptual de la actividad educacional que se presentara en el caso de estudio, en el cual se definirán las competencias que se pretenden desarrollar para este tema y se expondrá el modelo experiencial para diseñar la actividad en la FA.

La siguiente sección se aplica la segunda etapa de la metodología aplicada durante esta investigación.

El proceso de estudio de caso se ha dividido en dos etapas:

- (1) Integración del sistema 4MAT: Se ha implementado un módulo temático diseñado bajo el sistema 4MAT.
- (2) Reunir los datos mediante un estudio exploratorio estructurado. Pruebas de conocimiento, test para evaluar la motivación y test para determinar los estilos de aprendizaje.

4.2 Descripción de la actividad experiencial en la FA universidad EAFIT y la clase tradicional.

Para cumplir con los objetivos de la investigación se plantea un caso de estudio donde se desarrolla una actividad experiencial con el sistema 4MAT y una posterior exploración de las variables resultados de aprendizaje, estado de motivación, estilo de aprendizaje y la lista de chequeo cualitativa planteada para evaluar el enfoque de los tres pilares. La FA en su planteamiento permite vincular diferentes áreas del pensum de ingeniería de producción, en esta investigación se centra en la asignatura Manufactura Avanzada del programa de Ingeniería de Producción, y específicamente en tema “generación de secuencias de ensamble” para el desarrollo del caso.

4.2.1 Actividad experiencial

La actividad experiencial se desarrolla en la FA Eafit en un bloque de clase de tres horas. En ella participaron 11 estudiantes que pertenecen al grupo de Manufactura Avanzada y se desarrolla el tema específico de generación de secuencias de ensamble. Para el desarrollo de del tema planteado la FA universidad Eafit utilizo la herramienta de planificación de clases experienciales 4MAT, donde se recorrieron cada una de las 8 etapas recomendadas por este método de enseñanza experiencial (ilustración 36). Adicionalmente, se vincula un folleto



Ilustración 36. Sistema 4MAT

guía (anexo7) donde se consignan las indicaciones para cada una de las etapas del ciclo de aprendizaje.

El ciclo de aprendizaje que se desarrolla en el caso de estudio se presenta a continuación (ilustración 37):



Ilustración 37 . Ciclo 4MAT para el modulo tematico

EL ciclo de aprendizaje inicia con la definición de las competencias que se pretenden desarrollar. Para el caso de estudio se definieron estas tres competencias objetivo:

- Capacidad de los alumnos para entender y aplicar un análisis de precedencias para un proceso y/o producto.
- Evaluar y analizar las relaciones entre las operaciones y las partes que comprenden un producto.
- Desarrollar secuencias factibles de ensamble para un proceso y/o producto.

La siguiente fase consiste en la vinculación de los 8 pasos del sistema 4MAT:

Paso 1, conectar: Esta actividad fue diseñada para involucrar al alumno en una experiencia concreta que conduzca a una búsqueda del conocimiento y experiencia previa (McCarthy & McCarthy, 2005). Esta consistió en presentar un video de una secuencia para realizar una receta de cocina, en donde el alumno debía identificar según los conocimientos previos la lista de materiales, precedencias entre operaciones, ensambles y una secuencia grafica de las actividades para elaborar una receta de cocina. (ilustración 38).



Ilustración 38. Actividad 1 conectar: secuencia para elaborar una receta de cocina

Paso 2, poner atención: El segundo paso está diseñado para adicionar el proceso de juicio a las percepciones y al diálogo generado en el primer paso (McCarthy & McCarthy, 2005).

Para este objetivo se propuso una discusión guiada por una serie de preguntas acerca de la experiencia que se generó mediante el video de la secuencia para realizar una receta de cocina (ilustración 39) (anexo 7, actividad 2).



Ilustración 39. Paso 2: poner atención, discusión guiada sobre la actividad 1.

Paso 3, imagen: En este paso se anima a los alumnos a simbolizar, en tantas modalidades como sea factible su estado actual de comprensión del tema. Según McCarthy & McCarthy, (2005) la vinculación de las imágenes en este paso es fundamental. Esta actividad consistió en presentar una serie de representaciones graficas que contienen una acción relacionada con una actividad secuencial donde el alumno a partir de estas debía determinar precedencias, operaciones y secuencias según el caso. (ilustración 40)



Ilustración 40. Paso 3: Imagen, representación de los conceptos de secuencia, operación y ensamble por medio de imágenes

Paso 4, informar: El cuarto paso del sistema 4MAT involucra a los estudiantes en el pensamiento objetivo. El énfasis aquí es el análisis de conceptos comprobables, hechos, generalizaciones y teorías (McCarthy & McCarthy, 2005). Para este propósito se desarrolló una clase magistral donde se exponen los conceptos y procedimientos para generar secuencias de ensamble a partir de un diagrama *And /Or*. Esta clase magistral hizo uso de recursos como tableros, proyección de diapositivas y videos (ilustración 41).

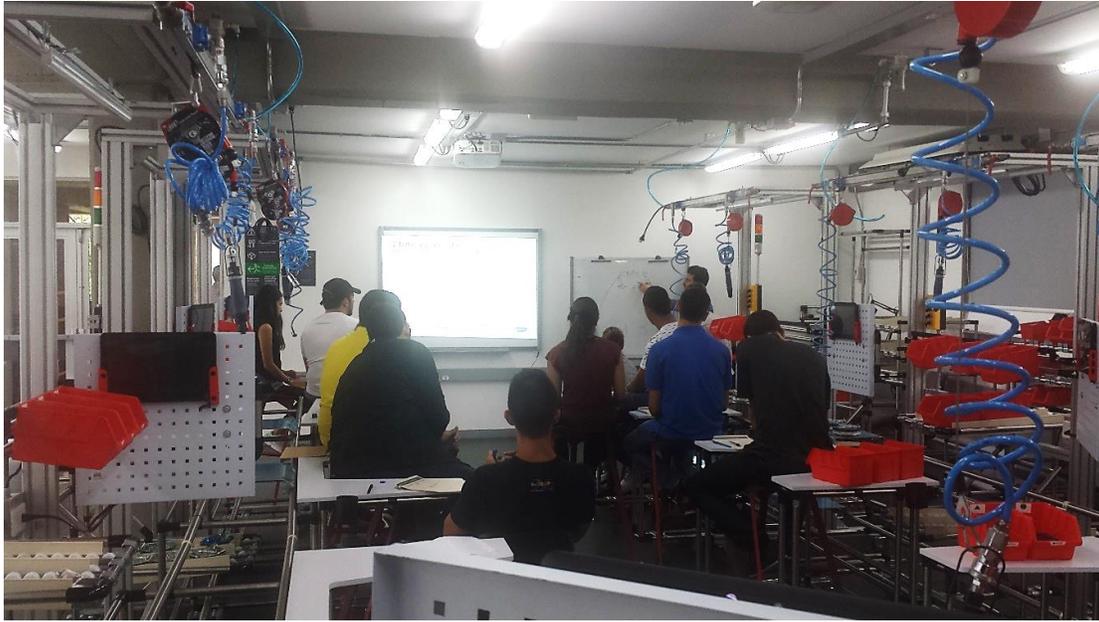


Ilustración 41. Paso 4 informar: Clase magistral.

Paso 5, practica modo definido: Este paso pretende que los estudiantes ahora tomen la iniciativa para aplicar lo que se ha enseñado guiados por un experto (McCarthy & McCarthy, 2005). Esta actividad consistió en generar múltiples secuencias de ensamble para un producto (lapicero), donde en el proceso se debía determinar: lista de partes, ensambles y



Ilustración 42. Paso 5 practica: Ejercicio lapicero

subensambles, posibles conexiones entre las operaciones y el diagrama *And / Or* (ilustración 42).

Paso 6, actividad extender: En esta configuración de aprendizaje el estudiante prueba los límites y contradicciones de su comprensión (McCarthy & McCarthy, 2005). Mediante el desarrollo del proyecto pistón, un ejercicio realizado con un producto más complejo por el mayor número de partes, se pretendió que el estudiante aplicara las ideas aprendidas en los pasos anteriores. Este proyecto consistió en identificar y determinar para un pistón neumático la lista de partes, ensambles y subensambles, diagrama *And/Or* y tres propuestas de secuencias de ensamble para ese producto (Ilustración 43).



Ilustración 43. Paso 6: extender. Proyecto Pistón

Paso 7 y 8: refinar y ejecutar: estos dos pasos se integran debido a la dependencia de ambos para su desarrollo. En el paso 7 y 8 el estudiante expone sus habilidades (Ilustración 44). En la etapa refinar, se busca examinar críticamente el conocimiento aprendido mediante la retroalimentación grupal del proyecto pistón.



Ilustración 45. Paso 7: Refinar. Retroalimentación proyecto pistón

Esta actividad consistió en la exposición del proyecto pistón (paso 8) en forma de clase magistral por parte de los alumnos, donde los receptores (sus compañeros de clase) están retroalimentando el conocimiento del expositor guiados por una evaluación cualitativa presentada en el anexo 7 (ilustración 45).



Ilustración 44. Paso 8 ejecutar: Exposición y retroalimentación del proyecto pistón.

4.2.2 Clase Tradicional Magistral

En los objetivos de este trabajo de investigación se plantea explorar mediante los mismos instrumentos de medición aplicados en la clase experiencial, una clase tradicional. Esta metodología tiene diferentes tipologías, donde la más aplicada es la clase magistral (Gutiérrez Fernández, Romero Cuadrado, & Solórzano García, 2011). Esta se caracteriza por que los estudiantes reciben pasivamente la información de un instructor (Prince, 2004). Las herramientas que se utilizan en este tipo de clase incluyen, videos, presentación de diapositivas, discusiones grupales y actividades dentro de un aula de clase.

La clase magistral implementada en el caso de estudio tiene el mismo objetivo educacional de la clase experiencial (desarrollo de competencias), la cual desarrolla el módulo temático generación de secuencias de ensamble en un bloque de tres horas. Durante esta el profesor expone el contenido temático a los alumnos en un aula de clase utilizando herramientas audiovisuales como proyección de video y tableros. También se desarrollan los mismos ejercicios (lapicero y pistón) en el transcurso de la clase (ilustración 46).



