



Universidad de Valladolid



Escuela de Ingenierías Industriales



TRABAJO FIN DE MASTER

Análisis de las “Lean Learning Factories” del mundo

Autor: Lorena Alonso Laguna

Tutor: Ángel Manuel Gento Muncio

Valladolid, enero de 2021



Resumen

A lo largo de este Trabajo de Fin de Master se exponen las principales Lean Learning Factories que hay en el mundo, con el fin de establecer un análisis y clasificación de cada una de ellas y contar así con una visión de global de estas de escuelas de aprendizaje activo.

El proyecto se inicia estableciendo una definición de la filosofía lean, cuál es su origen y sus principales características, así como un análisis de las herramientas Lean que pueden aplicarse en las empresas para conseguir optimizar la producción. Además, se realiza un estudio del concepto de Learning Factory, teniendo en cuenta sus ámbitos de aplicación, sus dimensiones, la parte del proceso productivo en el que se centran... También se tienen en cuenta las Learning Factories digitales, estableciendo una comparación entre estas y las físicas.

Posteriormente, tras haber realizado el enfoque teórico del proyecto, se expone la idea práctica, enfocada a las Lean Learning Factories, haciendo un análisis de todas las que podemos encontrarnos a nivel mundial y estableciendo una clasificación común de todas ellas, teniendo en cuenta su tamaño, sus dimensiones, enfoque, sus principales características y los cursos formativos que se llevan a cabo en cada una de ellas.



Abstract

In this Master's Thesis, the main Lean Learning Factories in the world are exposed, in order to establish an analysis and classification of each one of them and have a global vision of these schools of active learning.

The project begins by establishing a definition of the lean philosophy, what is its origin and its main characteristics, as well as an analysis of the Lean tools that can be applied in companies to optimize production. In addition, a study of the concept of Learning Factory is carried out, taking into account its fields of application, its dimensions, the part of the production process in which they focus ... Digital Learning Factories are also taken into account, establishing a comparison between these and the physical ones.

Then, after having carried out the theoretical approach of the project, the practical idea is presented, focused on the Lean Learning Factories, making an analysis of all that we can find worldwide and establishing a common classification of all of them, taking into account their size , dimensions, approach, its main characteristics and the training courses carried out in each of the



Agradecer a mi tutor el tiempo que ha invertido en este
proyecto y a mi familia por su apoyo constante.

Índice

Resumen	ii
Abstract	iii
Índice	vi
Índice de Figuras	xii
Índice de Tablas	xv
Abreviaturas	xvi
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. <i>ESTRUCTURA</i>	2
1.2. <i>OBJETIVOS</i>	2
Capítulo 2. Filosofía Lean	4
2.1. <i>CONCEPTO</i>	4
2.2. <i>ANTECEDENTES HISTORICOS</i>	5
2.3. <i>PRINCIPIOS LEAN</i>	7
2.3.1. <i>DEFINIR EL VALOR</i>	7
2.3.2. <i>IDENTIFICAR EL FLUJO DE VALOR</i>	8
2.3.3. <i>FLUJO CONTINUO Y EQUILIBRADO</i>	9
2.3.4. <i>SISTEMA PULL</i>	9
2.3.5. <i>MEJORA CONTINUA Y PERFECCIÓN</i>	10
2.4. <i>TIPOS DE DESPILFARROS</i>	11
2.4.1. <i>MURI (sobrecarga)</i>	11
2.4.2. <i>MURA (variabilidad)</i>	11
2.4.3. <i>MUDA (desperdicio): LOS 7 MUDAS</i>	11
2.5. <i>ESTRUCTURA Y HERRAMIENTAS LEAN</i>	13
2.5.1. <i>5S</i>	15



2.5.2.	SMED.....	19
2.5.3.	MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM).....	21
2.5.4.	KANBAN.....	25
2.5.5.	VALUE STREAM MAPPING (VSM).....	27
2.5.6.	CONTROL VISUAL.....	29
2.5.7.	SISTEMAS DE PARTICIPACION DE PERSONAL (SPP).....	31
2.5.8.	KAIZEN O MEJORA CONTINUA.....	33
2.5.9.	ESTANDARIZACIÓN.....	33
2.5.10.	TÉCNICAS DE CALIDAD.....	34
2.5.11.	JIDOKA.....	35
2.5.12.	HEIJUNKA.....	36
Capítulo 3.	Learning Factory.....	39
3.1.	CONCEPTO.....	39
3.2.	ORIGEN Y EVOLUCIÓN.....	40
3.2.1.	UNIVERSIDAD DE PENNSILVANIA:.....	42
3.2.2.	UNIVERSIDAD DE WASHINGTON.....	43
3.2.3.	UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO EN MAYAGÜEZ.....	44
3.3.	APRENDIZAJE ACTIVO.....	45
3.3.1.	TIPOS DE APRENDIZAJE ACTIVO.....	46
3.3.2.	B ^{OS} DEL APRENDIZAJE A TRAVÉS DE LA EXPERIENCIA.....	49
3.4.	ESCENARIOS DE APLICACIÓN DE LAS LEARNING FACTORIES.....	51
3.4.1.	LEARNING FACTORIES EN EDUCACIÓN.....	51
3.4.2.	LEARNING FACTORIES EN FORMACIÓN.....	52
3.4.3.	LEARNING FACTORIES EN INVESTIGACIÓN.....	53
3.5.	DIMENSIONES DE LAS LEARNING FACTORY.....	54
3.6.	CONTENIDO DE LAS LEARNING FACTORIES.....	59

3.7. LEARNING FACTORIES DIGITALES	60
3.8. CÓMO IMPLANTAR UNA FACTORIA DE APRENDIZAJE.....	62
Capítulo 4. Lean Learning Factories.....	64
4.1. AUTFAV (Alemania).....	64
4.2. DFA DEMONSTRATION FACTORY (Alemania).....	68
4.3. DIE LERNFABRIK (Alemania).....	70
4.4. E DRIVE-CENTER (Alemania).....	72
4.5. WERK150 (Alemania).....	75
4.6. FESTO DIDACTIC (Alemania).....	77
4.7. FESTO LEARNING FACTORY (Alemania).....	79
4.8. IFA LERNING FACTORY (Alemania).....	81
4.9. INTEGRATED LEARNING FACTORY (Alemania).....	83
4.10. LEAN-Factory(Alemania).....	86
4.11. LEARNING FACTORY AIE (Alemania).....	88
4.12. ELECTRONICS PRODUCTION (Alemania).....	90
4.13. LF PARA LA INNOVACIÓN, LA FABRICACIÓN Y LA COOPERACIÓN (Alemania).....	93
4.14. LF FOR GLOBAL PRODUCTION (Alemania).....	95
4.15. LSP - LF FOR LEAN PRODUCTION (Alemania).....	98
4.16. LVP - LF PARA LA PRODUCCIÓN EN RED (Alemania).....	100
4.17. LPS LEARNIN FACTORY (Alemania).....	103
4.18. MAN LEARNING FACTORY (Alemania).....	105
4.19. MPS LERNPLATTFORM (Alemania).....	107
4.20. PROCESS LEARNING FACTORY CIP (Alemania).....	108
4.21. SMART FACTORY – KL (Alemania).....	110
4.22. VPS CENTER OF THE PRODUCTION ACADEMY (Alemania).....	112
4.23. LIF LEARNING AND INNOVATION FACTORY (Austria).....	115



4.24. PILOT FACTORY INDUSTRIE 4.0 (Austria)	116
4.25. IFACTORY (Canadá).....	119
4.26. MTA SZTAKI LEARNING FACTRY (Hungría).....	121
4.27. SMART FACTORY (Hungría).....	124
4.28. SMART MINI FACTORY (Italia)	126
4.29. LMS FACTORY (Grecia)	128
4.30. TEACHING FACTORY (Grecia)	130
Capítulo 5. Otras Lean Learning Factories	133
5.1. MODEL FACTORY @ SIMTECH (Singapur)	133
5.2. ESCUELA LEAN RENAULT CONSULTING (España).....	135
5.3. LEGO FACTORY (Italia).....	137
5.4. LEAN LAB (Noruega)	138
5.5. LEAN FACTORY GROUP (Vietnam).....	139
5.6. LEAN LEARNING FACTORY (Rumanía).....	141
5.7. FIM LEARNING FACTORY (Malasia)	142
5.8. FSRE LEARNING FACTORY (Bosnia y Herzegovina).....	144
5.9. LEAD FACTORY (Austria).....	145
5.10. IDEALAB (Noruega)	147
5.11. STELLENBOSCH LEARNING FACTORY (SLF) (Sudáfrica)	148
5.12. SEPT LEARNING FACTORY (Canadá).....	149
5.13. FEBS LEAN LEARNING FACTORY (Croacia).....	150
5.14. i-FAB (Italia).....	152
Capítulo 6. Estudio económico	154
6.1. PERSONAL IMPLICADO	154
6.2. FASES DE DESARROLLO	155
6.3. ESTUDIO ECONÓMICO	156

Índice

6.3.1. DÍAS Y HORAS DE TRABAJO	156
6.3.2. COSTE DE PERSONAL.....	159
6.3.3. COSTE DEL MATERIAL CONSUMIBLE.....	160
6.3.4. COSTES DEL EQUIPO INFORMÁTICO.....	161
6.3.5. COSTES INDIRECTOS	162
6.3.6. COSTES DE CADA FASE	162
6.3.7. COSTES TOTALES	167
Conclusiones.....	168
Referencias	171



Índice de Figuras

<i>Figura 2.1 Estudio 300 empresas (Aberdeen Group, 2004)</i>	5
<i>Figura 2.2 Diferencia entre sistema Push y Pull</i>	10
<i>Figura 2.4 Casa Toyota (JC Hernández, 2013)</i>	14
<i>Figura 2.5 Las 5S (Elaboración propia)</i>	15
<i>Figura 2.6 Tarjeta de clasificación de elementos (JC Hernández, 2013)</i>	16
<i>Figura 2.7 Separar elementos necesarios de innecesarios (Madariaga, 2019)</i>	17
<i>Figura 2.8 Reducción de movimientos (Madariaga, 2013)</i>	21
<i>Figura 2.9 Mantenimiento autónomo (Madariaga, 2013)</i>	24
<i>Figura 2.10 Tarjeta Kanban de producción</i>	25
<i>Figura 2.11 Tarjeta Kanban de transporte</i>	26
<i>Figura 2.12 Proceso productivo con tarjetas Kanban</i>	26
<i>Figura 2. 13 Ejemplo de VSM (B. Salazar López, 2019)</i>	29
<i>Figura 2. 14 Control Visual (B. Salazar López, 2019)</i>	30
<i>Figura 2.15 Tablero de resultados (B. Salazar López, 2019)</i>	31
<i>Figura 2.16 Ciclo PDCA (elaboración propia)</i>	35
<i>Figura 2. 17 Célula de trabajo (Actioglobal Team, 2014)</i>	37
<i>Figura 2. 18 Fabricación Lean (Marchwinski et al., 2003)</i>	38
<i>Figura 4.1 Estaciones de trabajo de AutFav (doc)</i>	67
<i>Figura 4.2 Productos de la Demonstration Factory DFA (E. Abele, 2018)</i>	69
<i>Figura 4.3 Producción de coches eléctricos en E Drive Center (FAPS, 2019)</i>	74
<i>Figura 4.4 Cilindro de simple efecto, Deskset y dispositivo electrónico (E. Abele, 2018)</i>	79
<i>Figura 4.5 Modelo de helicóptero de IFA y sus variantes (E. Abele, 2018)</i>	83



<i>Figura 4.6 Prototipo y producto diseñado en la LPS Learning Factory (E. Abele, 2018)</i>	85
<i>Figura 4.7 Diseño del proceso de producción de LEAN Factory (E. Abele, 2018)</i>	88
<i>Figura 4.8 Prototipo de LF aIE (Festo Didactics)</i>	90
<i>Figura 4.9 MIDSTER de la Electronics Production (E. Abele, 2018)</i>	92
<i>Figura 4.10 Instalaciones de la Learning Factory (E. Abele, 2018)</i>	94
<i>Figura 4.11 Cadena del proceso del producto (G. Lanza, 2015)</i>	97
<i>Figura 4.12 Instalaciones de LSP (E. Abele, 2018)</i>	99
<i>Figura 4.13 RC Car de LVP (L. Merkel, 2017)</i>	102
<i>Figura 4.14 Productos de la LPS Learning factory (E. Abele, 2018)</i>	104
<i>Figura 4.15 Áreas de MAN Learning Factory (E. Aele, 2018)</i>	106
<i>Figura 4.16 Productos producidos en Process Learning Factory Cip (E. Abele, 2018)</i>	110
<i>Figura 4.17 Planta de Producción de Industria 4.0 Smart Factory KL (Smart Factory)</i>	112
<i>Figura 4.18 Uso de la Realidad Aumentada en VPS Center (E. Abele, 2018)</i>	114
<i>Figura 4.19 Slot Car de LIF (TU Wien)</i>	116
<i>Figura 4.20 Impresora 3D de PF (E. Abele, 2018)</i>	118
<i>Figura 4.21 Módulos de la iFactory (E. Abele, 2018)</i>	120
<i>Figura 4.22 Robot colaborativo HRC (E. Abele, 2018)</i>	123
<i>Figura 4.23 Estructura de la Smart Factory (E. Abele, 2018)</i>	125
<i>Figura 4.24 Cilindro neumático y llave de impacto neumático (E. Abele, 2018)</i>	128
<i>Figura 4.25 Producción del RC Car en LMS (E. Abele, 2018)</i>	130
<i>Figura 4.26 Modo de aprendizaje Factory-yo-classroom (E. Abele, 2018)</i>	132
<i>Figura 5.1 Model Factory @ SIMTech (Agency for Science, Singapore)</i>	134
<i>Figura 5.2 Layout de la Escuela Lean (A. Gento, 2020)</i>	135
<i>Figura 5.3 Coche y Solectrón (Escuela Lean)</i>	136

Índice de Figuras

<i>Figura 5.4 Elementos de una estación de trabajo LEGO (G. Lugaresi, 2020)</i>	<i>137</i>
<i>Figura 5.5 Casa de madera diseñada en Lean Lab (Lean Lab)</i>	<i>139</i>
<i>Figura 5.6 Línea de producción de Lean Factory Group (Lean Factory Group)</i>	<i>140</i>
<i>Figura 5.7 Volante diseñado en la Lean Learning Factory (E.L. Nitu, 2019)</i>	<i>1422</i>
<i>Figura 5.8 Línea de producción de FIM Learning Factory (M.G. Maarof, 2019)</i>	<i>143</i>
<i>Figura 5.9 Plataforma Elevadora en diseño 3D y real (Z. Stojkic, 2019)</i>	<i>145</i>
<i>Figura 5.10 Scooter fabricado en LEAD Factory (IIM Graz)</i>	<i>146</i>
<i>Figura 5.11 Vagon de conducción y de pasajeros de SLF (D. Hagedorn-Hansen, 2017)</i>	<i>149</i>
<i>Figura 5.12 Karet producido en FESB (J.M. Martin, 2016)</i>	<i>151</i>
<i>Figura 5.13 Futbolines ensamblados en i-Fb (iFab)</i>	<i>152</i>



Índice de Tablas

<i>Tabla 2.1 Origen y evolución de los principios Lean (JC Hernández, 2013)</i>	6
<i>Tabla 2.2 Pérdidas (JC Hernández, 2013)</i>	23
<i>Tabla 2.3 Cálculo de Takt Time (Madariaga, 2019)</i>	38
<i>Tabla 3.1 Dimensiones de las Learning Factories según sus características</i>	55
<i>Tabla 3.2 Comparativa entre Learning Factories digitales y físicas (A. Haguigui)</i>	62
<i>Tabla 6.1 Días y horas dedicadas a cada fase del proyecto</i>	156
<i>Tabla 6.2. Distribución de las fases del proyecto en las semanas de trabajo</i>	157
<i>Tabla 6.3 Porcentaje de horas de cada fase respecto de las horas totales del proyecto</i>	157
<i>Tabla 6.4 Horas de cada persona implicada dedicadas a cada fase</i>	158
<i>Tabla 6.5 Costes de personal</i>	159
<i>Tabla 6.6 Coste del personal en cada fase</i>	160
<i>Tabla 6.7 Coste de material consumible</i>	1600
<i>Tabla 6.8 Coste del equipo informático</i>	161
<i>Tabla 6.9 Amortización del equipo informático</i>	161
<i>Tabla 6.10 Costes indirectos</i>	162
<i>Tabla 6.11 Costes de la Fase 1: Búsqueda de información</i>	163
<i>Tabla 6.12 Costes de la Fase 2: Análisis de la información</i>	164
<i>Tabla 6.13 Costes de la Fase 3: Desarrollo del Proyecto</i>	165
<i>Tabla 6.14 Costes de la Fase 4: Presentación</i>	166
<i>Tabla 6.15 Coste total del Proyecto</i>	167

Abreviaturas

ASEE: American Society of Engineering Education

ERP: Enterprise Resource Planning

EII: Escuela de Ingenierías Industriales

FAPS: Factory Automation and Production Systems

GAP: Grupos Autónomos de Producción

GMP: Goog Manufacturing Practice

HMI: Human-Machine interface

IT: Information Technology

IELF: Initiative on European Learning Factories

JIT: Just In Time

JWO: Japanese Work Organization

LF: Learning Factory

LMS: Learning Management System

MAQ: Matriz de Autocalidad

MPS: Modular Production System

NSF: National Science Fundation

OEE: Overall Equipment Effectiveness

PCB: placas de circuito impreso

PDCA: Plan, Do, Control and Act

PLC: Programmer Logic Controller

PPC: Production Planning and Control

SMED: Single-Minute Exchange of Dies

SMT: Surface-Mount technology



SPP: Sistemas de Participación de Personal

TPM: Total Productive Maintenance

TPS: Toyota Production System

VSM: Value Stream Mapping



Capítulo 1. Introducción

A lo largo del tiempo, el ámbito industrial ha sufrido numerosos cambios y evoluciones con el fin de irse adaptando a las novedades económicas y sociales. Por el contrario, la educación es un campo que siempre ha tenido las mismas líneas de formación, sin haberse adaptado a los cambios necesarios para optimizar la enseñanza.

La manera de enseñar no ha visto variaciones desde la Revolución Industrial, ya que los alumnos eran simples espectadores que se limitaban a escuchar las lecciones que impartían los profesores en el aula. De esta manera conseguían formar a futuros empleados de fábricas, donde solamente tenían una función y no se les permitía pensar ni aportar soluciones a problemas, simplemente realizar su trabajo como su superior hubiera estipulado.

Fue durante la Primera Guerra Mundial cuando comenzó a desarrollarse el concepto de Learning Factory, ya que se puso en marcha una fábrica en el Instituto de Loughborough que formaba a los trabajadores para producir instrumentos de guerra.

Hoy en día el concepto de aprendizaje ha ido evolucionando, ya que cada vez son más las universidades, sobre todo del ámbito de la ingeniería, donde los alumnos también reciben una formación práctica en las Learning Factories, permitiéndoles de esta forma aplicar los conocimientos teóricos adquiridos antes de salir a las fábricas reales.

Además de las fábricas de aprendizaje físicas, también han cobrado importancia las fábricas digitales, incluso una combinación de ambas. Estas Learning Factories cuentan con numerosos beneficios, como el ahorro en infraestructuras y la no limitación de tiempo ni de número de alumnos.

Por otro lado, la filosofía Lean que se desarrolló en la fábrica japonesa Toyota, ya es esencial en la mayoría de las fábricas, puesto que la aplicación de sus herramientas permite optimizar los procesos y los recursos, tanto humanos como materiales.

Es por ello que la mayoría de las Learning Factories se basan en aplicar las herramientas lean, puesto que es lo más demandado por las empresas y en muchas ocasiones también utilizan estas instalaciones para aportar una formación continua a sus propios empleados. Esto permite establecer una unión entre la universidad, las empresas y los alumnos.

1.1. ESTRUCTURA

Este trabajo consta de cinco capítulos que analizan el concepto de las Lean Learning Factories.

El primero de ellos establece una introducción sobre la evolución del ámbito industrial, estableciendo los objetivos principales para desarrollar este proyecto, así como su estructura.

El segundo de los capítulos se centra en la filosofía Lean, partiendo de su concepto, historia y evolución, hasta llegar al desarrollo de las herramientas Lean que existen para poder aplicar esta filosofía a las empresas con el fin de reducir tiempos, desperdicios, mejorar la calidad y la eficiencia y optimizar los recursos con los que cuenta, tanto humanos como materiales.

El tercer capítulo se basa en el concepto de Learning Factory, con el fin de conocer su estructura, como se clasifican en función de las actividades que se realizan, así como el tipo de aprendizaje experiencial que desarrollan

En los capítulos cuatro y cinco se desarrollan las lean Learning Factories que hay en el mundo, teniendo en cuenta su origen y sus principales características para así poder establecer una comparativa y un análisis de ellas.

Por último, se exponen las conclusiones a las que se ha llegado con el desarrollo de este proyecto, además de las futuras líneas de actuación que puedan ponerse en marcha.

1.2. OBJETIVOS

El principal objetivo de este Trabajo de Fin de Máster es conocer y analizar las Lean Learning Factories que hay en el mundo, con el fin de contar con las principales características de cada una de ellas y su ubicación.

Entre otros, también destacan los siguientes objetivos:

- Conocer que el concepto de la filosofía Lean, así como su historia y evolución.
- Analizar las herramientas Lean y su aplicación en la industria para optimizar los procesos.
- Estudiar las Learning Factories desde el punto de vista del aprendizaje activo.



- Establecer una comparación entre las Learning Factories físicas y las digitales conforme a sus beneficios y limitaciones.
- Interpretar los tipos de Learning Factories teniendo en cuenta su enfoque, sus dimensiones y el escenario de aplicación.
- Estructurar las Lean Learning Factories que hay en el mundo teniendo en cuenta sus características principales.

Capítulo 2. Filosofía Lean

2.1. CONCEPTO

A la hora de definir el método Lean, podríamos decir que consiste en aplicar diferentes técnicas de fabricación que de forma conjunta tratan de mejorar los procesos productivos.

Según Madariaga (2019), podemos entender el Lean Manufacturing como un nuevo modelo de organización y gestión del sistema de fabricación —personas, materiales, máquinas y métodos— que persigue mejorar la calidad, el servicio y la eficiencia mediante la eliminación constante del despilfarro.

El principal objetivo del Lean es la reducción o eliminación de los “despilfarros”, es decir, reducir los recursos (económicos, materiales, humanos, de tiempo...) que emplean algunas actividades y que no son imprescindibles para el desarrollo del proceso ni aportan un valor añadido.

También cabe destacar otros objetivos del Lean, como son:

- Satisfacción del cliente: para garantizar su satisfacción se debe tener unos resultados óptimos en cuanto a calidad, plazos de entrega y precio de los productos que demandan. Es el fin de los dos siguientes objetivos.
- Reducir los costes: minimizar los costes de producción todo lo posible, consiguiendo que el producto cuente con la calidad adecuada
- Lead time: reducir el tiempo del proceso productivo para que el cliente reciba los productos o servicios en el momento en que los demande.

Aplicar la metodología Lean en una empresa implica que se produzca un cambio de mentalidad y de filosofía en todos y cada uno de los miembros que la componen, desde los directivos hasta los operarios y contando con el apoyo de todos los departamentos. Se basa en la mejora continua y establecer una cultura de mejora, buscando siempre la mejor forma de realizar los procesos y de optimizar los recursos.

En la Figura 2.1 podemos ver los beneficios que aporta la implantación de la metodología lean. Como podemos apreciar, partiendo de que el 100% es el caso actual, se produce una reducción importante de todas las variables, tanto a nivel económico, como de tiempo o espacio.

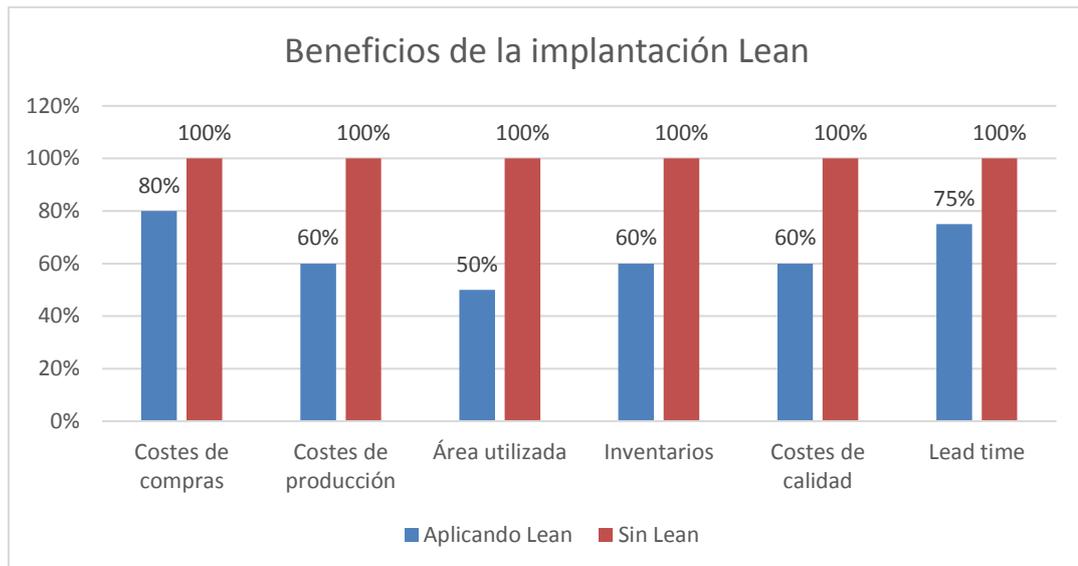


Figura 2.1 Estudio 300 empresas (Aberdeen Group, 2004)

2.2. ANTECEDENTES HISTORICOS

El Lean Manufacturing tiene como origen el sistema de producción Just in Time que desarrolló Toyota en los años 50, aunque ya durante la Segunda Revolución Industrial se produjeron importantes avances en los procesos, como la producción en masa.

Fue Federick W. Taylor (1856-1915) quien estableció el sistema de organización científica del trabajo, que estaba basado en la medición de tiempos, de movimientos, de análisis de procesos... Aunque establecía que unos piensan y otros trabajan y que los operarios solo debían desempeñar tareas repetitivas en su puesto.

También destacó Henry Ford (1863-1947), que fundó la Ford Motor Company (1903) y en ella el conocido vehículo Modelo T. Se pusieron en práctica las cadenas de producción en masa para fabricar el coche, ya que antes el chasis de los vehículos estaban en el mismo sitio todo el proceso. De esta manera comenzó a ahorrar desplazamientos innecesarios de los operarios.

Ya en 1950 nace la empresa conocida como Toyota, donde su Sistema de Producción Toyota (TPS), que se basaba en “producir solo lo que se demanda y cuando el cliente lo solicita”, fue una revolución para los procesos productivos.

El japonés Sakichi Toyoda (1867-1930), tras dedicar su vida a los telares y realizando muchos viajes para ganar experiencia, consiguió en 1924 diseñar un telar automático, conocido como Modelo G, y que contaba con dos particularidades:

el propio telar detectaba cuando se rompía el hilo y se paraba y contaba con un sistema para realizar el camio de lanzadera sin que la maquina tuviera que pararse. Todos estos avances podían aplicarse también a la industria del automóvil, que por aquel entonces estaba poco desarrollada en los países asiáticos.

En 1929, el hijo de Sakichi, Kiichiro Toyoda, se embarcó en un viaje por los EEUU y Europa con el fin de vender la patente de ese Modelo G y, además, avanzar en sus investigaciones sobre el funcionamiento de la industria automovilística. Una vez vendida la patente a Platt Brothers, invirtió el dinero recibido en intentar competir con Ford y GM en el mundo del automóvil. Con mucho esfuerzo y dedicación, en 1937 Kiichiro Toyoda fundó la compañía de automóviles Toyota Motor Company. Además, se le atribuye a este japonés el termino de Just In Time, una de las claves del TPS.

Fue en 1950, tras la Segunda Guerra Mundial, cuando se produjo una gran crisis económica en Japón, donde Toyota también se vio afectada. Tras esta crisis, Eiji Toyoda realizó varias visitas a diferentes plantas de montajes, dándose cuenta de que su forma de producir en masa no podía aplicarse en Japón, puesto que lo que se demandaba en su país eran pequeños lotes con gran variedad de los productos. Con la ayuda de Taiichi Ohno pusieron en marcha un nuevo modelo de producción. El objetivo del TPS era minimizar de manera continua los despilfarros que se producían en los procesos productivos.

Con este avance en la forma de producir, en 1980 consiguieron realizar unos 7 millones de coches al año, de los que más de la mitad se exportaban a otros países como Estados Unidos. Para ello fue clave la puesta en práctica tanto del JIT como el sistema de organización del trabajo japonés JWO (Japanese Work Organization) y la eliminación de los despilfarros: las 3 claves de lo que hoy conocemos como Lean Manufacturing (Tabla 2.1.)

JIT	JWO	LEAN
Reducción producto en curso	Trabajadores multidisciplinares	Jidoka
Flujo continuo	Calidad en el puesto	Calidad total
Reducción tiempos de entrega	Mantenimiento en el puesto	Mejora continua
Reducción tiempos de fabricación	Mejoras del puesto de trabajo	Compromiso dirección y empelados

Tabla 2.1 Origen y evolución de los principios Lean (JC Hernández, 2013)



El nuevo modelo de producción Lean Manufacturing se basa en técnicas de producción y organización de la empresa, que tiene como objetivo optimizar los recursos y aumentar tanto la calidad como la eficiencia, eliminando de manera constante los desperdicios

En los siguientes puntos se desarrollan los principios del Lean y las herramientas más utilizadas para su implantación en un sistema productivo.

2.3. PRINCIPIOS LEAN

A la hora de aplicar la filosofía lean en una empresa, debemos de conocer una serie de principios que hay que aplicar y tener muy en cuenta, puesto que podemos estar invirtiendo en recursos sin haberlos analizado previamente y no estar generando ningún valor añadido.

“El pensamiento lean es lean porque proporciona un método de hacer más y más con menos y menos (menos esfuerzo humano, menos equipamiento, menos tiempo y menos espacio, al tiempo que se acerca más y más a ofrecer a los clientes aquello que quieren exactamente.” (James P. Womack y Daniel T. Jones, 2003)

Los principios básicos del lean son los siguientes:

2.3.1. DEFINIR EL VALOR

Se trata de especificar el valor y este solo puede ser definido por el cliente, es decir, el consumidor es el que determina qué producto o servicio quiere, cuáles son sus características y en qué momento lo necesita. Por ello, resulta complicado a la hora de producir dar con la clave de las necesidades específicas del cliente

Según James P. Womack y Daniel T. Jones (2003), *“el pensamiento Lean debe iniciarse con un intento consciente de definir el valor de forma precisa en términos de productos específicos con capacidades específicas ofrecidos a precios específicos a través de un diálogo con consumidores específicos.”* Dicho de otro modo, las empresas deben contar con una tecnología y una producción específica, dejando claro en qué parte de la producción se crea valor al producto o servicio y en qué grado se satisface las necesidades del cliente.

Si damos al consumidor un bien o un servicio que no es específico y no satisface su necesidad, aunque lo hayamos realizado de forma correcta, se considera muda.

2.3.2. IDENTIFICAR EL FLUJO DE VALOR

Identificar el flujo de valor es el segundo paso del pensamiento lean y uno de los más importantes, puesto que es difícil de identificar para las empresas.

Podemos definir este flujo de valor como el conjunto de procesos y actividades que se llevan a cabo en todo el proceso productivo de un producto o servicio específico y que le aportan valor añadido.

Existen tres acciones de gestión por las que debe pasar todo producto o servicio específico en una empresa con el fin de identificar ese flujo de valor en su totalidad:

- Tarea de solución de problemas: concepción, diseño, lanzamiento...
- Tarea de gestión de la información
- Tarea de transformación física: cambios desde la materia prima hasta el producto final

Una vez que hemos puesto en marcha estas tres acciones para definir el flujo total de valor de nuestro producto o servicio, nos vamos a encontrar diferentes casos que debemos de saber tanto identificar como clasificar:

- Nos encontraremos con pasos que crean valor sin ningún tipo de duda, como son las tareas esenciales, por ejemplo, soldar, atornillar...
- Habrá otros pasos que veamos que no aportan ningún tipo de valor, pero que tenemos que seguir realizando puesto que sirven de unión entre otras tareas necesarias o hacen que estas sí añadan valor. Un ejemplo son las tareas de control de calidad, de revisión de la maquinaria... (Se denominan Muda Tipo I)
- Por último, tendremos tareas que claramente no aportan ningún tipo de valor al proceso productivo y que sí podemos prescindir de ellas, reduciendo tiempos, costes y otros recursos. Son los que denominamos despilfarros o Muda Tipo II (movimientos innecesarios, stocks, esperas...)

Después de haber clasificado las diferentes actividades del proceso productivo, tendremos identificado cual es flujo de valor, es decir, el tiempo real de la actividad, cuál es su coste y qué tareas aportan valor o son despilfarros.



2.3.3. FLUJO CONTINUO Y EQUILIBRADO

El siguiente paso es conseguir que ese flujo de valor que ya hemos identificado y mejorado, sea algo continuo.

Por ello, hay que volver a definir que los departamentos se encuentren únicos mediante un flujo, no que actúen por separado, contribuyendo a añadir valor a los productos o servicios y favoreciendo el trabajo de cada empleado, haciendo que todos se impliquen en el proceso productivo.

La idea es que todo este proceso se lleve a cabo de forma continua, sin interrupciones, desde las materias primas hasta que se entrega el producto al consumidor, evitando esperas, teniendo una visión global de toda la cadena y no centrándose solo en alguna etapa.

Aplicando este principio ya notaremos un gran descenso del tiempo empleado en todo el conjunto de la producción, así como una reducción de costes.

2.3.4. SISTEMA PULL

Tradicionalmente era la fábrica la que marcaba la producción y la que lanzaba los productos o servicios que consideraba al mercado (push), es decir, se hacía una previsión de la demanda y conforme a ello se lanzaba la producción. Aún sigue habiendo sectores que tienen que trabajar con este sistema, como pueden ser los vuelos, ya que no pueden establecer las salidas conforme a las demandas reales de los clientes.

En el pensamiento lean, se tiende a realizar el ciclo inverso con los sistemas pull, es decir, es el cliente el que tira de la producción, no se produce hasta que el cliente lo solicite. (Figura 2.2)

Evitamos de este modo que se produzcan esperas y stocks innecesarios entre procesos, entrando también en juego las tarjetas Kanban, que sirven para comunicar a la actividad anterior en qué momento tiene que producir y qué cantidad, de forma que se obtengan solo los productos demandados en el momento oportuno y con un ritmo de producción marcado que facilite el flujo continuo del que hemos hablado antes.