Ilustración 46. Clase magistral

4.3 Resultados de la aplicación

4.3.1 Resultados lista de chequeo FA universidad EAFIT

Mediante la lista de chequeo se procuró evaluar los aspectos más importantes incluidos en enfoque de los tres pilares. Esta evaluación fue desarrollada por tres profesores que hacen parte del grupo de investigación de Tecnologías para la Producción. El resultado general

indico que la FA resultante contenía todas las especificaciones definidas en la ficha técnica desarrollada mediante el enfoque de los tres pilares. Se hacen observaciones enfocadas al seguimiento del proyecto a largo plazo; debido a limitaciones de tiempo en el trabajo de investigación, aspectos como la vinculación de las asignaturas definidas en pilar de integración, la evaluación del desarrollo del objetivo educacional y de ingeniería merecen una mirada más detallada. Se hace otra observación en relación a la implementación del Sistema 4MAT, que sugiere una mejor adaptación en tiempos de tiempo de las actividades y en la capacitación de los profesores para aplicarlo en la FA. Por último, se resaltan las fortalezas de la FA, en cuanto a los recursos de infraestructura desarrollados para vincular las estrategias de ingeniería definidas en el último pilar.

Tabla 15 Lista de chequeo : Enfoque de los tres pilares

Lista de chequeo: enfoque de los tres pilares						
Pilar	Aspecto	Aspecto chequeable	FA universidad EAFIT	Cumple	No cumple	Observación
Pilar didáctico	Grupo objetivo	¿En la FA U. Eafit se incluyó el grupo objetivo determinado por el pilar didáctico?	Estudiantes del área de Manufactura Ingeniería de Producción.	x		-El espacio se orienta claramente a los estudiantes del área de manufactura. -Adicional a los grupos vinculados al caso de estudio se han realizado actividades experienciales en grupos como manufactura 2, diseño para el ensamble y gestión de la calidad.
	Objetivo educacional	¿Se identifica el objetivo educacional de la FA universidad Eafit?	Desarrollo de competencias	x		-La estructura del sistema 4MAT obliga a determinar las competencias a desarrollar al inicio cada módulo temático. -Se sugiere hacer un seguimiento para evaluar los resultados de aprendizaje a largo plazo en este espacio.
	Estrategia enseñanza-aprendizaje	¿la FA U Eafit implemento la estrategia de enseñanza aprendizaje especificada en el pilar didáctico?	Aprendizaje experiencial: Sistema 4matt	x		-El modulo temático desarrollado en el caso de estudio aplico el sistema 4MAT. -Se sugiere una mejor adaptación de este sistema (tiempo y diseño de actividades) - evaluación de su

						desempeño en diferentes temas o áreas de conocimiento
Pilar de integración	Área de la cadena de valor	¿la FA Universidad Eafit vinculo las actividades de la CV definidas en el pilar de integración?	Logística interna- Operaciones - Desarrollo de procesos y tecnologías	x		Se integró a la FA la infraestructura para desarrollar las actividades definidas en la cadena de valor. Se sugiere evaluar el desempeño de esta cuando se utilicen en prácticas experienciales en cada una de ellas.
	Integración de contenidos	¿La FA U. Eafit incluyo las asignaturas definidas en el pilar de integración?	Asignaturas de pregrado y posgrado de IP	x		El alcance del trabajo limito el seguimiento a las asignaturas que se integraron a la iniciativa. Se sugiere un seguimiento en un término de tiempo más amplio de las asignaturas vinculadas a la FA.
Pilar de ingeniería	Tecnologías	¿La FA U Eafit incluyo la infraestructura tecnológica, de equipos y proceso de definidos en pilar de ingeniería?	Línea de ensamble, sistema de manufactura flexible, infraestructura de intralogística, hardware y software computacional, Sistema de manufactura aditiva, plataforma de gestión del ciclo de vida, simulación computacional de sistemas productivos.	x		La infraestructura cumple a cabalidad con cada una de los procesos y tecnologías vinculados en su pilar.
	Objetivos de ingeniería	¿se identifica el objetivo de ingeniería en la FA universidad EAFIT?	Formación de competencias para la aplicación de estrategias que permitan mejoramiento de procesos productivos.	x		Un aspecto importante es el proceso de diseño de módulos temáticos con el sistema 4MAT obliga a definir la competencia que se pretenden desarrollar. -se sugiere un seguimiento de la evaluación de competencias a largo plazo.
	Estrategias	¿La infraestructura de la FA	Manufactura LEAN, Diseño para X, Gestión de ciclo	x		Los equipos y procesos vinculados permiten la integración de las

		Universidad EAFIT permite vincular las estrategias definidas en el pilar de ingeniería?	de vida del producto			estrategias de ingeniería definidas en el pilar, se resalta como uno de los puntos de mayor potencial en la FA Universidad EAFIT.
--	--	---	----------------------	--	--	---

4.3.2 Resultados información demográfica de los grupos

Al inicio de la sesión experiencial y tradicional se realiza un cuestionario que busca explorar la información demográfica de los ambos grupos. En la tabla 16 se consolidan los datos obtenidos:

Tabla 16. Información demográfica de los grupos

Atributo	Grupo clase experiencial	Grupo clase magistral
Número de integrantes	11	9
Promedio de edad	21,36	20,56
Porcentaje de género femenino	36%	33%
Programa académico	Ingeniería de producción	Ingeniería de producción
Promedio de notas académicas	3,88	3,94
Experiencia de trabajo	0	0
Calificación de su propio conocimiento en temas a fines con ingeniería de producción(1:bajo, 2:medio, 3:alto)	2,09	2,11

Si bien este trabajo no contempla la comparación de los ambos grupos sino una mera exploración de los mismos, los resultados demográficos son virtualmente idénticos. Como observación de los datos, el promedio de edad y la cuota del género femenino son similares entre los ellos. Todos los participantes de las dos actividades pertenecen al programa de ingeniería de producción y declaran que no tienen experiencia de trabajo en áreas relacionadas. Los dos grupos tienen un promedio de notas académicas similar y consideran que su conocimiento en temas a fines con ingeniería de producción es medio.

4.3.3 Resultados estilos de aprendizaje

El test de estilos de aprendizaje (*Learning Type Measure instrument (LTM)*) busca determinar la preferencia por una de las fases del ciclo experiencial (McCarthy & McCarthy, 2005). Consistió en un test de 15 preguntas que se realizó en una sesión previa al desarrollo tanto de la actividad experiencial como la clase magistral. Se llevó a cabo utilizando la herramienta de cuestionarios de *google* en un espacio de 30 minutos.

En la tabla 17 se consolidan los resultados del test LTM para el grupo que desarrollo el módulo temático mediante la clase magistral. En esta tabla se observa la puntuación por estilo, del cual se identifica tanto la combinación de estilos como el estilo predominante de cada individuo. En el grupo magistral el estilo predominante entre los participantes fue el tipo 3 - de sentido común (tabla 19) para McCarthy o Estilo Convergente para Kolb. Este indica que las personas con estilo 3 tienen su foco puesto en la utilidad práctica de lo aprendido. Tienen capacidad para aplicar teorías e ideas a situaciones reales, por ejemplo, para los procesos de resolución de problemas y toma de decisiones. Están orientados, sobretudo, hacia los hechos y los resultados. Con menor proporción es seguido por el estilo 4, 2 y 1 respectivamente.

Tabla 17. Resultados test estilos de aprendizaje grupo magistral

Resultados test de estilos de aprendizaje grupo clase magistral						
Alumno	Total estilo 1	Total estilo 2	Total estilo 3	Total estilo 4	Combinación de estilos	Estilo predominante
1	25	44	50	18	3-2-1-4	3
2	15	40	46	37	3-2-4-1	3
3	28	26	37	51	4-3-1-2	4
4	25	40	46	30	3-2-4-1	3
5	23	36	46	39	3-4-2-1	3
6	32	25	40	41	3-4-1-2	3
7	24	41	47	29	3-2-4-1	3
8	24	51	35	28	2-3-4-1	2
9	28	39	36	41	4-2-3-1	4

En el grupo experiencial los resultados del test LTM se agruparon en la tabla 17. El estilo predominante fue el tipo 3 - de sentido común (tabla 19) para McCarthy. A este le siguieron en menor proporción el estilo 1 y 2, los cuales obtuvieron el mismo número de participantes que identificaban con esos estilos.

Tabla 18. Resultados estilos de aprendizaje grupo experiencial

Resultados test de estilos de aprendizaje grupo clase experiencial						
Alumno	Total estilo 1	Total estilo 2	Total estilo 3	Total estilo 4	Combinación de estilos	Estilo predominante
1	30	26	42	40	3-4-1-2	3
2	29	41	45	24	3-2-1-4	3
3	30	32	49	27	3-2-1-4	3
4	29	34	42	34	3-4-2-1	3
5	26	38	46	30	3-4-3-1	3
6	23	41	45	33	3-2-4-1	3
7	25	37	49	26	3-2-4-1	3

8	31	34	37	36	3-4-2-1	3
9	27	44	43	28	2-3-4-1	2
10	22	40	50	26	3-2-4-1	3
11	32	29	45	33	3-1-4-2	3

En la tabla 19 se consolidaron los resultados de la proporción de estilos de aprendizaje en ambos grupos, en este sentido como mera de observación el estilo que predominó fue el tipo tres con una marcada diferencia sobre los otros estilos.

Tabla 19. Proporción por estilos de aprendizaje para los dos grupos.

Estilo predominante	Proporción grupo clase experiencial	Proporción grupo clase magistral
estilo1	9%	0%
estilo2	9%	11%
estilo3	73%	67%
estilo4	0%	22%

4.3.4 Resultados de aprendizaje

Prueba teórica

Los resultados del aprendizaje pueden describirse como lo que los alumnos o estudiantes pueden hacer realmente con lo que saben y han aprendido (Prøitz, 2010). Pero se parte en esta investigación de que la evaluación de los resultados de aprendizaje es un proceso inferencial; se observa a través de los productos y resultados (Schunk et al., 2012). En esta investigación se hace uso de una prueba escrita y una evaluación cualitativa para explorar el efecto de la aplicación de una clase experiencial y una clase tradicional sobre el aprendizaje de los participantes.

En la tabla 20 se agrupan los resultados de la prueba teórica de ambos grupos. El grupo que participó de la clase experiencial de un total de 45 puntos posibles en el pre test obtuvo un promedio de 7,82 puntos, indicando su limitado conocimiento teórico sobre el tema tratado. Luego del desarrollo de la clase se realizó un post test donde el puntaje promedio fue 27,09, representado en un incremento absoluto del 55,06% y uno relativo al puntaje inicial del 346,51%.

Por otro lado, el grupo que desarrolló el módulo temático bajo la clase experiencial dio como resultado del pre test un promedio de 7,67 puntos. Luego del tratamiento mediante la clase magistral el post test presentó un promedio de 26,44 puntos, representando un incremento absoluto del 53,65 % y un incremento relativo al puntaje inicial del 344,93%. La diferencia absoluta entre los grupos es del 1,58 % luego ambas clases (magistral y experiencial). En

ambos casos existió un incremento en el puntaje promedio del post test indicando que los estudiantes ampliaron el conocimiento teórico del tema expuesto bajo ambos métodos.

Tabla 20. Resultado prueba teórica

Grupo clase aprendizaje experiencial						
Categoría	Pre test	post test	incremento absoluto	incremento relativo	Diferencia Absoluta	
Promedio puntuación	7,82	27,09	55,06%	346,51%	1,58%	
%	22%	77%				
Grupo clase magistral						
categoría	Pre test	post test	incremento absoluto	incremento relativo		
Promedio puntuación	7,67	26,44	53,65%	344,93%		
%	22%	76%				

Evaluación cualitativa

La evaluación cualitativa consistió en la observación de una de las actividades (proyecto pistón), que fue desarrollada en el escenario experiencial y el magistral. Esta fue realizada por 3 profesores del área de manufactura y guiada por un formato que incluía los criterios a tener en cuenta durante el mismo proceso (tabla 21).

Grupo clase experiencial: Los resultados de la evaluación cualitativa para el grupo experiencial fueron favorables a la luz de los 6 ítems valorados mediante una escala que discrimina la actividad entre realizada completamente, parcialmente o nada. En general el proceso para desarrollar el diagrama *And/Or* y a partir de este generar las secuencias de ensamble se llevó a cabo exitosamente. Durante los pasos evaluados solo en el ítem 4 (Grafica del diagrama and/or) el instructor tuvo que intervenir para dar indicaciones de acerca de la disposición gráfica de algunos elementos en el diagrama, más la comprensión y aplicación de los pasos para desarrollar este fueron ejecutados de manera estructurada. El grupo determino con facilidad los elementos del ensamble; en la fase posterior de identificación de nodos y arcos, se desarrolló sin dificultades. Por último, la verificación de las secuencias de ensamble se ejecutó completamente, descartando las operaciones que por restricciones físicas no eran factibles.

Grupo clase magistral: El grupo clase magistral realizo completamente el ítem 1 que pretendía determinar los componentes del ensamble con algunas preguntas menores. El proceso para identificar nodos y arcos fue realizado parcialmente, donde la intervención del profesor tuvo que ser indispensable para responder a las preguntas relacionadas con el funcionamiento del producto. El ítem 3, que pretendía evaluar la asignación de los arcos se realizó completamente. En el proceso para graficar el diagrama *And/Or* la intervención del instructor fue necesaria para orientar la elaboración del mismo. Los ítems generación de

secuencias de ensamble y posterior verificación fueron desarrolladas parcialmente; se observa la falta de comprensión y rigurosidad en los pasos para elaborar las secuencias de ensamble.

Tabla 21. Resultado evaluación cualitativa

Evaluación cualitativa			
Criterio	Descripción	Grupo clase experiencial	Grupo clase magistral
1.Determinar lista de componentes (completamente, parcialmente, nada)	Mediante el proceso de desensamble el alumno debe determinar los componentes del pistón neumático y seleccionar cuales van hacer parte del diagrama and/or.	Se determinaron completamente los elementos del pistón neumático, con preguntas menores.	Se determinan completamente los elementos del pistón neumático, con preguntas menores.
2.Proceso para identificar los nodos (ensambles y subensambles) del pistón neumático (completamente, parcialmente, nada)	El alumno debe realizar el desensamble del producto con el objetivo de identificar los posibles estados del producto. los posibles ensambles y subensambles deben plasmarse gráficamente en el orden en que se desensambla el producto, de modo que se observen las etapas del producto. cada nodo generado debe estar enumerado.	Se realiza completamente la identificación de los nodos. Algunos alumnos no se guían estrictamente por el proceso de desensamble, generando dificultad en la identificación de los nodos	El proceso para identificar los nodos se realiza parcialmente. Algunos alumnos se les dificulta la identificación de los nodos. La no manipulación física restringe la comprensión de la relación entre las piezas del ensamble. Muchas preguntas sobre posibles formas de remover una pieza del producto.
3.Asignación de arcos (completamente, parcialmente, nada)	Cada arco u operación se debe graficar en el diagrama and/or e identificar por medio de un número. Se debe observar el nodo saliente y los dos resultantes.	Proceso de asignación de arcos se realiza completamente. Pocas preguntas al respecto.	se realiza completamente.
4.Grafica del diagrama and/or (completamente, parcialmente, nada)	Antes de generar posibles secuencias de ensamble en el diagrama and/or se deben graficar todos los nodos, arcos y sus respectivos nombres. En el diagrama se deben identificar claramente la relación entre los elementos del producto	Proceso se realiza completamente. En algunos casos la gráfica es difícil de comprender por la mala disposición de algunos nodos	Proceso se realiza parcialmente. Se presenta mucha dificultad para plasmar en el diagrama las gráficas donde se identifiquen claramente los nodos y los arcos.
5.Generación de secuencias de ensamble (completamente, parcialmente, nada)	El proceso de generación de secuencias debe estar guiado por el diagrama and/or. El alumno debe comenzar la secuencia con los arcos de los nodos inferiores en dirección hacia la parte superior del diagrama.	Se realiza completamente. Proceso que no tiene dificultad en el grupo.	Se realiza parcialmente. La poca claridad del diagrama and / or crea gran dificultad para generar secuencias de ensamble. Solo pocos alumnos realizan este proceso y presentan 2 o más secuencias a partir del diagrama.

6.Verificación de las secuencias generadas (completamente, parcialmente, nada)	El alumno debe seguir el conjunto de operaciones ordenadas que resultan a partir del diagrama and/or y determinar la factibilidad de las mismas.	Operación se realiza completamente. En algunos casos de excluyen operaciones por sus restricciones físicas en el ensamble	Operación realizada parcialmente. Fue restringido el desarrollo de este proceso al generar pocas secuencias validas a partir del diagrama parcialmente generado en las fases anteriores.
--	--	---	--

4.3.5 Resultado estado de motivación

La motivación no es una característica estática en el estudiante, ya que puede variar por diferentes factores, por ejemplo, su interés, la naturaleza del curso, sus expectativas entre otros factores (Pintrich et al., 1993). El test MLSQ en su área de motivación evalúa este aspecto, que su vez contiene 6 sub escalas ligadas a esta (tabla 22).

Los resultados para la primera escala nombrada orientación intrínseca, la cual muestra el deseo de trabajar y si los estudiantes disfrutaban el reto del aprendizaje, si es genuinamente curioso o si disfrutaba el sentimiento de la comprensión, indican que los dos grupos están por encima de la media, pero dentro del rango de desviación del parámetro (tabla22).

La orientación extrínseca es una medida que trata de observar el deseo de trabajar de los estudiantes en función de los premios externos, en este sentido la media de los dos grupos es inferior a la del parámetro, pero solo la clase experiencial esta por fuera del rango de desviación. Este resultado se puede interpretar como la motivación de este grupo en relación con estímulos exteriores (obtener una nota alta, mejorar el promedio académico, ser mejor que los otros compañeros) es inferior al parámetro de la prueba.

La tercera subescala (valor de la tarea) se enfoca a revisar en los alumnos qué tan importante y útil consideran sus actividades de estudio. Los resultados de ambos grupos están por encima de la media parámetro, pero dentro del rango de desviación.

El significado del aprendizaje evalúa las creencias de que los resultados dependen del propio esfuerzo frente a que dependen de factores externos. Si el estudiante siente que puede controlar su rendimiento académico, es más probable que active las estrategias para lograr los resultados deseados (Pintrich, 1995). Los dos grupos están dentro del rango del parámetro, sin embargo, el grupo de la clase magistral está en el límite inferior, indicando una posible baja valoración de su trabajo con respecto a la obtención de resultados positivos.

Las sub escalas autoeficiencia (una medida centrada en los juicios de los estudiantes acerca de su capacidad para concluir sus actividades de estudio) y el test de ansiedad (busca identificar qué tanto se preocupan los estudiantes ante los exámenes y que tan frecuentemente tienen pensamientos distractores cuando están resolviéndolos), se encuentran dentro de los límites del parámetro.

Tabla 22. Resultados test SML por escala.

Dimensión	Grupo	n	Media	Desviación estándar	Parámetro	Desviación estándar
Orientación intrínseca	clase experiencial	11	5,82	0,39	5.03	1.09
	clase magistral	9	5,83	0,72		
Orientación extrínseca	clase experiencial	11	3,77	0,90	5,03	1.23
	clase magistral	9	4,36	0,64		
Valor de la tarea	clase experiencial	11	5,89	0,34	5.54	1.25
	clase magistral	9	5,57	0,31		
Significado del aprendizaje	clase experiencial	11	5,32	1,05	5.74	0.98
	clase magistral	9	4,75	1,44		
Auto eficiencia	clase experiencial	11	5,60	0,94	5.47	1.14
	clase magistral	9	5,47	0,68		
Test ansiedad	clase experiencial	11	3,55	0,82	3.63	1.45
	clase magistral	9	3,44	0,91		

5. Discusión de los resultados

Esta sección presenta en la primera parte la discusión de los resultados orientados a dar respuestas a las sub preguntas de investigación, al final del capítulo se argumenta la respuesta a la pregunta principal de investigación.