También conseguimos reducir el espacio tanto de almacenes de materia prima como de producto terminado, puesto que solo solicitaremos a nuestros proveedores aquello que necesitemos, aunque hagamos pedidos con más frecuencia, sin invertir en stocks que no vamos a necesitar y cuya inversión podemos emplear en otros recursos que sí aporten valor.

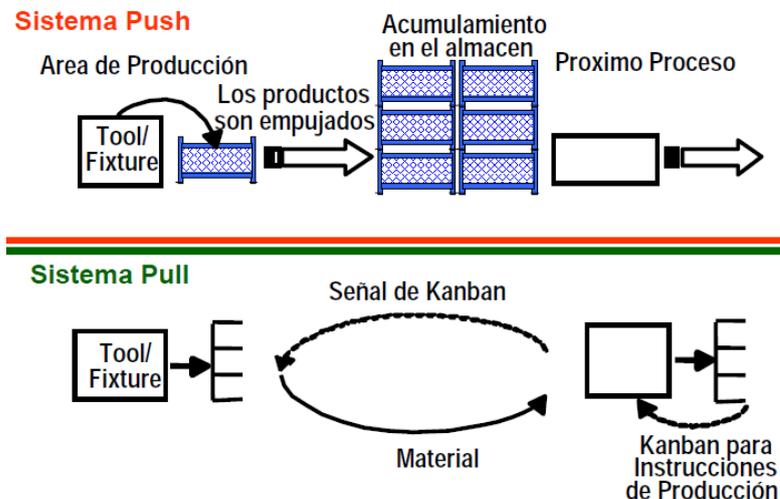


Figura 2.2 Diferencia entre sistema Push y Pull

2.3.5. MEJORA CONTINUA Y PERFECCIÓN

Una vez que ya tenemos identificado el valor, el flujo continuo del proceso productivo y hemos aplicado sistemas pull, el último paso para aplicar la filosofía Lean es mantener y mejorar todo lo aplicado.

La perfección como tal no existe, pero siempre existen una manera mejor de realizar algo, es decir, podemos mejorar siempre el método lean aplicado, buscando formas para reducir más los tiempos, los costes, eliminar mudas... por ello es muy importante tener en cuenta la mejora continua y no aplicar el proceso solo una vez, sino constantemente con el fin de obtener mayor rendimiento en el proceso productivo, ya que habrá mejoras que serán visibles en un periodo de tiempo corto (kaikaku) y otros resultados que se irán consiguiendo de forma gradual y progresivos en un periodo de tiempo menos inmediato (kaizen)

Como resumen de los principios lean expuestos, podemos quedarnos con las siguientes ideas de pensamiento lean que harán que una empresa sea mucho más eficiente y consiga mejores resultados invirtiendo menos recursos

- Establecer unos líderes de equipo que trabajen directamente con los operarios en la misma planta, viendo todos los procesos de primera mano.
- Implantar un pensamiento común de mejora continua y constante donde todos los miembros de la organización estén implicados y sean conscientes de que su trabajo, sus ideas y su saber hacer contribuyen al buen desarrollo del proceso productivo.



- Eliminar todas aquellas tareas que no son necesarias a lo largo del flujo y que no aportan ningún valor a nuestros producto o servicio.
- Poner en práctica sistemas pull que eviten la sobreproducción y los stocks innecesarios.
- Crear estándares de producción para equilibrar los procesos y no generar cuellos de botella.
- Evitar los productos defectuosos o que no cuenten con la calidad necesaria.
- Mejorar de forma continua la aplicación de las herramientas lean en todo el proceso.

2.4. TIPOS DE DESPILFARROS

Según el sistema de Producción Toyota (TPS), existen dos situaciones en un proceso productivo que hay que evitar: mura y muri, puesto que ambas generan lo que conocemos como despilfarros (muda)

2.4.1. MURI (sobrecarga)

Se trata de la sobrecarga que realizan las personas o la maquinaria. En el caso de las personas, nos encontramos con que esta sobrecarga puede generar un puesto de trabajo inseguro y además no cuenta con la calidad necesaria. Por el lado de las máquinas, esta sobrecarga desemboca en averías, es decir, desperdicios y cuellos de botella, ya que se acumulan tareas en la fase de la actividad donde se produzcan.

2.4.2. MURA (variabilidad)

Se trata de una variación en el proceso productivo que lleva a un desequilibrio de la producción, como puede ser acumulación de stocks por si se producen estas variaciones.

2.4.3. MUDA (desperdicio): LOS 7 MUDAS

En este caso, entendemos este tipo de desperdicios como el uso de recursos, materiales y humanos, que no aportan valor ni a la empresa, ni al producto o servicio, ni al consumidor.

Es por ello que es vital identificar estos 7 tipos de despilfarros (Figura 2.3) para conseguir reducir costes y optimizar procesos:

A. SOBREPRODUCCION:

Se trata de producir mayor volumen de productos de lo que demandan los consumidores o que no les interesen. Esta producción innecesaria provoca stocks, lo que se traduce en inversión de dinero y energía que no es necesaria en ese momento, puesto que esos recursos podrían invertirse en otras actividades que fueran necesarias en ese momento. Una forma de evitarlo es conseguir sincronizar la producción de forma que se haga solo lo necesario en el tiempo establecido.

B. INVENTRIOS (STOCKS):

El exceso de stock se produce cuando la planificación de la producción es ineficiente, es decir, se produce mayor cantidad de la demandada, se generan productos que no son demandados... esto genera costes innecesarios, uso de espacios que podrían dedicarse a otras actividades, que los productos almacenados se queden obsoletos, mayor inversión para controlar lo que se tiene en los almacenes, pérdida de tiempo...

C. MOVIMIENTOS

Los movimientos innecesarios se producen cuando las herramientas necesarias están más lejos de lo que debería, las operaciones no están secuenciadas de la forma correcta, el layout no está bien diseñado... esto implica que se produzcan desplazamientos de personas o equipos que no aportan ningún valor añadido a la actividad, además de posibles paradas en la línea de producción y grandes pérdidas de tiempo. Una solución básica es contar con métodos de trabajo que sean eficientes y que las tareas en las que sea posible estén automatizadas de forma correcta.

D. TRANSPORTES:

Están totalmente ligados a los movimientos innecesarios. En este caso se considera el traslado de personas o materiales que tampoco proporcionan ningún valor añadido a la línea de producción. Se producen costes de combustible, de mano de obra... Es por ello que un buen diseño de la planta evita este tipo de despilfarros en el transporte y reduce aquellos movimientos que no se puedan evitar.

E. DEFECTOS (Operaciones sin calidad)



Se trata de errores en la producción que no aportan ningún valor a la actividad y además lo reducen ya que no cuentan con la calidad requerida. Siempre es mucho mejor prevenir los defectos que arreglarlos una vez que ya se han cometido. Pueden darse por un escaso control de la calidad, que los materiales no sean los adecuados, que el factor humano no este lo suficientemente formado para su puesto de trabajo, que se haya realizado un mal diseño del producto... todo esto conlleva a un retrabajo, lo que desemboca en mayores tiempos de entrega al cliente.

F. TIEMPOS MUERTOS O ESPERAS:

Puede producirse tanto a nivel humano como de maquinaria. Se trata de una mala sincronización del proceso productivo, provocando que haya que esperar a que llegue materia prima para seguir produciendo, que haga falta una determinada herramienta, que el estándar de producción no tenga bien definidos los tiempos... esto provoca cuellos de botella en determinados pestos, lo que provoca pérdidas de tiempo, es decir, costes innecesarios. Por ello es tan importante tener sincronizados todos los procesos y flujos.

G. SOBREPROMOCIONES:

Los sobrepromociones se dan cuando se realizan acciones innecesarias, es decir, repetimos tareas en la producción, estas no están estandarizadas, no se han revisado para que se realicen de manera óptima... todo esto conlleva a invertir tiempo y recursos que no aportan valor al producto final y no mejora su calidad.

H. TALENTO HUMANO:

Podemos hablar de un octavo despilfarro cuando nos referimos al talento del factor humano. En este caso se refiere a aprovechar todas las fortalezas con las que cuente cada operario para obtener un beneficio común. Esto se traduce a que el empleado pueda hacer uso de creatividad, inteligencia, su justa retribución... puesto que nadie conoce más un puesto de trabajo que la propia persona que desempeña el cargo. Las empresas deben invertir a que el factor humano este cualificado para su cargo, apostar por la mejora continua y mantenerlos involucrados para sacar el máximo rendimiento de cada uno de ellos.

2.5. ESTRUCTURA Y HERRAMIENTAS LEAN

Como hemos visto anteriormente, la filosofía del Lean se originó en Toyota a mediados del siglo XX y es difícil hacer unos términos y unas técnicas homogéneas,

por lo que se desarrolló la conocida como “Casa del Sistema de Producción Toyota”, que resume y concreta los pilares y técnicas lean. Podemos ver su diseño en la Figura 2.4

Si analizamos como está construida la casa, vemos que en la parte superior del tejado se encuentran los beneficios de aplicar el sistema Lean, como mejora en la calidad, menores costes...

Después encontramos dos columnas compuestas por el JIT (producir justo a tiempo) y el Jidoka (analizar anomalías). En la base podemos encontrar técnicas como la estandarización, la nivelación de la producción o el Heijunka.

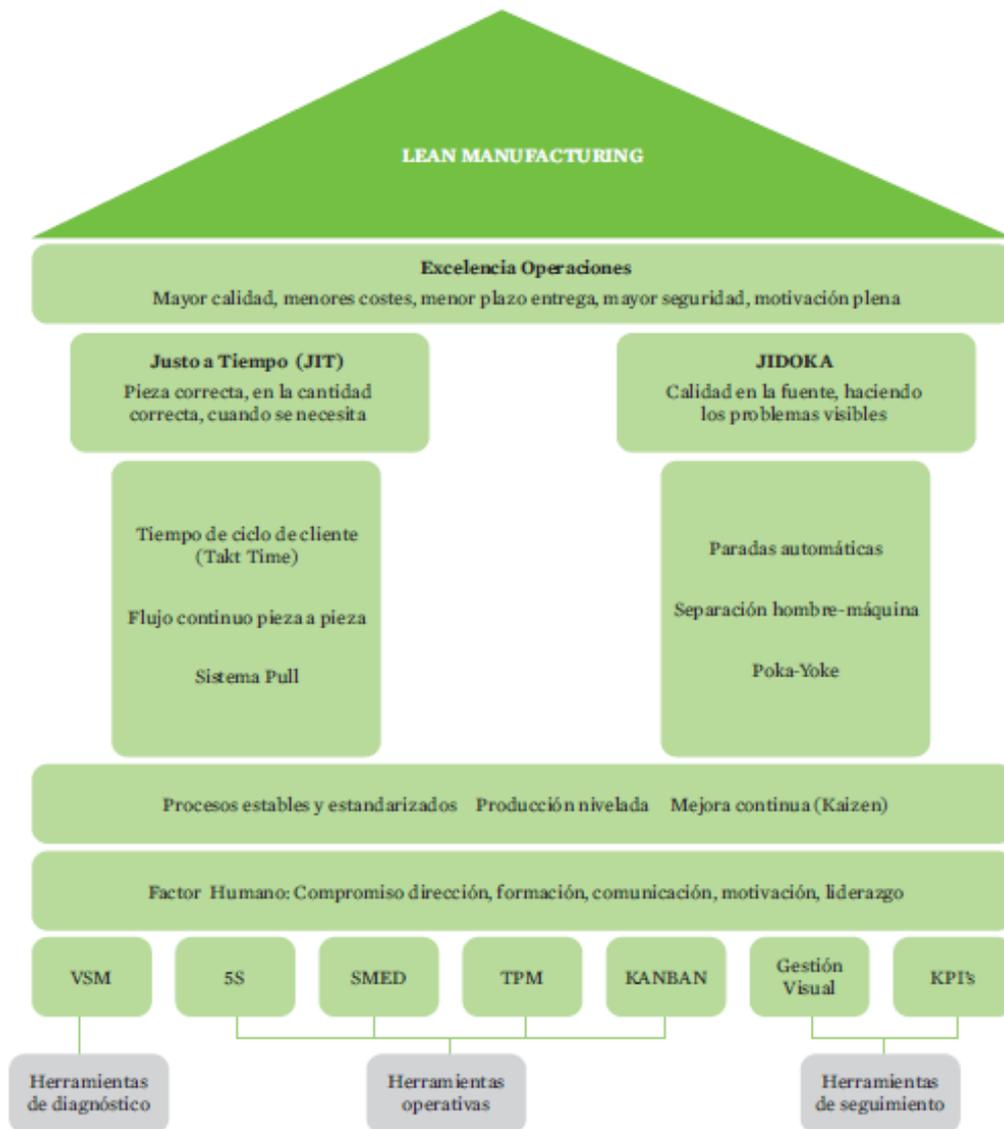


Figura 2.3 Casa Toyota (JC Hernández, 2013)



Todas estas herramientas deben ponerse en práctica a través de diferentes técnicas, todas ellas teniendo en cuenta el factor humano, puesto que no se puede aplicar la filosofía lean si no se ha creado una nueva cultura en la empresa.

A continuación, detallaremos las principales herramientas utilizadas para la aplicación del Lean:

2.5.1. 5S

La herramienta de las 5S hace referencia a 5 palabras japonesas (Figura 2.5) y se trata de los pasos a seguir para conseguir que los espacios y puestos de trabajos se encuentren acondicionados de tal forma que se aumente la eficacia de las actividades que se desarrollan. Según F. Madariaga (2019), esta metodología trata de:

- Mejorar tanto la seguridad como la calidad del puesto de trabajo
- Reducir al mínimo las averías
- Reducir los tanto el tiempo de cambio (muda) como de variación (mura) al evitar desplazamientos innecesarios, búsquedas y cambios de herramientas.
- Minimizar el tiempo de ciclo que realiza el operario y su variación al tener organizados de forma óptima los materiales necesarios para el correcto desarrollo de su actividad

Dicha herramienta es el paso previo para llegar a implantar el Mantenimiento Productivo Total (TPM)

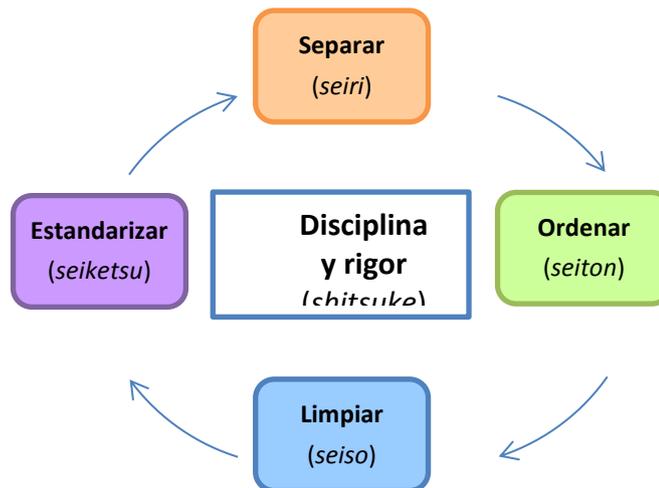


Figura 0.4 Las 5S (Elaboración propia)

A. SEPARAR (Seiri)

Se trata del primero paso para comenzar a aplicar la herramienta de las 5S y se basa en separar ir separando los elementos del puesto y clasificarlos según necesarios o innecesarios. Realizando esta clasificación conseguimos evitar que los elementos que no vamos a utilizar a corto plazo molesten a la hora de realizar la actividad del puesto y facilitar la utilización de los que sí son necesarios.

Nadie mejor para definir las herramientas que el propio operario o la persona que realiza la actividad en cuestión.

De esta forma, conseguimos evitar desplazamientos innecesarios a por herramientas, perder el tiempo localizando un utensilio, ganar espacio para las cosas que son realmente necesarias...

En la siguiente Figura 2.6, podemos ver un ejemplo de una tarjeta roja que es utilizada en la práctica para clasificar los elementos y tomar la decisión de si se puede prescindir de ellos o no.

TARJETA ROJA			
NOMBRE DEL ARTÍCULO			
CATEGORÍA	1. Maquinaria	6. Producto terminado	
	2. Accesorios y herramientas	7. Equipo de oficina	
	3. Equipo de medición	8. Limpieza	
	4. Materia Prima		
	5. Inventario en proceso		
FECHA	Localización	Cantidad	Valor
RAZÓN	1. No se necesita	5. Contaminante	
	2. Defectuoso	6. Otros	
	3. Material de desperdicio		
	4. Uso desconocido		
ELABORADA POR		Departamento	
FORMA DE DESECHO	1. Tirar	5. Otros	
	2. Vender		
	3. Mover a otro almacén		
	4. Devolución proveedor		
FECHA DESCHECHO			

Figura 2.5 Tarjeta de clasificación de elementos (JC Hernández, 2013)

También puede darse el caso de que haya elementos que en un principio no sepamos muy bien en cuál de las dos categorías clasificarlos. Es por ello que, si contamos con un espacio dedicado a ello, podemos almacenarlos de manera temporal con el fin de poder tomar una decisión adecuada cuando pase un tiempo (Figura 2.7).