5.1 Primera sub-pregunta: ¿Cómo estructurar un enfoque para construir una FA?

La respuesta indica como se estructuro el enfoque para desarrollar la FA Universidad Eafit y los aspectos más relevantes durante el desarrollo del mismo, el recorrido para la elaboración de la respuesta fue:

a. Identificar las características más relevantes de las FA:

El recorrido por las principales iniciativas de este tipo y posterior análisis textual cuantitativo y cualitativo, nos abrió el panorama de los aspectos claves en una FA, dentro de las características más representativas de las FA se pueden resaltar a modo de conclusión:

- Los objetivos de las FA están centrados en educación, entrenamiento, investigación y desarrollo de experiencias industriales en escenarios académicos.
- El concepto nace en las áreas Manufactura en Alemania y EEUU para mejorar los procesos de formación en ingeniería.
- Las estrategias de enseñanza aprendizaje están basadas en la práctica, orientadas a la acción y soportadas por el aprendizaje activo y experiencial.

b. Proponer un enfoque:

Las condiciones básicas que una Fabrica o una recreación de la misma debe tener para ser considerada como un FA son tres: 1. Debe contar con una estructura didáctica definida, 2. Debe recrear, como mínimo, una sección de la cadena de valor productiva, 3. Debe vincular herramientas, métodos y metódicas propias del área a ser recreada. Partiendo de esta caracterización, se planteó el enfoque de los tres pilares (didáctico, integración e ingeniería), como puente entre las exigencias de una FA y las necesidades del área de Manufactura de la Universidad Eafit.

Como resultado de este proceso se obtuvo una ficha técnica con las especificaciones que este proyecto en particular debía desarrollar.

- Didáctico: Agrupa el objetivo educacional, la estrategia de enseñanza aprendizaje y el grupo objetivo.
- Integración: Agrupa las áreas de la cadena de valor que se decido vincular (diseño, logística, operaciones) y los contenidos temáticos.
- Ingeniería: Agrupa infraestructura tecnológica, máquinas, dispositivos y estrategias productivas.

c. Adaptar las necesidades del área de Manufactura a las características de las FA:

Se logró articular el contenido de la asignatura Manufactura Avanzada con la FA mediante el sistema 4MAT. El resultado fue el desarrollo de prácticas experienciales inexistentes.

d. Diseño y construcción de la FA

El diseño de la FA no se limitó a una copia de un proceso industrial, articuló un escenario productivo con un método de enseñanza en una FA como medio para impartir conocimiento a partir de la reflexión de la experiencia.

En resumen, la conformación de tres pilares que agruparan los requerimientos técnicos y didácticos más una sinergia entre el área de manufactura de la universidad y los proveedores de la infraestructura de este proyecto, permitieron el desarrollo y la construcción de FA Universidad Eafit.

5.2 Segunda sub-pregunta: ¿Cómo estructurar prácticas experienciales en una FA?

Para la construcción de la respuesta fue necesario desarrollar cuatro ítems:

a. Identificar conceptos básicos del aprendizaje experiencial:

Con el objeto de estructurar un proceso para realizar las prácticas experienciales en la FA universidad Eafit se consultaron revistas, libros, ponencias y tesis relacionados directamente con el tema, logrando una familiarización con los conceptos teóricos necesarios en temas como el aprendizaje, aprendizaje experiencial y estilos de aprendizaje.

b. Seleccionar un modelo de aplicación del aprendizaje experiencial y articularlo con la FA.

Se seleccionó el sistema 4MAT, que tiene como objetivo diseñar módulos temáticos, fundamentado en la posibilidad de implementar actividades para que cada uno de los estilos de aprendizaje se identifiquen dentro del ciclo de aprendizaje experiencial. La FA fue el escenario donde se desarrolló la actividad experiencial, se utilizaron herramientas, dispositivos y productos que conformaron un entorno real de manufactura.

c. Diseño de una práctica basada en la teoría de aprendizaje experiencial

La aplicación del sistema 4MAT en la FA, nos proporcionó una estructura para implementar la teoría de aprendizaje experiencial en ocho pasos. Cada fase del sistema fue diseñada para activar los cuatro estilos de aprendizaje. La infraestructura de la FA facilitó la implementación de este sistema, debido a los recursos contenidos en esta, que permiten experimentar en un ambiente real de producción.

En resumen, los ocho pasos son:

- **1. Conectar:** Crear una experiencia.
- **2. Poner:** Atención: Reflexionar y analizar
- **3. Imagen:** Integrar el análisis en conceptos
- **4. Informar:** Aprender los conceptos y habilidades

- **5.Pracatica:** Practicar del modo definido
- **6. Extender:** Practicar y agregar algo propio
- **7.Refinar:** analizar la utilidad y relevancia de lo aplicado
- **8.Ejecutar:** hacer y aplicar experiencias nuevas y más complejas.

d. Validación

Se seleccionó un grupo de estudiantes de la asignatura Manufactura Avanzada para aplicar la práctica experiencial en la FA, los pasos se desarrollaron de la siguiente forma:

1. Generar una experiencia: Mediante la proyección de un video los estudiantes identificaron, en la situación cotidiana de hacer una receta de cocina, el impacto que tiene el orden en que se realizaban cada una de las actividades.
2. Proceso de reflexión: Se realizó una discusión guiada acerca de la experiencia de cada participante en la situación planteada del paso 1.
3. Imagen: Mediante la representación gráfica el estudiante expreso el estado de la comprensión del tema.
4. Informar: Se desarrolló bajo el método de clase magistral, donde el experto impartió los conceptos formales y una estrategia (diagrama and/or) para desarrollar el tema. En este punto el estudiante pudo comparar sus creencias con el conocimiento formal.
5. El desarrollo de los pasos 5, 6, 7 y 8 se llevó a cabo por medio de la vinculación de dos ejercicios en la FA, el primero con un enfoque de entrenamiento y el segundo con el objetivo de retar las capacidades del estudiante para la generación de nuevo conocimiento. Las dos actividades se desarrollaron en un banco de trabajo con herramientas y productos reales.

En resumen, este proceso permitió diseñar e implementar múltiples estrategias en un marco sistemático que vinculó cada uno de los estilos de aprendizaje, donde se logró integrar los recursos didácticos e infraestructura física de la FA Universidad Eafit, para impartir el conocimiento de una manera experiencial dentro de currículo de manufactura avanzada.

5.3 Tercera sub-pregunta ¿Cuáles son los resultados de aprendizaje, el estado de motivación y el estilo de aprendizaje de los participantes luego de desarrollar un tema con dos metodologías por separado: clase magistral y método experiencial en la FA Universidad EAFIT?

En el inicio de esta investigación se plantea la medición de los resultados de aprendizaje y el estado de motivación con el fin de explorar el rendimiento de los alumnos en un escenario determinado para que estas fueran el precedente para la orientación de futuras investigaciones que pudieran relacionar causalmente la aplicación de un método de enseñanza y los resultados de aprendizaje o estado de motivación. En este sentido la pregunta no se orienta mediante una hipótesis, y el desarrollo de las actividades experiencial y la clase magistral no se tratan como un experimento formal, sin embargo, en este apartado se presentan los resultados que se obtuvieron en ambos escenarios.

Comencemos por los resultados de aprendizaje, los cuales fueron evaluados mediante una prueba teórica y una evaluación cualitativa en el desarrollo del tema generación de secuencias de ensamble. Se observó que el resultado del test teórico en ambos casos presento un incremento similar en la ganancia de conocimiento de los conceptos que se pretendían enseñar en el tema, presentando un indicio de que ambas metodologías podrían cumplir con la función de transmitir el conocimiento teórico. El método experiencial fue un 1,57% superior con respecto al grupo de la clase magistral. Sin embargo, en la evaluación cualitativa que se desarrolló mediante la observación de los procedimientos ejecutados para generar una secuencia de ensamble, específicamente en el ejercicio pistón por parte de los participantes, se observó un mejor desempeño del grupo experiencial. Las competencias que fueron establecidas en el planteamiento del módulo temático fueron las siguientes:

- Capacidad de los alumnos para entender y aplicar un análisis de precedencias para un proceso y/o producto.
- Evaluar y analizar las relaciones entre las operaciones y las partes que comprenden un producto.
- Desarrollar secuencias factibles de ensamble para un proceso y/o producto.

Durante la evaluación de los 5 ítems que componía este proceso, se observó que el grupo experiencial presento un mejor desempeño al momento de aplicar los conceptos teóricos que el grupo magistral. Se podría plantear la profundización en futuros trabajos sobre el efecto de tener un espacio donde el estudiante explore la comprensión de su conocimiento (FA), como un factor importante para que se afronten con mayor facilidad un ejercicio retador como el pistón y se apliquen estructuradamente los pasos para generar una secuencia de ensamble.

Otro aspecto, en el que se podría profundizar, sería determinar la relación de desempeño en la evaluación cualitativa con la estructuración de actividades bajo el sistema 4MAT, el cual debería considerar cada uno de los estilos de aprendizaje y su relación con el estado de motivación del participante. Si bien el alcance de esta investigación, no proporciona evidencias para realizar un juicio que indique que hubo un factor determinante en la mejoría de los resultados de aprendizaje de los estudiantes del grupo experiencial en la evaluación cualitativa, se plantea que sería pertinente profundizar la causa de esta apreciación.

5.4 Pregunta principal de investigación: ¿Cómo Fortalecer la relación teórica-práctica en la asignatura manufactura avanzada?

En particular y bajo las condiciones del actual trabajo de investigación, se puede determinar que una de las estrategias para fortalecer la relación teórico – práctica es mediante el desarrollo e incorporación de prácticas experienciales al contenido de la asignatura Manufactura Avanzada, el cual permita integrar los problemas industriales y desarrollar clases donde se articulen los conceptos teórico - prácticos en un mismo escenario académico; nuestra propuesta se centra en determinar que el escenario es la FA.

Requisitos para lograr este fortalecimiento

FA: Escenario que permita recrear el realismo de un sistema productivo como recurso fundamental del proceso de formación experiencial.

Estructura Didáctica: Sistema que oriente la planificación y diseño de las clases (o unidades didácticas) para impartir el conocimiento a partir de la reflexión sistemática de la experiencia

Contexto Industrial: Socios empresariales que permitan plantear sus problemas industriales para ser resueltos en el contexto académico, utilizando la FA como centro de integrador industria-academia de forma experiencial para poder formar a los estudiantes en un contexto real.