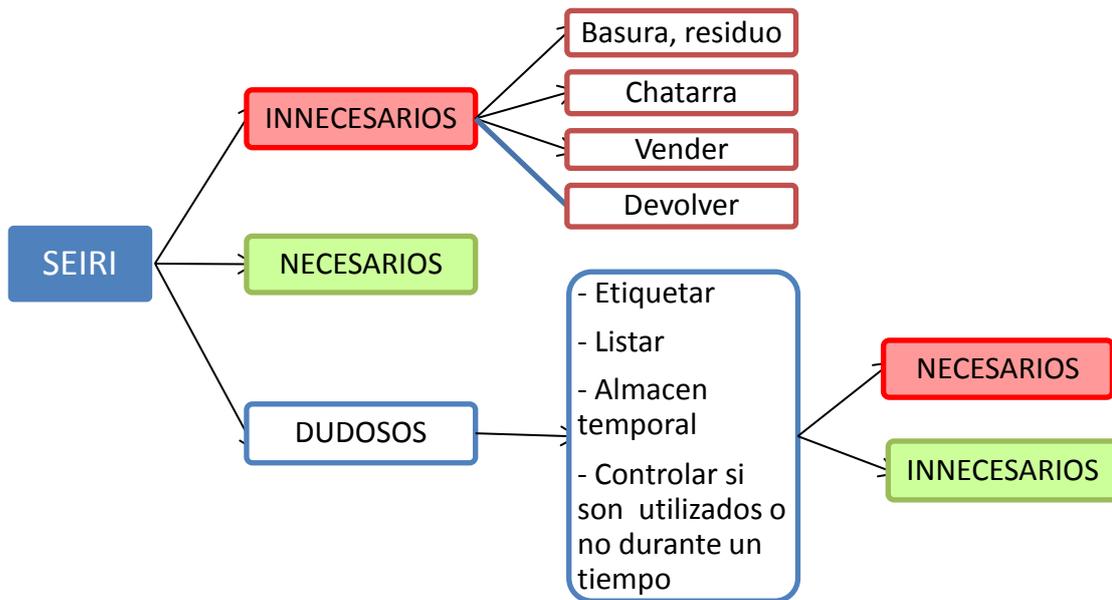


Figura 2.6 Separar elementos necesarios de innecesarios (Madariaga, 2019)

B. ORDENAR (Seiton)

Después de haber conseguido prescindir de los elementos que hemos considerado como innecesarios en el puesto de trabajo, tendremos que identificar los que sí son necesarios y ubicarlos de manera que la persona que realiza la actividad pueda acceder a ellos de forma fácil y eficaz. De esta forma:

- Cada elemento necesario tendrá una ubicación definida: “un sitio para objeto y cada objeto en un sitio”. Cada elemento tendrá su lugar próximo al puesto de trabajo y establecido de forma ergonómica.
- Podemos identificar estos objetos con símbolos, huecos con su forma, referencias... para facilitar su localización

Aplicando todo ello conseguiremos que el empleado goce de un buen ambiente laboral, se encuentre cómodo en su puesto de trabajo y de esta forma se favorezca su productividad y la correcta ejecución de sus tareas. Además, evitaremos que se produzcan desplazamientos innecesarios y búsquedas de materiales por no tenerlos colocados. El orden nos lleva a una reducción de despilfarros, algo esencial en la filosofía Lean.

C. LIMPIAR (Seiso)

En esta etapa, la principal misión es anticiparnos a que se produzcan de nuevo zonas inadecuadas, para ellos debemos:

- Implementar una limpieza diaria, para evitar que se acumule y que acabe volviendo a los inicios.
- Identificar los focos en los que se produce suciedad, como pueden ser fugas de agua o aceite, y prevenir que se den y en caso de darse, que se lleven a cabo las tareas de limpieza pertinentes.
- En caso de que haya elementos o herramientas rotos o defectuosos, sustituirlos por otros que no entorpezcan las tareas del puesto de trabajo.

La limpieza tiene una gran importancia puesto que es el primer paso para poder detectar y corregir los defectos que pueda haber tanto en la maquinaria como en las herramientas.

D. Estandarización (seiketsu)

Una vez que se han implantado los tres primeros pasos, tendremos que crear estándares, es decir, establecer un procedimiento de referencia óptimo con el que comprar y que sean muy claro y visual en el puesto de trabajo. Este método debe aplicarse siempre, puesto que crear una conducta que lleve a cumplirlo solo a veces, desemboca en cometer errores cada vez más frecuentes.

Las principales ventajas que tiene este paso es conseguir que se apliquen correctamente las normas de limpieza creada, implicar a los empleados, crear buenos hábitos de orden...

Podemos destacar tres pasos básicos a la hora de implantar un estándar de limpieza, como son:

- Definir una persona responsable que se encargue de que se cumplen de forma correcta los tres primeros pasos (seiri, seiton, seiso)
- Integrar la herramienta de las 5S en el trabajo habitual de cada puesto.
- Evaluar y mantener la aplicación de todo el proceso, teniendo en cuenta su repercusión y eficacia.

E. Disciplina y rigor (shitsuke)

Se trata de conseguir que la estandarización de los procesos se convierta en una norma que se debe aplicar como cualquier otra en el puesto de trabajo. Para que la herramienta de las 5S tenga beneficios debe ser perdurable en el tiempo, no solo aplicarlo una temporada concreta, sino siempre. Es por ello que la empresa debe crear el hábito en el operario, formando a estos empleados para que realicen correctamente las normas de limpieza y haciéndoles partícipes de la aplicación del proyecto, consiguiendo que guarden los utensilios en el lugar destinado a ello, que



eliminen los materiales innecesarios, que limpien cada vez que finalicen una actividad...

2.5.2. SMED

La metodología SMED (Single-Minute Exchange of Dies) tiene su origen en japones Shigeo Shingo en los años cincuenta y se basa en un conjunto de técnicas que tratan de reducir los tiempos de preparación de la maquinaria.

Es por ello que hay que realizar un análisis recio de todo el proceso que realiza la máquina, para poder realizar cambios y aplicar estándares de producción instalando mecanismos que mejoren el proceso y reduzcan los tiempos. Este método requiere poca inversión y es bastante fácil de conseguir buenos resultados, pero requiere mucha constancia e implicación por parte de las personas encargadas.

Un cambio rápido de herramientas implica que se pueda producir diariamente las cantidades establecidas, sin tener que crear grandes lotes, consiguiendo así que no sea necesario el uso de grandes stocks o inventarios.

En primer lugar, hay que utilizar técnicas de calidad que nos permitan identificar si se puede llevar a cabo un cambio que reduzca los tiempos de preparación de las maquinarias, por ello debemos tener en cuenta las causas de tener tiempos de cambio elevado, como pueden ser:

- No se ha estandarizado el proceso de preparación
- No se están utilizando los equipos adecuados
- El material necesario no está preparado cuando se necesita,
- Se realizan demasiadas operaciones de ajuste....

Para poner en práctica la técnica SMED, las empresas tienen que llevar a cabo un estudio de los tiempos y operaciones concretos de las acciones de preparación y cambio de maquinarias. Podemos diferenciar así 4 fases:

FASE 1: Diferenciación de la preparación externa y la interna

Entendemos por preparación *interna* todas las acciones que para poder llevarse a cabo necesitan que la máquina se detenga, mientras que las *externas* pueden realizarse cuando la máquina está en funcionamiento. Es por ello que hay que diferenciar bien las actividades que se encuentran dentro de una u otra preparación, con el fin de conseguir que la mayor parte de ellas pasen de ser internas a ser externas y que estas externas lleven el menor tiempo posible y así parar la máquina muy poco tiempo.

Para lograr este cambio de operaciones internas a externas, debemos tener en cuenta varios aspectos:

- Modificar el diseño de las herramientas o actualizarlas.
- Que todos los elementos se encuentren en buenas condiciones de funcionamiento
- Mejorar la tecnología empleada.
- Que todo se encuentre en orden en el puesto de trabajo aplicando las 5S.

FASE 2: Reducir el tiempo de preparación interna

En el caso de las operaciones internas que no puedan convertirse en externas, lo que tenemos que tratar de hacer es que su tiempo de preparación sea el menor posible, para que la maquina no esté parada mucho tiempo. Es esencial trabajar la mejora continua, para estar en constante cambio y conseguir reducir cada vez más estos tiempos. Por tanto, tenemos que:

- Reducir al mínimo posible los reglajes de la maquina
- Establecer un estándar de registro de datos de proceso
- Tener menor necesidad de controles de calidad
- Realizar un trabajo en paralelo entre dos personas

Diseñar los desplazamientos de los operarios, proporcionando los elementos necesarios en el lugar óptimo para no interrumpir su actividad y perder tiempo en ir a buscar lo que necesita (Figura 2.8). Como vemos en la figura, en la primera imagen el empleado tendría que recorrer el mismo trayecto muchas veces puesto que hay cosas que tiene que ir a buscar al banco de trabajo y volver al puesto y así sucesivamente, mientras que la imagen de la derecha el operario solamente realizaría una vez todo el circuito, puesto que se habría diseñado un plano evitando movimientos innecesarios y aplicando las 5S para que cada herramienta y utensilio se encuentren en el lugar más apropiado. Ahorraremos gran cantidad de tiempo, lo que se traduce en menores costes y un mejor aprovechamiento tanto de los recursos humanos como de los materiales.

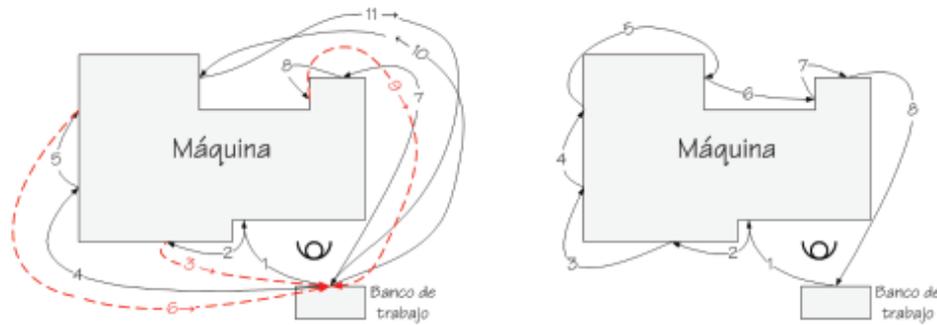


Figura 0.7 Reducción de movimientos (Madariaga, 2013)

FASE 3: Reducir las operaciones externas

En este caso se trata de reducir el tiempo que el empleado invierte en preparar los materiales necesarios para poder llevar a cabo las tareas de reparación, por ello es necesario:

- Organizar los puestos de trabajo aplicando las 5S para así eliminar o reducir las búsquedas de materiales y herramientas
- Evitar los desplazamientos contando con todo lo necesario en almacenes que se encuentren próximos a la maquina
- Eliminar los tiempos de espera durante las manipulaciones y transportes de utillajes.

FASE 4: Preparación cero

El tiempo de preparación de las maquinarias ideal sería cero, es decir, se deben emplear las tecnologías y diseños que minimicen todos estos procesos. Aplicar la técnica SMED implica en tener una capacidad de respuesta ante cambio inesperados de la demanda que puedan darse, ya que tanto la maquinaria como los operarios cuentan como una mayor flexibilidad y capacidad de adaptación a los cambios.

2.5.3. MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)

Entendemos por Mantenimiento Productivo Total (TPM) a las técnicas de mejora continua, destinadas a la eliminación de averías en todo el proceso productivo. Se enfoca en que todo el personal de la empresa esté involucrado para conseguir cero fallos.

Fue desarrollado por Seiichi Nakajim a partir del mantenimiento preventivo y fue implantado en Japón en los años 60.

Su principal objetivo es conseguir la mayor eficiencia de toda la maquinaria productiva (OEE) y optimizar del mismo modo os costes de toda la cadena.

El TPM está basado en cinco normas que deben cumplirse:

- Llevar a cabo un proceso para optimizar el OEE de la empresa consiguiendo reducir al máximo las pérdidas
- Los operarios deben realizar un “mantenimiento autónomo” de los procesos.
- Los empleados encargados del mantenimiento tienen que tener desarrollado un sistema preventivo para detectar los posibles fallos antes de que se produzcan.
- El diseño de los nuevos equipos debe estar planificado, con el fin minimizar los costes y además conseguir adaptarse mejor a las necesidades de la operación, reduciendo todo lo posible las tareas de mantenimiento posteriores.
- Planificar cursos de formación para que todos los empleados estén formados tanto en la producción como en el mantenimiento de la maquinaria y sean capaces de prever los fallos que puedan ocasionarse, limitando así las posibles consecuencias.

Para que todos los equipos sean lo más eficaces posible es necesario que toda la empresa este implicada y se esfuerce para que esto no suceda. Existen 6 pérdidas que hacen que la maquinaria no sea eficaz, como se muestran en la siguiente Tabla 2.2:

TIPO	PERDIDA
TIEMPO MUERTO	1. Averías debidas a fallos en equipos. 2. Preparación y ajustes. Ejemplos, cambios de utillajes, moldes, ajustes herramientas...
PÉRDIDAS DE VELOCIDAD	3. Tiempo en vacío y paradas cortas: operación anormal de sensores, bloqueo de trabajo en rampas... 4. Velocidad reducida: diferencia entre la velocidad nominal y la real.



DEFECTOS	<p>5. Defectos en proceso y repetición de trabajos: desperdicios y defectos de calidad que requieren reparación.</p> <p>6. Menor rendimiento entre la puesta en marcha de las máquinas y producción estable.</p>
-----------------	--

Tabla 2.2 Pérdidas (JC Hernández, 2013)

Para implantar el TPM en una empresa, debemos tener en cuenta sus características y hacer un examen previo sobre las necesidades, así como contar con las personas debidamente formadas para llegar a alcanzar los objetivos que plantea este sistema. Por ello, podemos diferenciar las siguientes fases que sirven como base a la hora de ponerlo en marcha:

FASE PREVIA:

En esta primera fase debemos obtener información sobre los equipos, cuales son, lo que se hace en cada uno de ellos, elaborar una ficha con las principales características de cada máquina, sus principales averías... Se trata de documentar para conocer antes de actuar.

FASE 1: Línea en estado inicial

Una vez hecho el análisis preliminar, debemos tratar de que la línea de producción tenga el aspecto del primer día en que se compró, es decir, los operarios deben limpiar, ordenar, quitar las manchas... para detectar los posibles fallos de forma más rápida.

FASE 2: eliminar fuentes de suciedad

En esta fase debemos tratar de detectar aquellos lugares que siempre producen suciedad, aunque se limpien a menudo, como puede ser una fuga de aceite. De este modo tratamos de que la maquina no vuelva al mal estado en que se encontró.

FASE 3: Formar para inspeccionar el equipo

Es esencial que los operarios encargados tengan la formación adecuada para detectar estas anomalías y así conseguir que actúen de la forma más autónoma posible en las tareas de mantenimiento (Figura 2.9).



Figura 2.8 Mantenimiento autónomo (Madariaga, 2013)

FASE 4: Mejora continua

Se trata de la última fase en el proceso de TPM y consiste en ir diseñando progresivamente mejoras constantemente en los equipos para que el mantenimiento sea cada vez más eficiente, se tengan menos pérdidas y se optimicen todos los recursos, tanto materiales como humanos, logrando que la línea sea rentable económicamente.

Todas estas etapas deben ser controladas y supervisadas por un equipo especializado, cuyo objetivo será controlar los costes, ver que todas las actividades de mantenimiento se han llevado a cabo e ir estableciendo nuevos objetivos que logren una mejora para conseguir una empresa lean.

A la hora de medir la eficacia de la aplicación del TPM, debemos tener en cuenta el OEE, el indicador más importante. El OEE (Overall Equipment Effectiveness) mide la eficiencia global de los equipos, estableciendo una relación entre el número de piezas óptimo que se podían producir (sin fallos ni averías) y las que se han producido sin defectos.

Podemos decir que el OEE relaciona la disponibilidad (D), con la eficiencia (E) y la calidad (C):

$$OEE = D * E * C$$

Cuanto mayor sea el porcentaje de OEE obtenido, más eficientes serás las maquinarias y los procesos productivos y mejor aplicado estará el TPM.

2.5.4. KANBAN

El KANBAN es un sistema de control de la producción basado en unas tarjetas que tratan de garantizar el suministro de materiales a través de un sistema pull que tira de la producción, es decir, es impulsado por la demanda y el consumo siguiendo un proceso logístico de reorden.

Este sistema fue desarrollado por Taiichi Ohono en Toyota (1947) y su principal objetivo era provocar un aumento de la productividad, lo que llevó a una reducción de costes de stock, tanto de materias primas como de productos intermedios y finales.

Esta herramienta consiste en que una actividad retira las piezas o conjuntos que va a utilizar de las actividades anteriores, por lo que estas comienzan a producir lo que se ha retirado, consiguiendo que todo el flujo esté sincronizado, tanto los proveedores, como los talleres y la línea de montaje.

La tarjeta KANBAN que se utiliza en este método se encuentra en los contenedores de las piezas, dejando reflejado el número de piezas y sus principales características o referencias que debe tener cada contenedor, de modo que el operario encargado de reponer las piezas utilizadas tenga claro tanto lo que tiene que producir como donde debe ir ubicado, ya que es un medio muy visual y fácil de entender. Es frecuente que las empresas cuenten con tableros KANBAN donde ir colocando las tarjetas de diferentes colores de las piezas o materiales que son necesarios.

Existen números tipos de Kanban a lo largo de todo el proceso de producción, aunque los más habituales son el Kanban de producción y el de transporte:

- Kanban de producción: se utiliza para indicar al proceso anterior que necesitamos producto. Indicaremos qué producto, en qué cantidad y para qué lugar es necesario. De este modo, el proceso correspondiente tendrá la información necesaria para comenzar a producir (Figura 2.10).

KANBAN 1 de 3 – Tarjeta # 4541612 // Orden de Pedido: 509112			
Aspecto	Número de Parte	5548-041A	Proceso
	Nombre del Producto	Tuerca 3/8" AISI 316L	Ensamble base motor tipo B
	Número de Contenedor	B2-013	
	Capacidad Contenedor	20.000 unidades	Línea
	Embalaje	Bolsa x 2.000 unidades	B2
	 6 71860 01362 4		

Figura 2.9 Tarjeta Kanban de producción

- **Kanban de transporte:** en este caso sirve para indicar la cantidad de producto que se debe reponer para seguir cumpliendo el proceso productivo de la cadena. Por ejemplo, puede darse entre el almacén y el cliente en un supermercado, notificando al operario que lleve al punto de consumo los materiales solicitados (Figura 2.11).

Kanban de Transporte

CODIGO ITEM		
770030779		
DESCRIPCION		
ARBOL PRIMARIO		
CAPACIDAD CONTENEDOR	NUMERO DE ORDEN	TARJETAS EMITIDAS
160	4	5
ORIGEN		DESTINO
CENTRO DE TRABAJO		CENTRO DE TRABAJO
TRATAMIENTOS TERMICOS		RECTIFICADO
PUNTO DE RECOGER	PUNTO DE DEPOSITO	
581	238	
KANBAN DE TRANSPORTE		

Figura 2.10 Tarjeta Kanban de transporte

En la siguiente Figura 2.12 podemos observar de forma simple como funcionarían las tarjetas de producción y transporte de forma sincronizada en una fábrica. Debemos tener en cuenta que se aplica a un sistema pull, por lo que sería un ciclo que debe tener como punto de partida el consumidor final y su demanda.

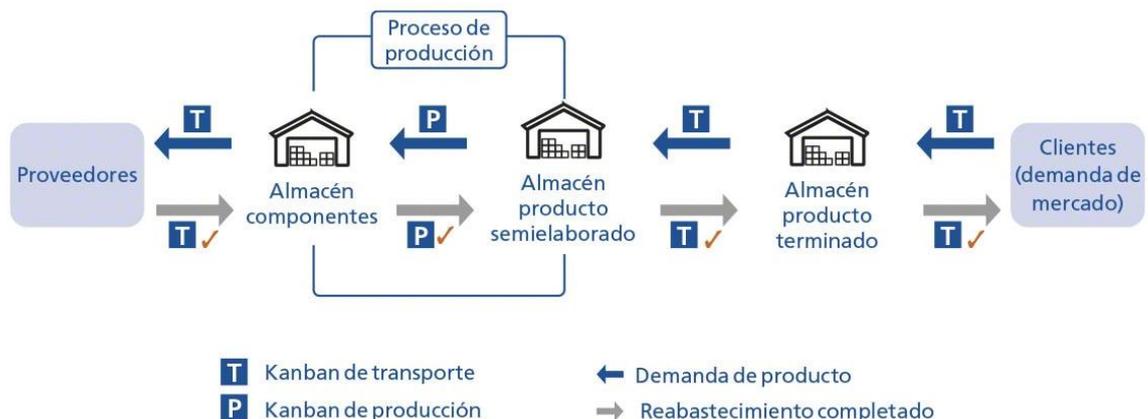


Figura 2.11 Proceso productivo con tarjetas Kanban

Este sistema está muy ligado al JIT (just in time), puesto que es un método que trata de producir lo necesario en el momento oportuno sin generar stocks. Es por ello que su aplicación proporciona varias ventajas:



- Evita las sobreproducciones y, por tanto, el nivel de inventario, haciendo que estos tengan una rotación mucho mayor y el espacio destinado a ellos sea mucho más reducido.
- Se producen periodos de entrega mucho más cortos y más fiables.
- El tiempo de ciclo de la producción es menor
- Hay un mayor control de materiales y piezas, por lo que hay que invertir menor tiempo en conocer los materiales disponibles en los almacenes
- Aumenta la productividad en todas las áreas del proceso productivo (compras, planificación, producción...)
- Previene que se formen cuellos de botella, puesto que es más fácil limitar el trabajo en curso (work in progress)
- Ayuda a calcular el lead time entre las actividades

Son muchas las ventajas que proporciona el sistema Kanban en el método lean, pero también presenta desventajas, ya que no es lo más apropiado en algunos sectores

- Es muy útil cuando la producción de la fábrica es bastante homogénea en el tiempo, es decir, se produce prácticamente lo mismo y en las mismas cantidades. Por otro lado, no es recomendable cuando la producción está sometida a que la demanda sea muy volátil, puesto que se requieren unos ajustes bastante bruscos y este sistema puede desembocar en ineficiencias.
- Otra de las desventajas es la interrupción que puede ocasionar que una de las tarjetas se pierda, se duplique, no se reciba bien la información... provocando retrasos o cuellos de botella.
- Para que el sistema fluya correctamente es necesario que toda la cadena siga el mismo proceso, es decir, no va funcionar de manera adecuada si por ejemplo nuestros proveedores no lo utilizan o no aplican las mismas normas que nosotros.

2.5.5. VALUE STREAM MAPPING (VSM)

El VSM es un mapa que refleja la cadena de valor de un proceso productivo, representando tanto los flujos de materiales como los de información y abarcando desde el proveedor hasta el cliente.

Su principal objetivo es representar de una manera fácil y visual todas las actividades que se llevan a cabo en el proceso, con el fin de identificar la cadena

de valor y ver donde se están produciendo los desperdicios. Se emplea un lenguaje estándar, puesto que cada tipo de proceso tiene un símbolo global definido, por ejemplo, un triángulo determina un stock y las flechas en zigzag el envío de información.

Hay que destacar la línea de tiempos entre actividades que se representa en un VSM, diferenciando entre “VA”, aportan valor añadido, y “NVA”, no aportan valor.

A la hora de ponerlo en marcha se deben dibujar primero los iconos correspondientes a proveedores y clientes, calcular la producción diaria y las características que tiene cada contenedor, dibujar la frecuencia de las entregas y las fechas más relevantes, calcular el tiempo del ciclo (CT), el tiempo de valor añadido, el Lead Time, el takt time.... Todo este proceso está estandarizado y se debe seguir el mismo en todos los procesos y en todas las fábricas, puesto que es un mensaje que todo el mundo debe poder entender (Figura 2.13).

Para llevar un análisis riguroso de este tipo de mapas, lo ideal es que se representen 3 estados, con el fin de poder establecer comparativas entre ellos:

- Estado actual: en este caso se representa cada actividad actual de forma detallada, dejando constancia del porcentaje de aquellas que sí aportan valor añadido y de las que no.
- Estado futuro: se analizan por separado las actividades de no valor añadido, tanto de productos como de información.
- Estado ideal: se representan como sería el proceso ideal a largo plazo si no existieran esas actividades de no valor añadido de las que se puede prescindir.

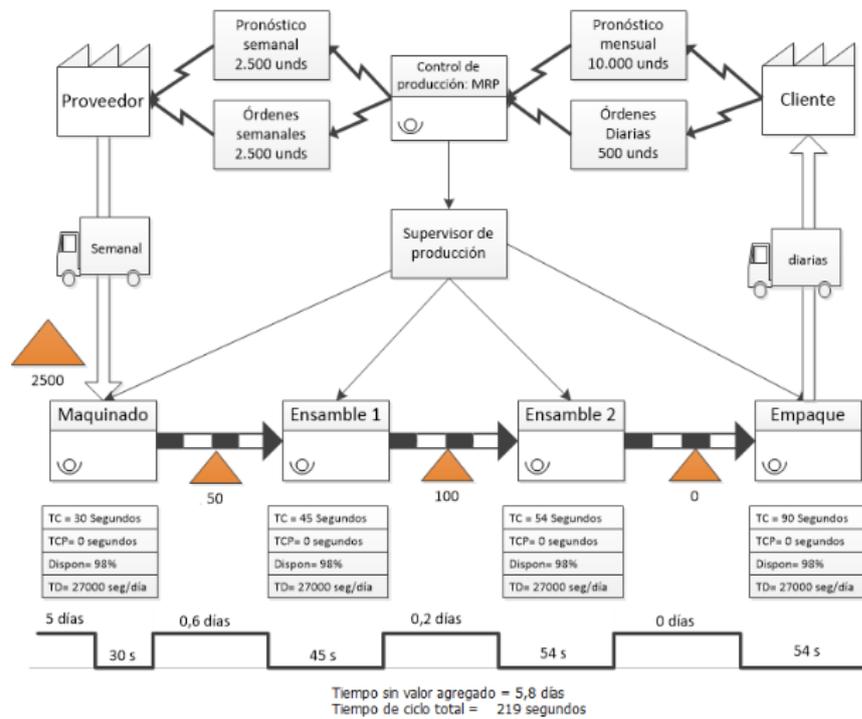


Figura 2. 12 Ejemplo de VSM (B. Salazar López, 2019)

2.5.6. CONTROL VISUAL

El control visual es una de las herramientas de la filosofía Lean que consiste en un conjunto de técnicas que expresan de forma visual en qué situación se encuentra el sistema productivo, centrándose en los despilfarros, de manera que puedan detectarse a simple vista y sean fáciles de comprender.

El objetivo principal de la gestión visual es ayudar a los operarios a que tomen una decisión acertada, evitando errores en los procesos productivos. Desde el punto de vista lean, estas técnicas tratan de que los empleados sean conscientes de que sus acciones y esfuerzos tienen repercusión en los resultados, tanto parciales como totales. Conseguimos así que la motivación del trabajador sea mayor.

Una herramienta de gran ayuda son los tableros de gestión visual, puesto que sirven para orientar las ideas, analizarlas y ponerlas en marcha de una forma fácil de entender.

Existen diferentes tipos de control visual:

- De equipos y espacios: marcas en el suelo, sobre técnicas y estándares, establecer áreas de paso, de descanso...

En la siguiente imagen (Figura 2.14) podemos ver un ejemplo, donde las líneas amarillas delimitan las zonas de paso, el área verde determina el producto terminado o el rojo el que no está conforme, la línea negra y blanca establece la zona de mantenimiento... De esta forma la asociación de colores es fácil de recordar para los operarios y sabrán como actuar en cada momento.

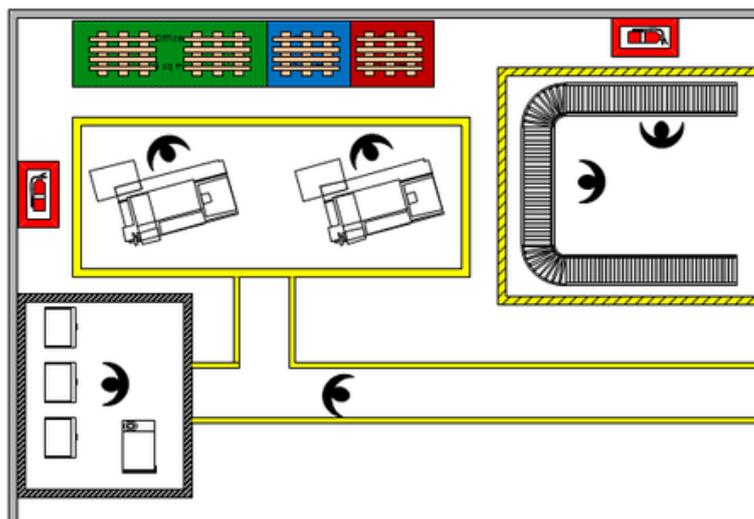


Figura 2. 13 Control Visual (B. Salazar López, 2019)

- De la producción: identificación de stocks, retrasos, reprocesos, programa de producción...
- En el puesto de trabajo: instrucciones de mantenimiento, estudios de movimientos, planificación del trabajo, listas de piezas...
- De la calidad: controles estadísticos, registro de problemas...
- De la seguridad: señales de advertencia, limitar zonas de trabajo...
- Gestión de indicadores: señalar los objetivos, los resultados, el proceso, los proyectos...

Un claro ejemplo lo encontramos en los tableros de resultados (Figura 2.15) donde se muestran de forma gráfica los indicadores más relevantes de la empresa y que todos los empleados sabrán comprender, con el fin de que estén motivados e implicados con los resultados de la empresa.

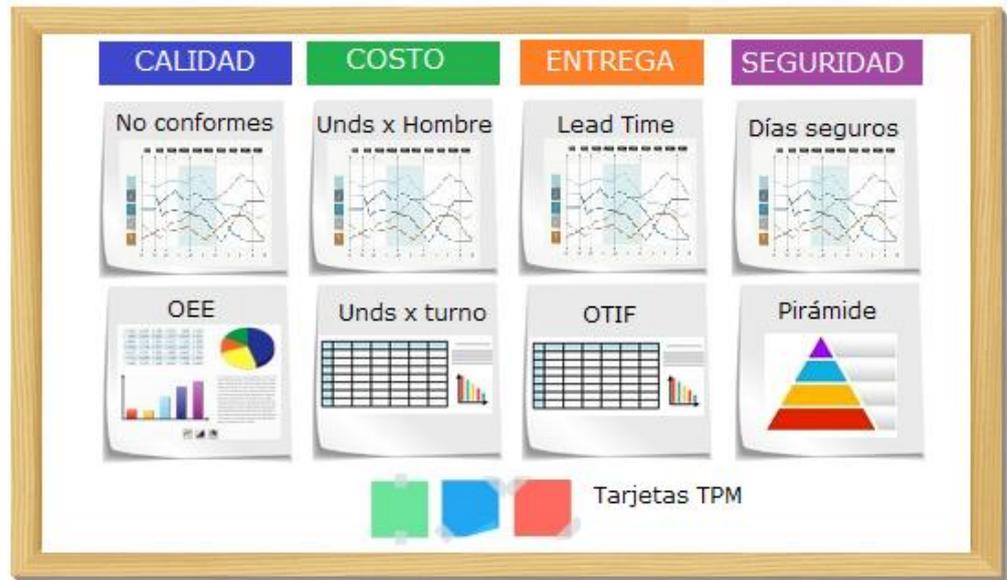


Figura 2.14 Tablero de resultados (B. Salazar López, 2019)

La implantación de la gestión visual requiere tiempo, puesto que se necesita que la cultura de la empresa se adapte a las nuevas normas, herramientas y metodología. Para conseguirlo, todos los empleados deben de ser partícipes, llevando a cabo un “sistema de responsabilidades compartidas” entre todos los departamentos y estableciendo de forma clara las tareas de cada individuo de forma particular y en equipo.

2.5.7. SISTEMAS DE PARTICIPACION DE PERSONAL (SPP)

Los Sistemas de Participación de Personal (SPP) son una serie de actividades que se encuentran organizadas y estructuradas en las empresas lean con el fin de aumentar su competitividad.

Una de las piezas fundamentales de la filosofía Lean son los recursos humanos, ya que son imprescindibles para lograr los beneficios de la empresa

Estos SPP permiten que todos los individuos expongan sus ideas y pensamientos sobre diferentes temas de la empresa. Para implantarlo lo primero que se necesita es que el factor humano se encuentre implicado y dispuesto a poner en práctica este tipo de actividades, es por ello que debemos favorecer esa implicación siguiendo una serie de recomendaciones:

- Seguridad en el trabajo: todos los empleados deben tener garantizada la seguridad en su puesto de trabajo

- Condiciones de trabajo: estas deben ser adecuadas al puesto para fomentar un buen ambiente laboral y que ayude a querer seguir creciendo.
- Formación: una buena motivación es el crecimiento personal, por ello hay que trabajar en la formación continua de los empleados para llegar a los objetivos de la empresa.
- Comunicación personal: establecer una jerarquía de comunicación frecuente es esencial para que no se produzcan conflictos, falta de información, dudas... y esto no permita el avance
- Participación en la mejora: todos los empleados cuentan con una experiencia muy valiosa para seguir mejorando mecanismos de forma particular y global.
- Implicación de todos: crear la conexión necesaria entre todos los miembros, desde los altos cargos hasta los operarios.

Para conseguir todo esto, las empresas cuentan con sistemas de participación que ayudan a lograr los objetivos, como son:

- Equipos de mejora: (o equipos Kaizen): se trata de equipos multidisciplinares que están formados por trabajadores de diferentes departamentos y con distinta responsabilidad. Su misión es poner en marcha técnicas de análisis que sean específicas para conseguir eliminar los desperdicios (mudas) de la cadena productiva, aportando cada uno un punto de vista diferente, puesto que sus puestos de trabajo son variados. Conseguimos así gestionar el conocimiento a todos los niveles de la organización y alcanzar mejoras.
- Grupos autónomos de producción (GAP): son grupos de personas que persiguen la mejora continua de una determinada área de trabajo, enfocándose en los procesos. Son muy importantes en los inicios del lean para comenzar un determinado proceso de la planta. También son los encargados de hacer posteriormente un seguimiento de los resultados, costes, calidad....
- Programas de sugerencias: se trata de medios a disposición de todos los empleados para canalizar sus ideas, es decir, deben contar con la situación inicial y la solución que se propone para mejorar de forma concreta. Suelen enfocarse en mejorar la calidad, la seguridad de los puestos, despilfarro, reutilización de materiales, ahorros energéticos... Los medios más habituales para este tipo de SPP es



a través de boletines internos, en los cursos, fomentados por recompensas...

2.5.8. KAIZEN O MEJORA CONTINUA

La palabra Kaizen hace referencia a “cambio para mejorar”. Se trata de maximizar todos los recursos y capacidades para avanzar a una situación de mejora, luchando contra los desperdicios que se producen.

Para implantar esta técnica en una empresa, es necesario cambiar el pensamiento global hacia una intención de mejora continua, es decir, tener en cuenta que siempre se puede mejorar algo, un proceso, un diseño, un movimiento... es por ello que cuando surge un problema hay que analizarlo en el momento, para detectar las anomalías lo antes posibles y poder corregirlo y que el sistema sea más eficaz.