Planta profesoral: Académicos convencidos de las bondades del aprendizaje experiencial y prestos a cambiar el paradigma educativo mediante la implementación de diferentes modelos de enseñanza aprendizaje.

Apoyo institucional: proporcionar los recursos tanto físicos como humanos que garanticen el desarrollo permanente de las actividades de la FA.

6. Conclusión

El reto determinante de esta investigación fue fortalecer la relación teórico – práctica en el área de Manufactura de la Universidad Eafit; sin pretender agotar el tema, se registra en este apartado las conclusiones más representativas obtenidas en desarrollo del proyecto.

- a. Se desarrolló en la Universidad Eafit el concepto de FA y se incorporó el aprendizaje experiencial como herramientas para fortalecer la relación teórico- práctica y cambiar el paradigma de enseñanza en la educación de manufactura.
- b. El enfoque propuesto de los tres pilares como sistema que orienta la caracterización de una FA, es un gran aporte al desarrollo de actividades prácticas en Ingeniería. Cabe aclarar, que de ser requerida una FA para diferentes áreas de conocimiento solo se debe cambiar el pilar de ingeniería por el pilar de la temática a desarrollar (administración, finanzas, logística, etc.), el cual define las características físicas de la FA.
- c. Después de aplicar los tres pilares en este trabajo, se sugiere cambiar el nombre del pilar de ingeniería por el de pilar temático y de esta forma hacer del enfoque una guía general para la caracterización de las FA. Los otros dos pilares, integración y didáctico, permanecen constantes.
- d. Se recomienda que el diseño de la infraestructura de la FA debe cumplir con mínimos requisitos de modularidad y flexibilidad, de modo que permitan recrear múltiples escenarios productivos durante el desarrollo de actividades académicas.
- e. Para que una FA tenga un impacto permanente en el mundo académico es necesario entender que integración curricular es algo más que establecer vínculos entre materias. Que hay muchas cosas que debemos integrar en el contexto formativo universitario como teoría y práctica; docencia e investigación; componentes académicos y profesionales; conocimientos y habilidades; materias básicas con las profesionalizantes y por último el contexto académico con el contexto industrial.
- f. La aplicación del sistema 4MAT fue un elemento fundamental para integrar y coordinar los recursos físicos y didácticos de la FA en una clase de formato experiencial. Desde el punto de vista académico, se vinculó con la FA una nueva experiencia tanto para los estudiantes como para los docentes del área de manufactura, ya que esta configuración proporcionó un nuevo tipo de enseñanza que no estaba disponible en clases teóricas o en laboratorios convencionales.
- g. La vinculación de herramientas que permitan identificar el perfil de aprendizaje de los alumnos para diseñar y orientar las actividades según sus preferencias, es una novedad por lo menos para el cuerpo docente de la Universidad Eafit y se presenta como una contribución en los recursos para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje.
- h. El proceso de estructuración de la FA Universidad Eafit permitió alinear tres aspectos fundamentales para aplicación: las necesidades puntuales del área de manufactura (teoría-práctica) con el sistema de aprendizaje experiencial (4MAT) – y el entorno productivo industrial (problemas reales).

- i. Dentro de la experiencia piloto se desarrolló un módulo temático del área de Manufactura donde el proceso de evaluación se limitó a la exploración de los resultados de aprendizaje, estado de motivación y estilos de aprendizaje en dos escenarios: clase magistral y clase experiencial. Se resalta el resultado del test teórico, el cual fue similar para ambos grupos, en contraste, con la evaluación cualitativa del módulo temático, donde se observó un mejor desempeño del grupo experiencial. Este es un indicio interesante para futuros trabajos de investigación ligados a la FA Universidad Eafit, donde se puedan vincular relaciones causales entre la aplicación de un método y los resultados de aprendizaje.

El cambio del observador es fundamental dentro de esta FA, la preparación y función del observador debe planearse tomando como referencia la competencia que se quiere desarrollar.

La FA rompe con el paradigma donde el alumno ejerce un rol operativo en las prácticas de Manufactura Avanzada y realiza actividades donde el participante se convierte en un observador consiente del sistema productivo industrial, en el cual puede asumir la posición de ingeniero en un proceso estructurado de enseñanza-aprendizaje direccionado por las competencias que se pretenden desarrollar en el mismo.

7. Bibliografía

- Abele, E., Eichhorn, N. & Kuljanic, E. (2008). Process learning factory-training students and management for excellent production processes. *Advanced Manufacturing Systems and Technology, CISM, Udine*, 63–73.
- Abele, E., Metternich, J., Tisch, M., Chryssolouris, G., Sihn, W., ElMaraghy, H., ... Ranz, F. (2015). Learning Factories for research, education, and training. *Procedia CIRP*, 32, 1–6.
- Abele, E., Wennemer, J. & Eichhorn, N. (2010). Integration of Learning Factories in Modern Learning Concepts for Production-oriented Knowledge. *Experimental Learning on Sustainable Management, Economics and Industrial Engineering, PoliScript, Mailand*, 235–243.
- Artamónova, I., Mosquera, J., Ramirez, M. & Mosquera, J. (2014). Resultados cuantitativos de la aplicación del Sistema 4MAT en Mecánica en la Universidad del Quindío. *Latin-American Journal of Physics Education*, 8(4).
- Baena, F., Guarín, A., Mora, J., Sauza, J. & Retat, S. (2017). Learning Factory: The Path to Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 9, 73–80.
- Barton, H. & Delbridge, R. (2001). Development in the learning factory: training human capital. *Journal of European Industrial Training*, 25(9), 465–472.
- Bauer, C., Magnan, M. & Laszewski, P. (2016). Use of 4MAT Learning Theory to Promote Better Skin Care During Radiation Therapy: An Evidence-Based Quality Improvement Project. *Journal of Wound Ostomy & Continence Nursing*, 43(6), 610–615.
- Bower, G. H., Hilgard, E. R. & others. (1981). *Theories of learning*. Prentice-Hall.
- Cachay, J., Wennemer, J., Abele, E. & Tenberg, R. (2012). Study on action-oriented learning with a Learning Factory approach. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 55, 1144–1153.
- Camara de la Industria Automotriz. (2016). Revisado 20–9, 2017, de <http://www.andi.com.co/cinau/Paginas/default.aspx>
- Camara Sector de Electrodomésticos. (2016). Revisado 20–1, 2017, de <http://www.andi.com.co/cse/Paginas/default.aspx>
- Cantor, J. A. (1997). Experiential Learning in Higher Education: Linking Classroom and Community. ERIC Digest.

- Carol, C. (2015). Learning Styles in Higher Education. A Case Study in History Training. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 180, 256–261.
- Castro, J. E. S., Pérez, P. N. P. & Pérez, G. S. (2014). Concentración de la industria manufacturera en Colombia, 2001-2010: una aproximación a partir del índice de Herfindahl-Hirschman. *Diálogos de Saberes: Investigaciones Y Ciencias Sociales*, (40), 115–138.
- Chryssolouris, G. (2006). *Manufacturing Systems: Theory and Practice*. Springer Science & BusinessMedia.
- Chryssolouris, G., Mavrikios, D. & Mourtzis, D. (2013). Manufacturing Systems: Skills & Competencies for the Future. *Procedia CIRP*, 7, 17–24.
- Dale, E. (1969). Audiovisual methods in teaching. ERIC
- De Mello, L. H. & Sanderson, A. C. (1990). AND/OR graph representation of assembly plans. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 6(2), 188–199.
- De Zan, G., De Toni, A. F., Fornasier, A. & Battistella, C. (2015). A methodology for the assessment of experiential learning lean: The Lean Experience Factory case study. *European Journal of Training and Development*, 39(4), 332–354.
- Efstratia, D. (2014). Experiential education through project based learning. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 152, 1256–1260.
- ElMaraghy, H. (2008). *Changeable and reconfigurable manufacturing systems*. Springer Science & Business Media.
- ElMaraghy, H. A. & others. (2009). *Changeable and reconfigurable manufacturing systems*. Springer.
- Gómez Pawelek, J. (2003). El aprendizaje experiencial. *Argentina: Universidad de Buenos Aires*.
- Gutiérrez Fernández, M., Romero Cuadrado, M. S. & Solórzano Garcia, M. (2011). El aprendizaje experiencial como Metodología docente: aplicación del método Macbeth. *Argos*, 28(54), 127–158.
- Harb, J. N., Durrant, S. O. & Terry, R. E. (1991). Use of the 4MAT system in engineering education. In *Frontiers in Education Conference, 1991. Twenty-First Annual Conference. 'Engineering Education in a New World Order.'* *Proceedings*. (pp. 612–616).
- Hays, D. G. & Singh, A. A. (2011). *Qualitative inquiry in clinical and educational settings*. Guilford Press.

- Innovacampus. (2016.). Revisado May 3, 2016, from <http://www.Eafit.edu.co/sitionoticias/2015/innovacampus-tiene-ruta-hacia-un-profesional-estrategico>
- Knepper, R. A., Ahuja, D., Lalonde, G. & Rus, D. (2014). Distributed assembly with and/or graphs. In *Proceedings of the Workshop on AI Robotics at the International Conference on Intelligent Robots and Systems*.
- Kolb, A. Y. & Kolb, D. A. (2005). Learning styles and learning spaces: Enhancing experiential learning in higher education. *Academy of Management Learning & Education*, 4(2), 193–212.
- Kolb, D. A. (2014). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. FT press.
- Kreitlein, S., Höft, A., Schwender, S. & Franke, J. (2015). Green Factories Bavaria: A Network of Distributed Learning Factories for Energy Efficient Production. *Procedia CIRP*, 32, 58–63.
- Lamancusa, J. S., Jorgensen, J. E., Zayas-Castro, J. L. & Ratner, J. (1995). The learning factory-a new approach to integrating design and manufacturing into the engineering curricula. *ASEE Annual Conference Proceedings*, 2, 2262–2270.
- Lamancusa, J. S., Zayas, J. L., Soyster, A. L., Morell, L. & Jorgensen, J. (2008). 2006 Bernard M. Gordon Prize Lecture*: The Learning Factory: Industry-Partnered Active Learning. *Journal of Engineering Education*, 97(1), 5–11.
- LeCompte, M. D. (2000). Analyzing qualitative data. *Theory into Practice*, 39(3), 146–154.
- Litzinger, T., Lattuca, L. R., Hadgraft, R. & Newstetter, W. (2011). Engineering education and the development of expertise. *Journal of Engineering Education*, 100(1), 123–150.
- Marshall, C. & Rossman, G. B. (2014). *Designing qualitative research*. Sage publications.
- McCarthy, B. (1990). Using the 4MAT system to bring learning styles to schools. *Educational Leadership*, 48(2), 31–37.
- McCarthy, B. & McCarthy, D. (2005). *Teaching around the 4MAT\textregistered cycle: Designing instruction for diverse learners with diverse learning styles*. Corwin Press.
- McKenna, C. & Bull, J. (1999). Designing effective objective test questions: an introductory workshop. In *workshop, Computer Assisted Assessment Centre, Loughborough University, Leicestershire, UK, June* (Vol. 17).
- Melton, R. (1996). Learning outcomes for higher education: some key issues. *British Journal of Educational Studies*, 44(4), 409–425.

- Mills, J. E., Treagust, D. F. & others. (2003). Engineering education—Is problem-based or project-based learning the answer. *Australasian Journal of Engineering Education*, 3(2), 2–16.
- Toyota Lab (2017). Retrieved May 25, 2016, from <https://www.rit.edu/kgcoe/ise/toyota-lab/overview> .
- Mølstad, C. E. & Karseth, B. (2016). National curricula in Norway and Finland: The role of learning outcomes. *European Educational Research Journal*, 15(3), 329–344.
- Mora-Orozco, J., Guarín-Grisales, Á., Sauza-Bedolla, J., D'Antonio, G. & Chiabert, P. (2015). PLM in a Didactic Environment: The Path to Smart Factory. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 640–648).
- Morell, L. & Trucco, M. (2012). A Proven Model to Re-Engineer Engineering Education in Partnership with Industry. In *World Engineering Education Forum, Buenos Aires, Argentina*.
- Phase, I. & others. (2005). *Educating the engineer of 2020: Adapting engineering education to the new century*. National Academies Press.
- Pintrich, P. R. & De Groot, E. V. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 82(1), 33.
- Pintrich, P. R. & others. (1991). A manual for the use of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ).
- Pintrich, P. R., Smith, D. A., Garcia, T. & McKeachie, W. J. (1993). Reliability and predictive validity of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ). *Educational and Psychological Measurement*, 53(3), 801–813.
- Pintzos, G., Triantafyllou, C., Papakostas, N., Mourtzis, D. & Chryssolouris, G. (2016). Assembly precedence diagram generation through assembly tiers determination. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 29(10), 1045–1057.
- Porter, M. E. (2008). *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*. Simon and Schuster.
- Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223–231.
- Prøitz, T. S. (2010). Learning outcomes: What are they? Who defines them? When and where are they defined? *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 22(2), 119–137.

- Ramirez Diaz, M. H. (2010). Aplicación del sistema 4MAT en la enseñanza de la física a nivel universitario. *Revista Mexicana de Física E*, 56(1), 29–40.
- Roberts, C. (2000). A Conceptual Framework for Quantitative Text Analysis. *Quality and Quantity*, 34(3), 259–274.
- Rosado Guzmán, C., Sánchez Guzmán, D. & García Salcedo, R. (2016). Sistema 4MAT apoyado con tutores inteligentes en estudiantes de Ingeniería. *Latin-American Journal of Physics Education*, 10(1).
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., Lucio, P. B. & Pérez, M. de la L. C. (2014). *Metodología de la investigación* (Vol. 1). Mcgraw-hill México.
- Schunk, D. H., Meece, J. R. & Pintrich, P. R. (2012). *Motivation in education: Theory, research, and applications*. Pearson Higher Ed.
- Stiggins, R. & Popham, W. J. (2008). Assessing students' affect related to assessment for learning. *Assessing Student's Affect Related to Assessment for Learning*, 1–8.
- Tinoco, L. F. S., Heras, E. B., Castellar, A. H. & Zapata, L. (2011). Validación del cuestionario de motivación y estrategias de aprendizaje forma corta-MSLQ SF, en estudiantes universitarios de una institución pública-Santa Marta. *Psicogente*, 14(25).
- Tisch, M., Hertle, C., Abele, E., Metternich, J. & Tenberg, R. (2015). Learning factory design: a competency-oriented approach integrating three design levels. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 1–21.
- Tisch, M., Hertle, C., Cachay, J., Abele, E., Metternich, J. & Tenberg, R. (2013). A systematic approach on developing action-oriented, competency-based Learning Factories. *Procedia CIRP*, 7, 580–585.
- UNESCO. (2010). Engineering: Issues, Challenges and Opportunities for Development.
- Veza, I., Gjeldum, N. & Mladineo, M. (2015). Lean Learning Factory at FESB-University of Split. *Procedia CIRP*, 32, 132–137.
- Wagner, U., AlGeddawy, T., ElMaraghy, H. & Müller, E. (2012). The state-of-the-art and prospects of learning factories. *Procedia CIRP*, 3, 109–114.
- Wagner, U., AlGeddawy, T., ElMaraghy, H. & Müller, E. (2015). Developing products for changeable learning factories. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 9, 146–158.
- WorldBank. (2016). *World Development Indicators*. Manufacturing, value added (% of GDP) <http://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.MANF.ZS> .

Yin, R. K. (2013). *Case study research: Design and methods*. Sage publications.

Anexo 1. Test de estilos de aprendizaje

<p>Instrucciones: Las siguientes preguntas están diseñadas para detectar preferencias referentes a su estilo de aprendizaje. Al aprender ¿Cuál opción lo describiría mejor? Usando 4, 3, 2 y 1. Coloque 4 en la opción que mejor lo describa y 1 en la que menos lo describa. Entonces coloque las opciones 2 y 3 en los espacios restantes. Debe colocar los cuatro números. No repita o iguale opciones.</p>			
1.- Soy excelente cuando...			
tomo decisiones realistas	llego a conclusiones precisas	descubro relaciones ocultas	respeto los sentimientos de las personas
2.- Para mí, es más importante que un ambiente de aprendizaje enfaticé en : ...			
El pensamiento original y creatividad	el razonamiento lógico y el orden	La discusión y colaboración	La solución de problemas y experimentos
3.- Aprendo mejor al...			
experimentar cómo funcionan las cosas	trabajar en grupo	intuir y explorar	reflexionar y pensar
4.- La gente me identifica como una persona...			
productiva	creativa	sensible	lógica
5.- Una de mis fortalezas es...			
mi capacidad para planear	mi entusiasmo	mi practicidad	mi capacidad de escuchar
6.- Al aprender disfruto...			
explorar posibilidades ocultas	organizar ideas	crear relaciones propias	producir resultados
7.- Me esfuerzo al lograr...			
consenso	objetividad	eficiencia	originalidad
8.- Generalmente soy...			
creativo	preciso	decisivo	intuitivo
9.- Tiendo a ser...			
impulsivo	muy sensible	muy ansioso por concluir	muy crítico
10.- Generalmente soy...			
cooperativo	metódico	directo	libre

11.- Los ambientes de aprendizaje deben enfatizar...			
la solución de problemas reales	la claridad del razonamiento	el compromiso con los valores personales	la adaptación al cambio
12.- Estoy más cómodo con gente que es...			
solidaria	innovadora	productiva	racional
1	4	3	2
13.- Particularmente tengo fricciones con personas que son...			
rígidas	desorganizadas	indecisas	agresivas
4	2	3	1
14.- Generalmente ...			
soy estudioso	carismático	tengo los pies en la tierra	soy innovador
2	1	3	4
15.- Preferiría...			
hacer del mundo un lugar más feliz	adquirir conocimientos	resolver problemas prácticos	crear nuevas maneras de hacer las cosas
1	2	3	4

Link Google forms

<https://goo.gl/forms/4R0ppw5eWtaZmjwS2>

Anexo 2. Test teórico

Nombre:

código:

La razón de esta evaluación es determinar el grado de conocimiento sobre el tema de esta clase.

1. ¿Cuál es el objetivo(s) de un diagrama *And/Or*?
2. ¿Cuáles son las fases para construir el diagrama *And/ Or*?
3. ¿Que compone un diagrama *And/Or*?
4. ¿Qué es un nodo en un diagrama *And/Or*?
5. ¿Qué es un arco en un diagrama *And/Or*?
6. ¿Qué es un plan de ensamble?
7. ¿Por qué el diagrama *And /Or* puede ser útil para el diseño de un plan de ensamblé?

Anexo 3. Evaluación cualitativa

Evaluación cualitativa			
Nombre del observador			fecha
Criterio	Descripción	Grupo clase experiencial	Grupo clase magistral
1.Determinar lista de componentes (completamente, parcialmente, nada)	Mediante el proceso de desensamble el alumno debe determinar los componentes del pistón neumático y seleccionar cuales van hacer parte del diagrama and/or.		
2.Proceso para identificar los nodos (ensambles y subensambles) del pistón neumático (completamente, parcialmente, nada)	El alumno debe realizar el desensamble del producto con el objetivo de identificar los posibles estados del producto. los posibles ensambles y subensambles deben plasmarse gráficamente en el orden en que se desensambla el producto, de modo que se observen las etapas del producto. cada nodo generado debe estar enumerado.		
3.Asignación de arcos (completamente, parcialmente, nada)	Cada arco u operación se debe graficar en el diagrama and/or e identificar por medio de un número. Se debe observar el nodo saliente y los dos resultantes.		
4.Grafica del diagrama and/or (completamente, parcialmente, nada)	Antes de generar posibles secuencias de ensamble en el diagrama and/or se deben graficar todos los nodos, arcos y sus respectivos nombres. En el diagrama se deben identificar claramente la relación entre los elementos del producto		
5.Generación de secuencias de ensamble (completamente, parcialmente, nada)	El proceso de generación de secuencias debe estar guiado por el diagrama and/or. El alumno debe comenzar la secuencia con los arcos de los nodos inferiores en dirección hacia la parte superior del diagrama.		
6.Verificación de las secuencias generadas (completamente, parcialmente, nada)	El alumno debe seguir el conjunto de operaciones ordenadas que resultan a partir del diagrama and/or y determinar la factibilidad de las mismas.		