Este espíritu de mejora continua se puede conseguir a través de una serie de pautas:

- No tener unas ideas fijas, sino que estar abierto al cambio del estado de las actividades y procesos.
- Pensar siempre bajo la premisa de cómo hacerlo y no darse por vencido pensando que no se puede
- Mejorar en el momento, corrigiendo los errores lo antes posible.
- Realizar los 5 porqués para llegar a la solución del problema, partiendo de la verdadera causa de ese problema.
- Contar con varias personas de diferentes ámbitos para contar con una visión más amplia a la hora de aportar propuestas y soluciones.
- Utilizar el método de prueba-error antes de tomar una decisión definitiva.

2.5.9. ESTANDARIZACIÓN

La estandarización es una de las herramientas principales del Lean y en torno a la que giran el resto de técnicas.

Estandarizar consiste en diseñar unos estándares y actuar conforme a los mismos, con el fin en eliminar los desperdicios en los procesos y lograr mejorar la eficiencia.

Según F. Madariaga (2019), “*un estándar es una referencia con la que comprar*”. En la filosofía Lean se utilizan “hojas de trabajo estándar”, donde se expone la manera más eficiente de realizar un trabajo de forma repetitiva y muy detallada (movimientos del operario, maquinaria, herramientas, tiempo, giros, posiciones...), incluso se pueden añadir fotos o dibujos que faciliten la comprensión. Todo estándar debe contar con las siguientes pautas básicas:

- Ser claros y fáciles de entender, aplicando la mejor forma conocida para realizar la actividad
- Contar con los materiales y herramientas adecuados a las técnicas de mejora
- Que todos los operarios de esa actividad lo cumplan para no desviar los tiempos y mejorar la eficiencia
- Tener presente la mejora continua, puesto que un estándar también puede ser mejorado posteriormente.

2.5.10. TÉCNICAS DE CALIDAD

Otra de las herramientas del Lean, es la aplicación de técnicas de calidad, puesto que debemos garantizar que todos los productos que van a llegar hasta nuestros clientes cumplan con las especificaciones necesarias para satisfacer sus necesidades.

Cada trabajador debe convertirse en un inspector de calidad para conseguir que los fallos y anomalías se detecten en el menor tiempo posible y puedan corregirse antes de que causen problemas mayores.

Para aplicar estas técnicas de calidad, existen varias formas que harán más fácil detectar esos errores:

- Autochequeo: se basa en que el mismo empleado que realiza las actividades del proceso productivo, sea también el encargado de velar por la calidad de los productos. Son menos importantes cuando ya se hayan implantado en su área técnicas como el Poka-Yoke.
- Matriz de Autocalidad (MAQ): esta herramienta nos permite ver donde se producen las anomalías y hasta donde tiene repercusión este error. Se elabora una ficha de registros de defectos con la intención de analizar esos errores y saber con todo detalle donde y como se han producido. Posteriormente esos datos se trasladan a una MAQ y se confecciona un plan de acción para cada anomalía que se haya producido.



- **Ciclo PDCA:** es una de las técnicas principales para corregir errores. Consiste en Planificar, Ejecutar, Verificar y Actuar, apostando por la mejora continua en todo el proceso productivo (Figura 2.16):
 - **Plan (P):** identificar los problemas y definir las acciones y estrategias para corregirlos.
 - **Do (D):** poner en marcha el plan de acciones establecido
 - **Control (C):** verificar que se cumplen los resultados y obtener conclusiones del proceso
 - **Act (A):** aprender de las acciones realizadas y plasmar los objetivos conseguidos en forma de estandarización, con la visión de que siempre se puede seguir mejorando

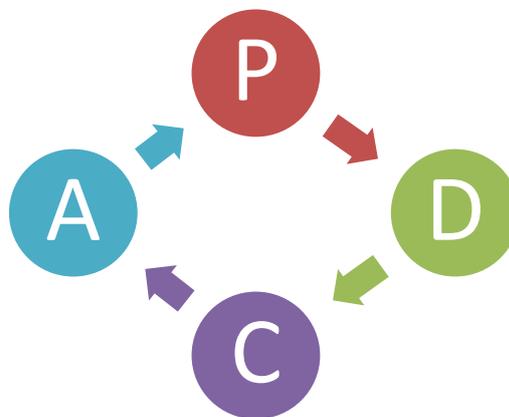


Figura 0.15 Ciclo PDCA (elaboración propia)

2.5.11. JIDOKA

El término Jidoka empezó a utilizarse en el TPS y se entiende como “automatización con un toque humano”.

Su principal objetivo es que se lleve un autocontrol de la calidad, con el fin de que cuando se produzcan fallos en la producción, se detecten de manera inmediata por el sistema o por la persona encargada, impidiendo que los productos o piezas que no cumplan con la normativa continúen en el proceso. Minimizamos de este modo los despilfarros por productos defectuosos.

Para poner en marcha esta herramienta Lean, podemos seguir los siguientes pasos:

- Detectar el problema en el proceso productivo

- Realizar la parada necesaria de maquinaria u operativa
- Hacer una corrección del problema de la forma más inmediata posible
- Tratar de que el error no vuelva a producirse yendo a la causa principal que lo ha ocasionado y corrigiendo los errores.

Derivado del Jidoka, nos encontramos con el término “Poka-Yoke”, que hace referencia a los modos de control que tienen integradas las propias maquinarias y procesos y que tratan de que los fallos humanos, que son inevitables, pasen a convertirse en defectos y que se transmitan de fase en fase del proceso.

Entre los beneficios económicos de poner en práctica el Jidoka, nos encontramos los siguientes:

- Se produce un ahorro de costes en cuanto a las piezas defectuosas, puesto que la empresa tendría que asumirlos si no se detectasen a tiempo y se trataran de evitar antes de que se produzca. Además, si esos fallos llegan hasta el cliente, nos podemos encontrar con una mala imagen de marca.
- Tendremos además un ahorro de mano de obra en el momento en que se haya recuperado la inversión hecha para automatizar los procesos y que se detecten esos errores productivos.

2.5.12. HEIJUNKA

La técnica Heijunka (nivelación) sirve para nivelar la producción en un periodo de tiempo determinado (un día, un turno de trabajo), tanto en volumen como en variedad. Para poder ponerlo en práctica se debe conocer en profundidad la demanda de nuestros clientes.

Con esta herramienta lo que se pretende reducir son los despilfarros, puesto que es muy complicado establecer cuál es la demanda en periodos de tiempo cortos.

Para aplicar esta herramienta de la filosofía Lean, existen varias técnicas que consiguen que el sistema de producción tenga un flujo constante, un tiempo de ciclo establecido y que en su conjunto esté estandarizado, provocando así que todos los recursos sean eficientes y se reduzcan al mínimo necesario los stocks y los tiempos. Esas técnicas son las siguientes:

- Células de trabajo: se trata del diseño de puestos de trabajo donde todas las actividades estén muy cercanas y en secuencia, adoptando habitualmente forma de “U”, logrando de este modo que el inicio y el

fin de esa cadena se encuentren en la misma posición. Cada célula se convierte en una pequeña fábrica dentro de la empresa, produciendo un producto o una parte de él, como podemos ver en la Figura 2.17.

A través de esta técnica conseguimos optimizar todos los recursos, reducimos los inventarios entre los procesos, se mejoran los plazos y se reducen los movimientos innecesarios de los operarios

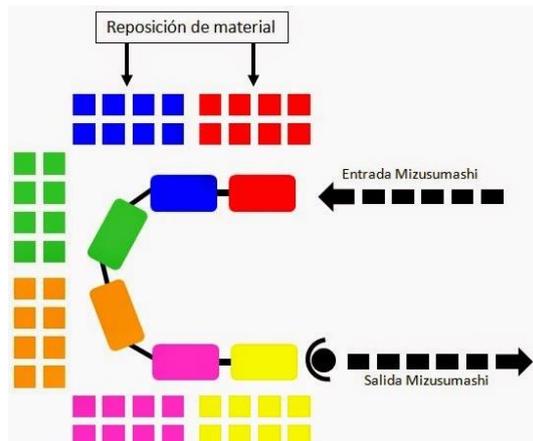


Figura 2. 16 Célula de trabajo (Actioglobal Team, 2014)

- Fujo continuo pieza a pieza: también llamado flujo de una sola pieza (one piece Flow), es una técnica del lean que se basa en un producto pasa directamente de una etapa a otra del proceso, es decir, se produce un flujo secuencial de una sola pieza sin generar inventarios intermedios, nunca se produce más de lo que demanda el cliente. Es una herramienta complementaria a las células de trabajo.

Para que sea útil llevarlo a cabo, es necesario que se sincronicen tanto la información, como los materiales y los operarios, puesto que es necesario que se reduzcan las paradas al mínimo y todos tengan claro cuál es su labor.

- Producir según el takt time (tiempo de ritmo): es decir, coordinar el tiempo de producción con el tiempo de ventas, con el fin de obtener el ritmo de producción. Calculamos el takt time dividiendo el tiempo que tenemos disponible para producir entre la demanda del cliente en periodo de tiempo determinado:

$$Takt\ Time = \frac{tiempo\ disponible\ en\ un\ periodo\ (segundos)}{unidades\ demandadas\ por\ el\ cliente\ en\ un\ periodo}$$

Teniendo como referencia este dato de Takt Time podremos saber si estamos realizando una sobreproducción o si, por el contrario, tenemos un retraso conforme a la demanda,

En la siguiente tabla (Tabla 2.3) podemos ver como se realiza el cálculo de takt time en una célula de trabajo, con unas referencias concretas, en una fábrica que trabaja a tres turnos.

CÁLCULO DEL TAKT TIME		
Célula	C-F1	
Referencia	Familia F1 (P2, P4 y P5)	
Proceso	ADEJGMKLOQ	
Demanda anual (unidades)	132.000	
Días laborables-año	220	
Demanda diaria (unidades)	600	132.000/220
Nº Turnos	3	
Horas de Calendario-turno (h)	8,0	
Paradas Planificadas-turno (h)	0,67	Descansos, Mto. Autónomo...
Tiempo Planificado-turno (h)	7,33	8,0 - 0,67
Tiempo Planificado diario (s)	79.200	3 x 7,33 x 3.600
Takt Time (s)	132	79.200/600
Paradas no Planificadas (%)	10%	
% Averías	4%	
% Cambios de referencia	6%	
Tiempo de Ciclo Planificado (s)	118,8	132 x (1 - 0,04 - 0,06)

Tabla 2.3 Cálculo de Takt Time (Madariaga, 2019)

En este caso, el takt time nos indica que para satisfacer la demanda del cliente (132.000 u/año), estableciendo los días disponibles para trabajar (220 días) y un tiempo planificado por cada turno de trabajo, tendremos que conseguir que esa célula de trabajo produzca una pieza o componente cada 132 segundos. Bajo este ritmo, conseguiremos satisfacer la demanda del cliente.

- Nivelar el mix de producción: esta técnica de Heijunka consiste producir pequeños lotes de productos, aumentando los cambios y siguiendo con las variantes de componentes en la etapa de montaje, con el fin de no producir en masa y estar así adaptados a posibles variaciones de la demanda en el momento en que se produzcan (Figura 2.18).



Figura 2. 17 Fabricación Lean (Marchwinski et al., 2003)

Capítulo 3. Learning Factory

3.1. CONCEPTO

Desde que las Learning Factories aparecieron en el campo de la enseñanza, se han establecido varias definiciones del concepto. Analizando en profundidad, nos encontramos con los términos de “aprendizaje” y “fábrica”, por lo que podemos deducir que se trata de aplicar los conocimientos de un determinado campo de manera práctica en una fábrica. Es decir, los alumnos cuentan con una recreación real de una fábrica donde deben poner en marcha su aprendizaje in situ, con el fin de que aprendan de sus errores, aumenten sus conocimientos y desarrollen su formación de una forma práctica y mucho más visual.

Según M. Tisch (2015), podemos diferenciar dos perspectivas generales sobre las Learning Factories:

- Didáctica: las fábricas de aprendizaje están consideradas como un entorno de aprendizaje complejos, aplicados en su mayor parte a campos como el de la producción
- Operativa: pueden entenderse como una réplica idealizada de sistemas de fabricación reales en los que se lleva a cabo un aprendizaje de manera formal e informal.

En 2013, los miembros de la Iniciativa de las Learning Factories europeas (IELF), se pusieron de acuerdo para establecer una definición sobre este concepto: “Una fábrica de aprendizaje es un entorno de aprendizaje donde los procesos y las tecnologías se basan en un lugar industrial real que permite un acercamiento directo al proceso de creación de productos. Las Learning Factories se centran en un concepto didáctico que enfatiza la experiencia y los problemas basándose en el aprendizaje. La mejora continua se ve facilitada por las acciones propias y la participación interactiva de todos los participantes.”

Tanto las universidades como los centros de formación, tienen que tener muy en cuenta los actuales y futuros perfiles laborales que se demandan y cuáles son sus requisitos. Es por ello que deben contar con una constante adaptación de sus centros educativos a las expectativas del mercado. Esto sobre todo tiene sentido en los entornos innovadores, industriales, tecnológicos... puesto que son los que más rápido cambian. Las exigencias de la industria ahora se centran en una formación que combine tanto la educación y la formación, como la experiencia en las fábricas de aprendizaje.

Los principales objetivos, según su campo de acción, de las Learning Factories son (E. Abele, 2018):

- En investigación: su objetivo es la innovación tecnológica y organizativa
- En educación y formación: desarrollar competencias de manera eficiente.

Es decir, se centran en que los participantes desarrollen sus capacidades, incluyendo la motivación, para hacer frente a situaciones complejas y desconocidas.

Teniendo en cuenta estos objetivos, la aplicación del aprendizaje en una fábrica puede tener lugar en la fase de planificación o realización de los procesos, pero también puede aplicarse a la mejora de procesos ya existentes. Conseguimos de esta manera:

- Representar de manera ficticia cadenas de suministro, bien sean de nueva creación o con el fin de mejorar los procesos con los que ya cuenta.
- Establecer una unión entre los alumnos y sus conocimientos, con el mundo industrial real, así como una unión entre las fábricas y las Learning Factories.
- Conseguir aplicar la mejora continua, tanto en la formación como en la puesta en práctica.

3.2. ORIGEN Y EVOLUCIÓN

Recientes estudios datan de que el concepto de “Learning Factories” se remonta a la época de la Primera Guerra Mundial, fecha en la que creó una Fábrica de Instrucción en el Instituto Loughborough, que tenía como objetivo formar a los trabajadores que no estaban cualificados para la producción de instrumentos para la guerra. Es por ello que podemos considerar que ya se ponía en práctica el concepto de Learning Factory, puesto que no era una fábrica como tal, sino que se encargaba de formar a alumnos para que contaran con la experiencia y el aprendizaje necesario para poner en práctica un trabajo concreto (A. Gento, 2020)

Ya en 1950, la parte práctica dominaba los estudios de ingeniería, puesto que se pretendía que los alumnos que se graduaban fueran de utilidad en la industria en el momento en el que acababan sus estudios. Durante estos años, los estudiantes consiguieron fortalecer su aprendizaje realizando tareas en fundiciones, talleres mecánicos y laboratorios.

Tanto la publicación del informe Grinter en 1956 como el lanzamiento del Sputnik en 1957 en Estados Unidos, provocaron una transformación en la forma de enseñar ingeniería, haciendo especial hincapié en el cálculo y en la ciencia, contando además con herramientas tecnológicas y de simulación que facilitaban el trabajo. En esta década también se produjo un importante incremento en los fondos destinados a la investigación.



El concepto de “Learning Factory” comenzó a potenciarse en 1994, con el respaldo económico de un programa tecnológico aplicado a la ingeniería que puso en marcha la Fundación Nacional de Ciencia (NSF). Pertenecían a este proyecto las universidades de Puerto Rico (Mayagüez), Pensilvania y Washington, además de otras 24 corporaciones (E. Abele, 2018)

El objetivo de este equipo era integrar el diseño, la fabricación y todo el proceso real en la educación de la ingeniería, con el fin de mejorar la formación que se estaba llevando a cabo hasta entonces. Pretendían establecer una conexión entre las industrias, los profesores y los alumnos. Para llevarlo a cabo, se pusieron en práctica varias acciones (J. Lamancusa, 2006)

- **INSTALACIONES DE APRENDIZAJE ACTIVO:** cada universidad puso en marcha espacios para el aprendizaje activo adecuados a sus circunstancias, por ejemplo, las universidades de Pensilvania y de Washington desarrollaron la parte de mecanizado y la creación de prototipos, mientras que la de Puerto Rico se enfocó en procesos relacionados con la electrónica y la farmacéutica. El alumno era la base del aprendizaje y la parte principal de estas instalaciones, puesto que es donde iban a formarse los futuros profesionales. Todas ellas debían contar con la equipación y a seguridad correspondiente.
- **PLAN DE ESTUDIOS BASADO EN LA PÁCTICA:** este fue uno de los objetivos clave para los estudios de ingeniería, estableciendo una unión entre el aprendizaje teórico y la puesta en práctica de esos conocimientos, con el fin de desarrollarlos en base a su utilidad en la vida real. Además, para realizar este aprendizaje activo, ese esencial la comunicación y el trabajo en equipo con otros compañeros. Este nuevo plan incluía:
 - o Análisis de productos a través de la ingeniería inversa hasta llegar a determinar su triunfo.
 - o Ingeniería concurrente para el desarrollo de productos y procesos
 - o Emprendimiento tecnológico, contando con innovaciones que ayudaran a la mejora del desarrollo de los procesos
 - o Ingeniería de calidad de procesos para mejorarlos
 - o Diseño interdisciplinario, puesto que era conveniente contar con alumnos de diferentes departamentos.
- **ASOCIACION DE LA INDUSTRIA:** es esencial que las industrias reales apoyen este tipo de proyectos, puesto que es una manera de poder mejorar sus procesos y de poder acceder a alumnos muy formados para poder incorporarlos laboralmente.

- **DIVULGACION:** otro elemento importante fue que las Learning Factories fueran conocidas en todo el mundo, por lo que realizaron numerosos talleres para mostrar esta nueva forma de aprendizaje con la intención de que se pusieran muchas más en marcha y poder fortalecer la educación de los ingenieros.

Ya en los años 200, comenzaron a implantarse Learning Factories en Europa. Los procesos de producción que se ponían en práctica estaban enfocados a realizar múltiples actividades dentro del proceso, como el mecanizado, ensamblaje y funciones logísticas y de calidad.

En 2011 tuvo lugar en Darmstadt la “First Conference on Learning Factories”, donde se desarrolló la Iniciativa sobre Learning Factories europeas (IELF), cuyo objetivo era cooperar en el desarrollo de proyectos de investigación con el fin de seguir mejorando.

Este plan de mejora estableció una colaboración conjunta de toda Europa, por lo que tuvieron lugar sucesivas conferencias sobre Learning Factories: Viena (2012), Múnich (2013), Estocolmo (2014), Bochum (2015), Gjovik (2016) y Darmstadt (2017).

Además, en 2014 se inició un grupo de colaborativo en base a la IELF sobre “Learning Factories para la investigación y educación orientadas al futuro en la fabricación”, cuya intención era organizar una investigación a nivel mundial sobre las fábricas de aprendizaje y realizar así un lenguaje común de los términos que utilizan en el campo además de reforzar la unión entre la educación y la industria.

3.2.1. UNIVERSIDAD DE PENNSILVANIA:

Como hemos visto anteriormente, en la Universidad de Pensilvania, con el apoyo de la NSF, se implantó una Learning Factory en 1995.

Esta fábrica está dirigida por T. Simpson, que, junto con otros ocho profesores, trabajan de manera continua para facilitar el aprendizaje de los estudiantes. Con el fin de adaptarse a las necesidades de cada alumno, cuenta con un amplio horario de 8 a 22 horas.

El número de participantes ronda entre los 600 y los 1200 y llevan a cabo alrededor de 120 proyectos al año.



En la siguiente Figura 3.1 se muestra el plano de la Universidad que cuenta con 6500 pies cuadrados tras sufrir una ampliación, ya que inicialmente contaba con 3500 pies cuadrados.

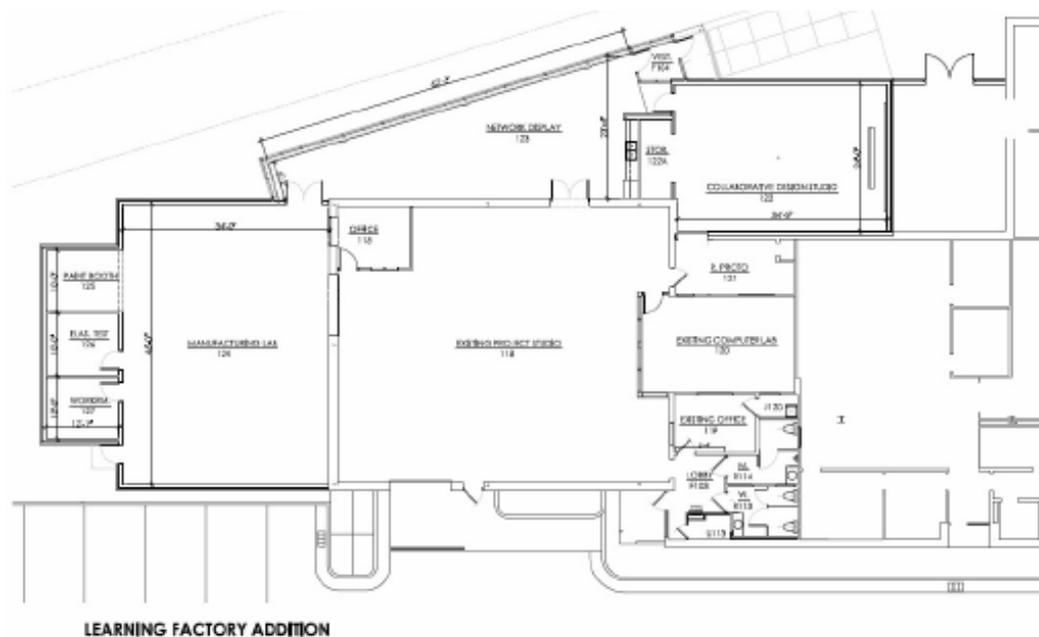


Figura 3.1 Plano de la Universidad de Pensilvania (H. Hadlock, 2008)

Tras realizar esta ampliación, los estudiantes tuvieron acceso a un laboratorio específico para la investigación, poder realizar diseños de ingeniería y de poder fabricar y productos de manera real.

La universidad de Pensilvania ha recibido muchos premios por la incorporación de la Learning Factory a su programa de aprendizaje, como el Premio a la Innovación Curricular de la Sociedad Estadounidense de Ingeniería Mecánica en 1996.

3.2.2. UNIVERSIDAD DE WASHINGTON

La Learning Factory de la Universidad de Washington es un laboratorio dirigido por los departamentos de Ingeniería Mecánica e Ingeniería industrial. Se puso en marcha en 1994 a través de fondos que recibió de NSF.

Esta escuela de aprendizaje es utilizada por profesores y alumnos de la universidad y cuenta con un horario de apertura de 8 de la mañana a 5 de la tarde. Además, los participantes deben contar con cursos de seguridad realizados para poder utilizar los talleres de los que dispone. Cuenta con dos plantas útiles y una superficie aproximada de 6.600 pies cuadrados, como se muestra en la Figura 3.2

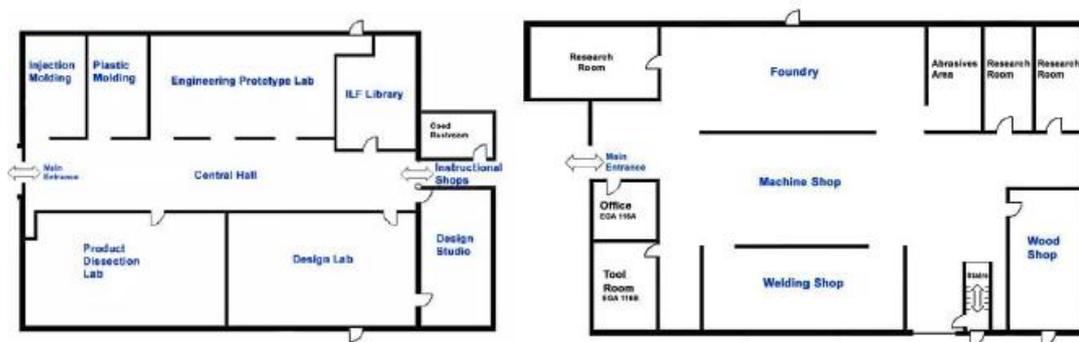


Figura 3.2. Plano de Learning Factory de la Universidad de Washington (H. Hadlock, 2008)

El taller con el que cuenta dispone de muchos equipos disponibles para los estudiantes, como 5 tornos de motor, 6 fresadoras, 3 prensas, amoldadoras, lijadoras, herramientas eléctricas... Además, tiene un taller de soldadura, un taller de carpintería y uno de fundición.

Esta Learning Factory ha conseguido muchos logros, puesto que durante el primera año y medio de funcionamiento ya habían participado cerca de 450 alumnos. Lleva a cabo diferentes cursos de ingeniería de calidad de procesos, ingeniería simultánea, sobre emprendimiento... Son muchas las empresas que colaboran con la universidad para realizar estos cursos.

3.2.3. UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO EN MAYAGÜEZ

La tercera Learning Factory mencionada es la referente a la Universidad de Puerto Rico (Mayagüez), que es una de las escuelas de Ingeniería con más alumnos matriculados y graduados.

La mayoría de las aplicaciones de investigación que se han llevado a cabo en esta Universidad giran en torno a empresas farmacéuticas, de biotecnología y electrónicas. Es por ello que se desarrolló aquí una Learning Factory con el fin de apoyar a todas las industrias de Puerto Rico.

La Learning Factory que pusieron en marcha ha ido evolucionado notablemente con el paso del tiempo, puesto que la universidad tiene una gran fuerza en el entorno laboral de Puerto Rico y en su desarrollo económico. Gracias a este apoyo, la fábrica de aprendizaje ha llegado a convertirse en una planta de fabricación de productos electrónicos.

Estas instalaciones proporcionan a los estudiantes gran experiencia en el entorno de la fabricación, desde el punto de vista de la calidad, la entrega, la mejora continua y

productividad. Los alumnos que quieran dedicarse a la línea de montaje tiene que realizar un curso de ensamblaje para posteriormente incorporarse a la escuela y poder ser contratados por las empresas posteriormente.

Los estudiantes que están en la Learning Factory son los responsables y los encargados de que se cumpla con la calidad, los plazos y las especificaciones necesarias. La escuela está abierta de 7 a 19 horas.

La siguiente imagen (Figura 3.3) muestra el plano de la escuela, de unos 4.000 pies cuadrados.

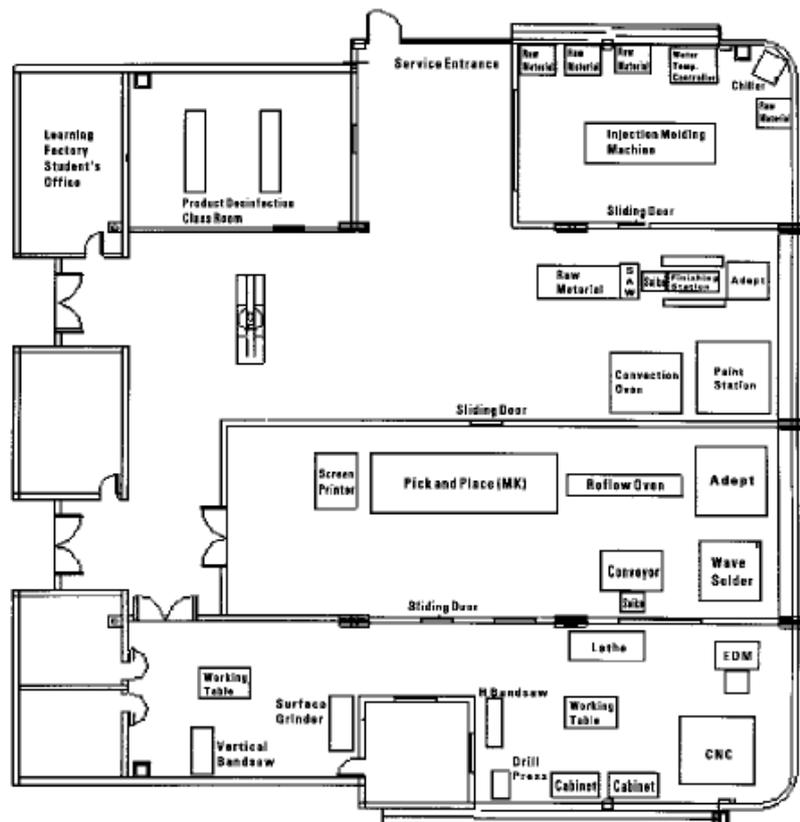


Figura 3.3 Plano de la Learning Factory de la Universidad de Puerto Rico (H. Hadlock, 2008)

3.3. APRENDIZAJE ACTIVO

El aprendizaje activo se enfoca en la participación activa por parte de los alumnos, evitando que solamente se centren en conocimientos teóricos, con el fin de que puedan analizar diferentes situaciones, poder aportar sus propias ideas y soluciones y, por último, evaluar los resultados obtenidos. Está basado en la comprensión integral de información y situaciones problemáticas, impulsando a los alumnos a pensar lo que hacen. (E Abele, 2018).

3.3.1. TIPOS DE APRENDIZAJE ACTIVO

En el caso de la educación en ingeniería a través de las Learning Factories, son muchas las posibilidades que se plantean poniendo en práctica el aprendizaje activo. Este concepto de aprendizaje activo es el concepto básico, pero puede subdividirse en muchos otros tipos según sus características específicas (Figura 3.4):

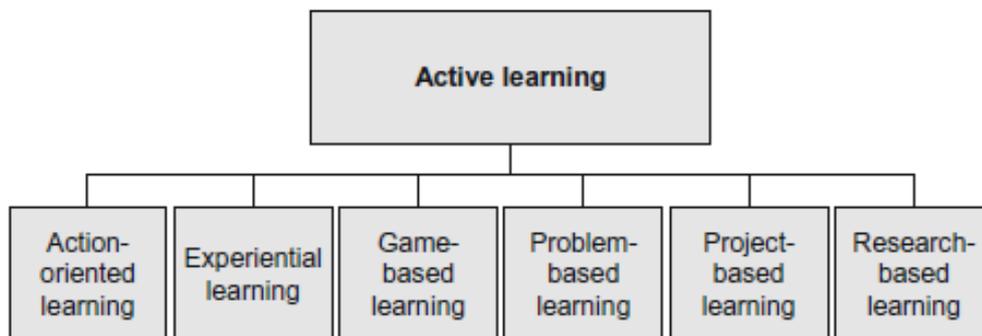


Figura 3.4 Tipos de aprendizaje activo en Learning Factories en el campo de la ingeniería (E. Abele, 2018)

- **APRENDIZAJE ORIENTADO A LA ACCIÓN:** este tipo de aprendizaje activo se centra en la integración del alumno en el proceso de aprendizaje a través de sus propias acciones y experiencia. Su principal objetivo es conseguir una mejora en la comprensión de las posibles soluciones que se puedan plantear ante un problema, de manera que sepan analizar sus efectos y viabilidad. El aprendizaje consciente de los alumnos surge a raíz de las actividades y acciones y no a la inversa. En este caso, los profesores responsables ejercen como supervisores, dando toda la importancia a los alumnos. En el entorno de las Learning Factories se pone en marcha a través de simulaciones, juegos de rol, realidad virtual...
- **APRENDIZAJE EXPERIMENTAL:** es uno de los conceptos más conocidos del aprendizaje. E. Abale (2018) lo define como “El proceso mediante el cual el conocimiento se crea a través de la transformación de la experiencia” En este caso los alumnos adoptan roles simulados de la profesión de ingeniería. El proceso de aprendizaje experiencial, el conocimiento y las competencias del alumno se desarrollan a través de:
 - o La experiencia concreta en un determinado campo
 - o Observación reflexiva
 - o Conceptualización abstracta: análisis, interpretación, ideas de mejora...

- Nueva experiencia activa al transformar los conceptos desarrollados en las anteriores fases

El desarrollo de estas competencias también se refleja a través de las simulaciones, el estudio de casos, aprendizaje en proyectos... que también pueden combinarse con otros métodos de aprendizaje activo.

- **APRENDIZAJE BASADO EN JUEGOS:** podemos diferenciar dos tipos:
 - **Juegos “serios”:** se trata de situaciones de juego estructuradas, con el fin de ayudar al alumno a mejorar sus capacidades mediante la educación a través de juegos.
 - **Gamificación:** en este caso se toman elementos concretos del diseño del juego y se colocan en otro contexto. Se utiliza para hacer más atractivas situaciones ajenas al propio juego.

Ambos tipos pueden implementarse en las Learning Factories, por ejemplo, se crea un juego donde los alumnos tienen que trabajar en equipo para alcanzar un objetivo, que puede ser conseguir ciertos productos con una determinada calidad. También puede orientarse a que se formen varios equipos todos ellos con la misma tarea para que compitan entre ellos.

En la siguiente Figura 3.5 podemos ver los pasos que se llevan a cabo para implantar elementos de gamificación en el aprendizaje, partiendo desde la experiencia hasta llegar a poder transferirlo a otras situaciones.

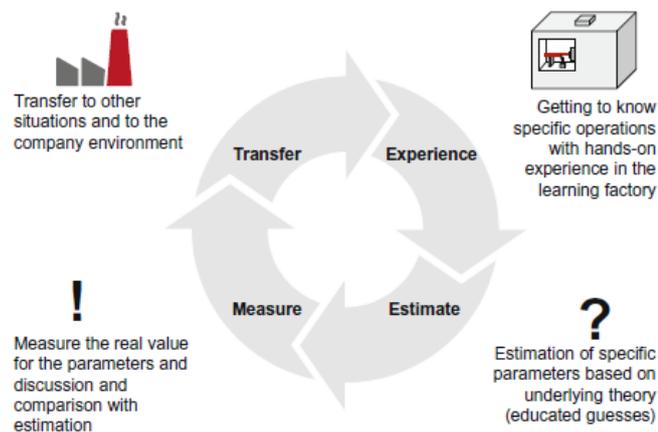


Figura 3.5 Pasos de un método de aprendizaje utilizando elementos de gamificación (Böhner et al., 2015)

- **APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS:** este aprendizaje se centra en que los alumnos partan de un problema como estímulo para comenzar el aprendizaje activo, sin conocer los antecedentes o principios relacionados con el mismo. Cuenta con los siguientes pasos:

- Aclarar los conceptos de la descripción del problema
 - Definir correctamente el problema enumerando los términos a explicar
 - Analizar el problema exponiendo explicaciones a partir de los conocimientos previamente adquiridos
 - Describir de manera crítica las explicaciones que se han propuesto y establecer los procesos de manera coherente.
 - Establecer los posibles problemas que aparezcan durante el proceso de aprendizaje
 - Seguir aumentando el conocimiento de manera autónoma a través del estudio
 - Compartir todo lo aprendido en el proceso con el resto del grupo aportando una explicación clara.
- **APRENDIZAJE EN BASE A PROYECTOS:** en este caso, el aprendizaje se basa en que los alumnos trabajan en grupo con proyector reales para que sientan una motivación por liderar ese contenido mientras llevan a cabo la resolución de problemas, preguntas y se desarrollan otros proyectos paralelos. Además, los estudiantes también pueden ponerlo en práctica en un entorno de producción real, denominados Proyectos de Diseño Avanzado.
- **APRENDIZAJE BASADO EN LA INVESTIGACIÓN:** el aprendizaje en el contexto de la universidad debe organizarse en un modo de investigación, resolviendo problemas aun no completamente resueltos que permitan una cultura abierta para la discusión entre profesores y alumnos en diferentes ramas. Se puede establecer la siguiente clasificación dentro de este concepto.
- Aprendizaje guiado por la investigación: se enfoca la educación en función de los resultados de investigación actuales. Los estudiantes asumen el papel de audiencia pasiva.
 - Aprendizaje orientado a la investigación: comprensión del proceso y de las técnicas adecuadas. Los alumnos tampoco participan activamente
 - Aprendizaje tutorizado de investigación: discusión entre los alumnos y los profesores sobre las ramas de investigación. Los alumnos participan, pero no están involucrados directamente con el proceso de investigación



- Aprendizaje basado en la investigación: los alumnos se forman deseando, experimentando y generando resultados y nuevos procesos y descubrimientos. En este caso los alumnos sí participan de manera activa y directa en el proceso de investigación.

3.3.2. BENEFICIOS DEL APRENDIZAJE A TRAVÉS DE LA EXPERIENCIA

Al igual que otros ámbitos cotidianos, el aprendizaje también ha sufrido cambios en los últimos años, sobre todo por los avances tecnológicos. Es por ello que ahora no necesitamos memorizar tantas cosas, puesto que tenemos al alcance herramientas que permiten almacenar todos los datos y poder acceder a ellos de manera inmediata.

Antes las formas de aprendizaje se basaban en libros, estudios e información que proporcionaban los maestros. Ahora contamos con millones de fuentes de información a través de internet, donde podemos obtener lo que buscamos con tan solo un clic y además poder contrastarlo. Es por ello, que las técnicas de enseñanza también deben variar y adaptarse a los tiempos que corren, con el fin de optimizar la educación, la atención y el tiempo empleado. Todo ello puede conseguirse a través del aprendizaje activo y experiencial.

A continuación, se establecen una serie de razones por las que el aprender a través de la experiencia es beneficioso para los alumnos (S. Kamath, 2014):

- **SE ACELERA EL APRENDIZAJE:** memorizar conceptos y procesos de manera sistemática ha sido sustituido por el método de “Learning by doing” (aprender haciendo), de forma que el aprendizaje experiencial nos lleva a poner en práctica un pensamiento crítico, con el fin de resolver problemas y tomar las decisiones adecuadas para hacer frente. De este modo, conseguimos que el aprendizaje sea más rápido, puesto que es más fácil retener algo de lo que has sido participe que simplemente memorizar algo que no has visto.
- **ESCENARIO DE APRENDIZAJE SEGURO:** aprender a través de aulas que cuentan con entornos reales permite a los alumnos poder cometer errores sin que tengan graves consecuencias. Al contrario, es esencial que se comenten fallos a lo largo de la formación, puesto que corregirlos es lo que más fomenta el aprendizaje. De este modo, conseguimos que esos alumnos sepan cómo actuar cuando salgan al mundo laboral, puesto que con un aprendizaje tradicional no se establecen situaciones reales, sino que solo son conscientes de las posibles variaciones teóricas, pero no desarrollan su capacidad de reacción antes diferentes escenarios.
- **ESTABLECE UNA REALACIÓN ENTRE LA TEORIA Y LA PRÁCTICA:** primero el alumno debe contar con unos conocimientos teóricos sobre una

materia determinada, puesto que son la base de todo aprendizaje. Una vez conozca estos aspectos, a través de la teoría “Learning by doing”, debe ponerlos en práctica de manera simulada, es decir, cuando aún está en su periodo de formación académica, no cuando ya ha salido a una empresa real. De este modo, el alumno establece una relación con lo que ha aprendido en los libros y su puesta en práctica en una empresa simulada.

- **CAMBIA LA MENTALIDAD:** el aprendizaje activo es uno de los métodos que más repercusión puede tener en la mentalidad del alumno, puesto que, si solo se aprende de manera teórica en el aula, no se tiene una visión real de su aplicación, además, poder liderar un equipo de personas o trabajar en grupo para desarrollar un plan, son destrezas que no se aprenden con los libros, sino experimentando.
- **NIVELES DE PARTICIPACIÓN MAS ELEVADOS:** este tipo de aprendizaje fomenta la implicación y el compromiso de los alumnos por llevar a cabo una determinada actividad, contando con su apoyo a la hora de resolver los problemas que puedan darse. Además, conlleva a que trabajen en equipo, que sepan escucharse y poner en marcha soluciones conjuntas, asumiendo como propios tanto los errores como los aciertos, puesto que se van a sentir parte del proyecto.
- **PRECISIÓN A LA HORA DE EVALUAR RESULTADOS:** una vez realizadas las prácticas en el aula, se obtienen una serie de resultados que los alumnos deben analizar y examinar para poder sacar unas conclusiones de los mismos. Al haber realizado de manera real las actividades, nos permite ver cuáles han sido los puntos positivos o negativos y como prevenir los errores en el futuro los errores que hayan surgido que puedan ser evitados.
- **FOMENTA EL APRENDIZAJE PERSONALIZADO:** el aprendizaje tradicional no se centra en ningún individuo concreto, sino que forma de manera general para un conjunto masivo. Por el contrario, a través de la experiencia cada proyecto debe contar con fases de evaluación, estrategias de enseñanza y elección del plan de estudios, con el fin de proporcionar un aprendizaje personalizado para unos alumnos concretos, siendo estos los que van a marcar su propio ritmo y sacando lo mejor de cada uno de ellos a través de la simulación y de la tecnología.

3.4. ESCENARIOS DE APLICACIÓN DE LAS LEARNING FACTORIES

Como hemos visto, las Learning Factories son un formato de enseñanza que puede aplicarse a muchos entornos, aunque ninguna de estas fábricas suele parecerse a otra, puesto que cada una está enfocada a una fábrica concreta de un determinado sector (E. Abele, 2018).

Es por ello que podemos destacar y analizar los escenarios de aplicación más usuales de este tipo de fábricas de aprendizaje: educación, industria e investigación (Figura 3.6)



Figura 3.6 Estructura detallada de los escenarios de aplicación (E. Abele, 2018)

3.4.1. LEARNING FACTORIES EN EDUCACIÓN

Desde la implantación de la Learning Factory en la Universidad de Pensilvania, el papel que han jugado los alumnos en estas fábricas ha sido esencial, puesto que desde el principio se enfocaron a establecer un nexo de unión entre el aprendizaje tradicional y el mundo real. Podemos identificar dos programas principales de educación en ingeniería

- **Abrir proyectos de estudiantes:** estos proyectos suelen durar semanas o meses en algunos casos. En este caso, los alumnos se enfocan en buscar o diseñar soluciones técnicas u organizativas para situaciones ya definidas. Muchos de ellos están asociados directamente a la industria, mientras que otros están supervisados por una persona encargada y especializada

(Figura 3.7). de esta forma, los alumnos consiguen establecer posibles respuestas a problemas, siempre abiertas a posibles nuevos cambios y actualizaciones y nunca son aplicadas en la realidad sin haber pasado una serie de requisitos y supervisiones, comprobando su efectividad.

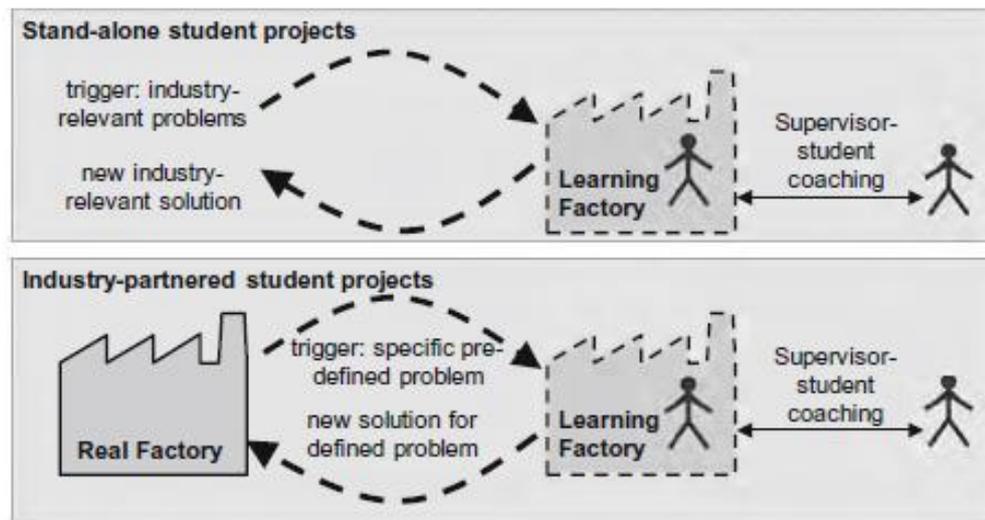


Figura 3.7 Learning Factories en la educación con proyectos independientes o asociados a la industria (E. Abele, 2018)

- **Cursos dirigidos y cerrados:** en este caso tiene una duración de unas horas o pocos días. Se alterna la teoría y la práctica y además estos cursos tienen una previa planificación, es decir, los alumnos se enfrentan a un problema ya predefinido que está enfocado a un fundamento teórico. Son, por ejemplos, los que se realizan como parte de una conferencia.

Con estos dos modelos de aprendizaje conseguimos que alumnos puedan verificar los conceptos teóricos aprendidos, así como integrar a las fábricas en ese proceso de aprendizaje, manteniendo dichos alumnos siempre un papel activo para afrontar los problemas que se planteen.

3.4.2. LEARNING FACTORIES EN FORMACIÓN

En el caso de la aplicación de las Learning Factories en formación, estas fábricas pueden perseguir diferentes objetivos, aunque de manera general se pueden definir tres tipos de aplicaciones:

- **Desarrollo de competencias como objetivo principal:** se pueden poner en práctica técnicas similares a las de la educación, con la salvedad de que el

tiempo del que se dispone para desarrollar las actividades es mucho más limitado.

- Parte de los enfoques de gestión del cambio: motivando a los alumnos para que superen las barreras del proceso.
- Aplicación en las nuevas tecnologías e innovación.

La siguiente figura (Figura 3.8) muestra el circuito de retroalimentación del aprendizaje, estableciendo un “aprendizaje de ciclo único” y un “aprendizaje de doble ciclo”:

- Aprendizaje de ciclo corto: conecta el feedback de información y las decisiones que se toman. La información que se transfiere esta solamente enfocada a una situación única y no se puede aplicar a otras situaciones.
- Aprendizaje de doble ciclo: relaciona la causa-efecto de los procesos con las reglas de decisión. Solamente con este aprendizaje de doble ciclo se consiguen desarrollar competencias cognitivas en los alumnos, puesto que mejora la capacidad de estos para enfrentarse a nuevas situaciones complejas

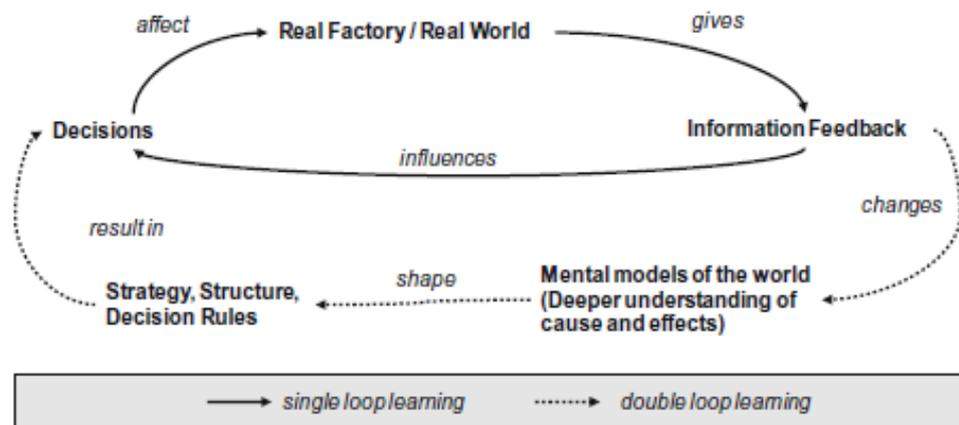


Figura 3.8 Aprendizaje como un proceso de retroalimentación (Sterman, 1994)

3.4.3. LEARNING FACTORIES EN INVESTIGACIÓN

Las fábricas de aprendizaje en investigación son útiles para ponerse a utilizarse como entornos de laboratorio para sistemas de fabricación, con el fin de identificar problemas de investigación en un ambiente real y poder aplicar diferentes soluciones de manera más simplificada y con unos costes mucho más reducidos. Podemos diferenciar varios pasos para su aplicación (E. Abele, 2018)

- Identificación del problema que se va a tratar
- Análisis de los datos reales relacionados con el problema en cuestión

- Búsqueda de soluciones partiendo de una base teórica
- Aplicación de las soluciones establecidas y análisis de los resultados y nuevos conocimientos adquiridos.

Frecuentemente, las Learning Factories se utilizan como validación de los resultados de investigaciones ya desarrolladas anteriormente. Algunos de esos proyectos tratan sobre los siguientes temas, partiendo de diferentes áreas de investigación:

- Procesos de mejora continua
- Impacto de fijar objetivos concretos en el proceso productivo
- Control de procesos de montaje
- Aplicación tecnológica en las fábricas inteligentes
- Prevención de defectos

Las Learning Factories en este campo de la investigación también son muy útiles desde el punto de vista de que tienen la opción de poder combinar los beneficios de los experimentos de campo con los de laboratorio.

3.5. DIMENSIONES DE LAS LEARNING FACTORY

Una fábrica de aprendizaje solamente puede representar unas determinadas secciones de una fábrica, por lo que se debe detallar qué parte de esa realidad se está poniendo en práctica para el aprendizaje. Las posibles dimensiones con las que puede contar una Learning Factory y la variedad de las mismas se representan mediante un determinado formato, con el fin de que se pueda comprender en todo el mundo a través de un mismo sistema. Esta determinada morfología tiene como fin (E. Abele, 2018):

- Proporcionar orientación en el curso del diseño de nuevas fábricas de aprendizaje
- Describir, distinguir, comparar y estructurar los conceptos existentes de la fábrica de aprendizaje
- Identificar los diseños de las fábricas de aprendizaje que sean adecuados en situaciones específicas

Podemos agrupar las características de las Learning Factories en 7 dimensiones según su morfología (Tabla 3.1):

DIMENSIONES DE LAS LEARNING FACTORIES	
1.	Objetivos y propósitos
2.	Proceso
3.	Entorno
4.	Modelo operativo
5.	Producto
6.	Didáctica
7.	Métrica

Tabla 3.1 Dimensiones de las Learning Factories según sus características

A continuación, analizaremos cada una de estas dimensiones, teniendo en cuenta que las 3 primeras (objetivos y propósitos, proceso y entorno) son las más importantes y las que clasifican más concretamente una factoría de aprendizaje, por lo que serán las utilizadas a la hora de analizar las Lean Learning Factories (Figura 3.9)

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación						
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública					
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos		Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje	
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba	Mantenimiento				Reciclaje		
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación					Picking y embalaje	Envío	
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación		Desarrollo		Prueba virtual				Manteamiento	Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias						
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención					
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital		Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real						

Figura 3.4.3 Dimensiones de análisis de las Learning Factories (E Abele, 2018)

A. OBJETIVOS Y PROPOSITOS

Como hemos visto en el apartado 3.4, las Learning Factories se pueden utilizar para la educación de los alumnos, la formación en el entorno industrial y la investigación relacionada con la producción, es decir, promueven el desarrollo de competencias y de innovación.

Otros propósitos secundarios que describen la razón de ser de la Learning Factory son las pruebas tecnológicas, la producción de productos y crear una buena imagen de estas fábricas de aprendizaje. Además, en los últimos años ha cobrado gran importancia todo lo relacionado con la industria 4.0, con el fin de aportar nuevas ideas útiles e innovadoras a las fábricas reales.

En relación a la educación y la formación en la Learning Factories se pueden establecer grupos homogéneos o heterogéneos dependiendo del objetivo a alcanzar (Figura 3.9)

B. PROCESO

Esta dimensión alberga el proceso de producción que se lleva a cabo en la Learning Factory, puesto que todas ellas tienen que contar un proceso de producción especificado y detallado. Podemos identificar 4 ciclos de vida en torno a la producción, que se relacionan entre sí (Figura 3.9):

- Ciclo de vida del producto: describe las fases de la vida del producto, desde que surge la idea hasta que se recicla o elimina en su fase final
- Ciclo de vida de la fábrica: al igual que con el producto, la fábrica también pasa por diferentes fases desde su planificación y creación hasta