Anexo 4. Test MSLQ

El siguiente cuestionario pregunta por los hábitos de estudio, habilidades de aprendizaje y la motivación para trabajar en este curso. **NO EXISTEN RESPUESTAS CORRECTAS O INCORRECTAS. ESTO NO ES UNA EVALUACIÓN.** Nosotros queremos que respondan este cuestionario los más cocientes posibles, reflexionando sobre las actitudes para este curso. Estas respuestas serán analizadas por un grupo de trabajo y los resultados individuales serán entregados más adelante. Usa la escala que hay debajo de las preguntas y contéstalas. Si crees que el fragmento te describe muy bien, haz clic en el número 7; pero si un fragmento no te describe tan bien haz clic en el número 1. Si el fragmento te describe más o menos, encuentra un número entre el 1 y el 7 dependiendo de cuál te describa mejor.

pregunta	escala						
	1	2	3	4	5	6	7
1. En una clase como esta, prefiero recibir material que realmente contenga un desafío, ya que así puedo aprender cosas nuevas							
2. Al estudiar de manera adecuada, aprenderé los contenidos de los cursos.							
3. Al rendir un certamen, pienso sobre lo mediocre de mi desempeño en comparación con el rendimiento de mis compañeros.							
4. Lo que aprendo en una clase lo podré utilizar en otras							
5. Creo que recibiré una excelente nota en esta clase.							
6. Estoy seguro que podré comprender los contenidos más difíciles presentados en las lecturas que me asignan.							
7. Obtener buenas notas en clases es lo que más me satisface en estos momentos.							
8. Al rendir un certamen, pienso en las preguntas que no podré contestar							
9. El no aprender los contenidos es de mi exclusiva responsabilidad							
10. Es de importancia para mí aprender los contenidos que se imparten en los cursos							
11. En estos momentos, lo más importante para mí es obtener buenas notas para mejorar mi promedio							
12. Confío en que entenderé los conceptos básicos enseñados en clases.							
13. Me gustaría obtener mejores notas que las de mis compañeros.							
14. Cuando rindo un certamen, pienso en las consecuencias de mi fracaso.							
15. Confío en que entenderé los conceptos más complejos presentados por los profesores, en cada clase.							

16. En una clase como esta, prefiero recibir material que aumente mi curiosidad, incluso si es difícil de aprender.									
17. Me interesan los contenidos de las clases.									
18. Al esforzarme lo suficiente, entenderé los contenidos de las clases									
19. Al rendir un certamen siento una sensación incomoda que me hace sentir mal.									
20. Confió en que haré un excelente trabajo con las tareas y pruebas de cada curso.									
21. Confió en que me irá bien en las clases									
22. Lo que más me satisface de esta clase es tratar de entender el contenido de la manera más profunda posible.									
23. Considero provechoso el contenido de las clases porque me permite aprender									
24. Cuando tengo la oportunidad, elijo tareas de las cuales pueda aprender, a pesar de no estar seguro si obtendré un buen rendimiento.									
25. Cuando no entiendo los contenidos del curso es porque no estudie lo suficiente.									
26. Me gusta el contenido del curso.									
27. Entender el contenido del curso es muy importante para mí									
28. Al rendir un certamen, siento que mi corazón se acelera.									
29. Confió en que podré dominar las destrezas enseñadas en clases.									
30. Quiero que todo me salga bien en clases porque para mí es importante que los demás reconozcan mis habilidades.									
31. Creo que tendré éxito en esta clase, incluso si considero la dificultad del curso, el profesor y mis habilidades									

Link google forms

<https://goo.gl/forms/9196HcSzSFhGHGOh1>

Anexo 5. Artículos incluidos en la investigación

#	Nombre
1	<u>Learning Factory - a new approach to integrating design and manufacturing into engineering curricula</u>
2	<u>Design of a skill-based course focused on student outcomes: A partnership template</u>
3	<u>Education within a learning factory at Pratt & Whitney and WPI</u>
4	<u>The learning factory of the manufacturing educational program</u>
5	<u>Document Learning factory: experimenting with adaptable production in Finnish engineering workshops</u>
6	<u>Education within a learning factory at Pratt & Whitney and WPI</u>
7	<u>Teaching fixturing for manufacturing processes within the learning factory between Worcester polytechnic institute and pratt & whitney</u>
8	<u>Summative assessment strategy for a multi-institutional, multi-task project: The case of Manufacturing Engineering Education Partnership</u>
9	<u>Learning Factory - a new approach to integrating design and manufacturing into the engineering curriculum</u>
10	<u>Educational program in product realization</u>
11	<u>Making a partnership work: Outcomes assessment of a multi-task, multi-institutional project</u>
12	<u>Industry-based projects in academia - what works and what doesn't</u>
13	<u>Manufacturing engineering education partnership program outcomes assessment results</u>

14	<u>Integrated learning factory: an educational paradigm's first year of operation'</u>
15	<u>Some assessment tools for evaluating curricular innovations outcomes</u>
16	<u>Developing and assessing teamwork skills in a multi-disciplinary course</u>
17	<u>DocumentSupport structure of teaching engineering design to freshman students</u>
18	<u>Learning factory or adapting Harry Potter?</u>
19	<u>Remote sensing and GIS Option: Integrating research and the learning factory model</u>
20	<u>Learning by doing: Integrating undergraduate research and the remote sensing & GIS curriculum</u>
21	<u>Design and implementation of the Computer Integrated Engineering Enterprise (CIEE) - The learning factory at Robert Morris College</u>
22	<u>Closing competency gaps in manufacturing through student learning factories - One approach</u>
23	<u>Development in the learning factory: Training human capital</u>
24	<u>Organizing for continuous improvement: Structures and roles in automotive components plants</u>
25	<u>DocumentInternational strategic alliances to strengthen engineering education: Beyond the learning factory</u>
26	<u>Adapting the learning factory model for implementation in a laboratory</u>
27	<u>Adaptation of the Learning Factory model for implementation in a manufacturing laboratory</u>
28	<u>HRM in support of the learning factory: Evidence from the US and UK automotive components industries</u>

29	<u>Implementing the Learning Factory model in a laboratory setting</u>
30	<u>Educational perspective on manufacturing automation and globalization challenges</u>
31	<u>Delivering the "learning factory"?: Evidence on HR roles in contemporary manufacturing</u>
32	<u>The reincarnation of the engineering "shop"</u>
33	<u>Technical University Darmstadt and McKinsey operate learning factory for production processes. With methods which increase productivity [TU Darmstadt und McKinsey betreiben Lernfabrik für Produktionsprozesse. Mit Methode die Produktivität Steigern]</u>
34	<u>DocumentInnovative learning environment: Learning factory for advanced industrial engineering</u>
35	<u>The learning factory: Industry-partnered active learning</u>
36	<u>Adapting learning factory concepts towards integrated manufacturing education</u>
37	<u>Manufacturing process planning for the learning factory [Fertigungsprozessplanung für die Lernende Fabrik]</u>
38	<u>The learning factory</u>
39	<u>Introducing a flexible adaptation framework for implementing 'Learning Factory' - Based manufacturing education</u>
40	<u>Utilizing robotics in teaching microcontroller programming to manufacturing engineering students</u>
41	<u>Educating engineers for multiscale systems design in a global economy: The Technology Leaders program</u>
42	<u>Industrial engineers and production manager trained for new tasks [Arbeitsvorbereiter und produktionsleiter richtig qualifizieren: Lernfabrik - Advanced industrial engineering]</u>
43	<u>Active learning in manufacturing engineering programs</u>
44	<u>Setting up a virtual factory based on 3D internet platforms</u>
45	<u>Closing the competency gap in manufacturing processes as it applies to new engineering graduates</u>

46	<u>Maintaining competitiveness of production location in Germany: Process learning factories qualify employees [Prozesslernfabriken qualifizieren Mitarbeiter]</u>
47	<u>New certificate course for sustainable production planning: Practical advanced education in the learning factory [Neuer zertifikatskurs für nachhaltige produktionsplanung: Praxisnahe fortbildung in der lernfabrik]</u>
48	<u>Implementing an interdisciplinary engineering program - Recruiting students, building courses, developing a community</u>
49	<u>Production skills development in learning factories [Kompetenzentwicklung in Lernfabriken für die Produktion]</u>
50	<u>Energy value stream [Energiewertstrom]</u>
51	<u>Configuration and structure of the IFF learning factory Advanced Industrial Engineering</u>
52	<u>SustainIT: Engineering curriculum innovation in the sustainability age</u>
53	<u>Transparency in manufacturing through visualization: Stabilizing processes and successfully reacting to turbulences [Transparenz in der Fertigung durch Visualisierung: Prozesse stabilisieren und erfolgreich auf Turbulenzen reagieren]</u>
54	<u>Manufacturing integrated learning laboratory (MILL): A framework for determination of core learning outcomes in engineering curricula</u>
55	<u>Manufacturing Integrated Learning Lab (Mill): A curriculum model for hands-on manufacturing education</u>
56	<u>Learning plattform - a new dimension to learn about lean processes [Lernplattform: Eine neue dimension des Lernens von schlanken Abläufen]</u>
57	<u>Modeling of capacity of milkrun processes in lean production by material flow simulation [Materialflusssimulation in der schlanken Produktion]</u>
58	<u>A new generation of learning factories: Development of systematics for the efficient design of learning factories [Lernfabriken einer Neuen Generation: Entwicklung einer Systematik zur Effizienten Gestaltung von Lernfabriken]</u>
59	<u>A proven model to re-engineer engineering education in partnership with industry</u>
60	<u>Enhancing students learning through MILL concept</u>

61	<u>The state-of-the-art and prospects of learning factories</u>
62	<u>Developing competencies for continuous improvement processes on the shop floor through learning factories - Conceptual design and empirical validation</u>
63	<u>An engineering curriculum track for IT for sustainability</u>
64	<u>The "learning factory": An immersive learning environment for comprehensive and lasting education in industrial engineering</u>
65	<u>Driving entrepreneurial innovation through the Learning Factory: The power of interdisciplinary capstone design projects</u>
66	<u>V-learn-fact: A new approach for teaching manufacturing and design to mechanical engineering students</u>
67	<u>V-learn-fact: A new approach for teaching manufacturing and design to mechanical engineering students</u>
68	<u>Hands-on logistics [Logistik zum Anfassen]</u>
69	<u>A systematic approach on developing action-oriented, competency-based Learning Factories</u>
70	<u>Integrating engineering and arts through capstone design: Creative campus meets the learning factory</u>
71	<u>Learning factory for resource efficiency - Practical education in the context of resource efficiency [Lernfabrik für Ressourceneffizienz - Praxisnahe und -gerechte Bildung im Kontext der Ressourceneffizienz]</u>
72	<u>Integration university-industry: Laboratory model for learning Lean Manufacturing concepts in the academic and industrial environments</u>
73	<u>Product family design for changeable learning factories</u>
74	<u>Learning factories for sustainable manufacturing – A generic design approach</u>
75	<u>Holistic learning factories - A concept to train lean management, resource efficiency as well as management and organization improvement skills</u>

76	<u>Learning factories as enablers of a smart production</u>
77	<u>Virtual learning factory on VR-supported factory planning</u>
78	<u>Mini-factory - A learning factory concept for students and small and medium sized enterprises</u>
79	<u>Integrative Product Creation - Results from a new course in a learning factory</u>
80	<u>Developing an ambient assisted living environment applying the advanced Learning Factory (aLF) A conceptual approach for the practical use in the research project A2LICE</u>
81	<u>Efficient empowerment of engineering knowledge transfer for a sustainable global economy</u>
82	<u>Evaluation of work measurement concepts for a cellular manufacturing reference line to enable low cost automation for lean machining</u>
83	<u>Learning factories for research, education, and training</u>
84	<u>Multimedia support for learning factories</u>
85	<u>Advanced learning factory (aLF) -method, implementation and evaluation</u>
86	<u>Learning factory 2.0 -integrated view of product development and production</u>
87	<u>Learning factory on global production</u>
88	<u>Lean learning factory at FESB - University of Split</u>
89	<u>Learning factories and their enhancements - A comprehensive training concept to increase resource efficiency</u>
90	<u>Industry 4.0 learning factory for regional SMEs</u>
91	<u>Cyber-physical production systems combined with logistic models-a learning factory concept for an improved production planning and control</u>
92	<u>Learning factory for management, organization and workers' participation</u>
93	<u>Project-based learning in production engineering at the heilbronn learning factory</u>

94	<u>Competence development for collaborative work systems in learning factories</u>
95	<u>Competence development for the holistic design of collaborative work systems in the logistics learning factory</u>
96	<u>Holistic approach of lean thinking in learning factories</u>
97	<u>Learning factory morphology – Study of form and structure of an innovative learning approach in the manufacturing domain</u>
98	<u>Learning factory morphology – Study of form and structure of an innovative learning approach in the manufacturing domain</u>
99	<u>Green factories Bavaria: A network of distributed learning factories for energy efficient production</u>
100	<u>Die lernfabrik-research-based learning for sustainable production engineering</u>
101	<u>Learning integrated product and manufacturing systems</u>
102	<u>Competency-oriented design of learning modules</u>
103	<u>Guideline-based video analysis of competencies for a target-oriented continuous improvement process</u>
104	<u>The hoshin kanri tree. Cross-plant lean shopfloor management</u>
105	<u>Value stream management in the lean manufacturing laboratory</u>
106	<u>Lean management – Not just a theory [Lean management – Von der theorie zur praxis]</u>
107	<u>An interdisciplinary and hands-on learning approach for industrial assembly systems</u>
108	<u>Learning factory design: a competency-oriented approach integrating three design levels</u>

109	<u>Developing products for changeable learning factories</u>
110	<u>A framework for modelling reconfigurable manufacturing systems using hybridized Discrete-Event and Agent-based simulation</u>
111	<u>Auto-associative extreme learning factory as a single class classifier</u>
112	<u>Learning factory for resource efficiency [Lernfabrik für ressourceneffizienz: Aktives training in einer realen produktionsumgebung für studierende und unternehmer-/innen]</u>
113	<u>Prototype of a new learning factory - An educational approach to integrate production and product development</u>
114	<u>Sustainable Manufacturing in Vietnamese Engineering Education - Approaches from the Vietnamese-German University</u>
115	<u>Overall Commissioning Effectiveness: Systematic Identification of Value-added Shares in Material Supply</u>
116	<u>Document Learning factories for open schooling and collaboration on science education</u>

Anexo 6. Presupuesto inicial

Proveedor en Estados Unidos



3 Lakeland Park Drive
Peabody, MA 01960

Phone # WS 978-536-5000 - QS 978-536-9992 Fax # 978-536-5055

Quote

Date	2/11/2016
------	-----------

Name / Address
EAFIT

FOB	COLLECT
Quote #	10071
Lead Time	6-8 WEEKS
Terms	TBD
Quote Valid Until	2/11/2016

Qty	Item	Description	Unit Cost	Total
4	80316	90 Deg Curved Workstation 18" Standing w/Rtn Worker Inside Radius	1,770.00	7,080.00T
2	80030	Fleximate Integrated Workstation Small Standing Hgt w/Rtn Track	918.00	1,836.00T
2	80039	Flowmate Workstation Small Standing Hgt w/Rtn Track	1,183.00	2,366.00T
1	80015	Straight Track Section 18" Standing Hgt w/Rtn	604.00	604.00T
1	60007	Gate 18" Standing Height w/ Rtn	914.00	914.00T
9	80029RT	18" Cart with Rotating Plate Top	437.00	3,933.00T
9	90083-18	18" STRICKER BAR BRACKET ASSEMBLY	48.00	432.00T
8	30010	Spring Loaded Pneumatic Brake	419.00	3,352.00T
8	30001	Friction Brake Assembly	65.00	520.00T
1	50001	Cart Lift Elevator System (lift & lower)	18,284.00	18,284.00T
8	90041	Tool Trolley Assembly	26.00	208.00T
8	90042	Tool Hanger Assembly	12.00	96.00T
8	90076	Status Light Assembly	384.00	3,072.00T
8	90037-LED	LED Light Assembly	200.00	1,600.00T
24	90045	Document Clip Assembly	14.00	336.00T
8	90043	Tool Holster Assembly	23.00	184.00T
8	90077	Vesa Mount	45.00	360.00T
16	90031	Small Bin Rail Assembly	36.00	576.00T
16	90016	Large Half Tier Assembly	30.00	480.00T
Total				



Quote

3 Lakeland Park Drive
Peabody, MA 01960

Date	2/11/2016
------	-----------

Phone # WS 978-536-5000 - QS 978-536-9992 Fax # 978-536-5055

Name / Address
EAFIT

FOB	COLLECT
Quote #	10071
Lead Time	6-8 WEEKS
Terms	TBD
Quote Valid Until	2/11/2016

Qty	Item	Description	Unit Cost	Total
8	90038	Small Outlet Strip Assembly	55.00	440.00T
8	90032	Large Bin Rail Assembly	50.00	400.00T
8	90012	Small Full Tier Assembly	41.00	328.00T
32	90275	5" Total Lock Caster	30.00	960.00T
		Sales Tax	0.00%	0.00
			Total	\$48,361.00

Presupuesto proveedor nacional

Oferta 057-2016

Señores

UNIVERSIDAD EAFIT

Atn.: Doctor Álvaro de Jesús Guarín Grisales

Asunto: Oferta Integrada – Líneas de Ensamble y Manufactura

Saludos cordiales,

A continuación presentamos la oferta integrada para las fabricaciones de la "Línea de Ensamble" (compuesta por 7 módulos) y la "Línea de Manufactura" (compuesta por 4 módulos), diseñadas de acuerdo con los requerimientos y necesidades del Departamento de Ingeniería de Producción de la Universidad EAFIT:

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Módulos de Ensamble	7	\$ 13'306.753	\$ 93'147.271
Módulos de Manufactura	4	\$ 3'021.778	\$ 12'087.112
Tablet	7	\$ 1'625.000	\$ 11'375.000
Atornilladores	7	\$ 1'602.273	\$ 11'215.911
Subtotal			\$ 127'825.294
Descuento paquete 6%			\$ 7'669.518
Total proyecto			\$ 120'155.776

Anexo 7. Libro guía 4MAT

1. CONECTAR: Crear una experiencia:
Lista de materiales
Lista de operaciones
“ensambles y subensambles”
Una secuencia grafica

2. PONER ATENCION: Reflexionar y analizar.
¿Qué ensambles identifico?
¿Cuál es el ensamble que más operaciones requiere?
¿Cuál es la operación con mayor grado de dificultad?
¿Cuáles procesos/operaciones se deben hacer primero que otros (2 ejemplos)?
¿de cuantas maneras se puede ensamblar el lego?

3. IMAGEN: Integrar el análisis en conceptos

Ensamblar una bicicleta

Realizar un viaje

Lavar el carro

4. INFORMAR: Aprender los conceptos y habilidades

Notas de clase:

5.PRACTICA: practicar del modo definido.

Secuencias

5.PRACTICA: practicar del modo definido.

Lista de componentes y cálculo del número de nodos

Diagrama And/Or

6. EXTENDER: practicar y agregar algo propio.

Proyecto pistón

- 1.lista de partes.
- 1.Calculo # nodos.

Diagrama *And/Or*:

- 2.. Nodos (Ensamblajes y subensamblajes) 3. Arcos (operaciones)
- 4. generar 3 propuestas de secuencias de ensamble para el pistón.

7.REFINAR: analizar la utilidad y relevancia de lo aplicado.

8.EXTENDER:hacer y aplicar experiencias nuevas y más complejas.

Evaluación Proyecto pistón

(1 bajo-2 medio- 3alto)

- Se identificaron claramente los ensamblajes y subensamblajes del pistón.
- Se identificó claramente las operaciones para ensamblar el pistón.
- Se evidencia una correcta aplicación del diagrama And/Or.
- Las secuencias propuestas son lógicas y factibles.
- El expositor comunica claramente sus ideas.

Comentarios: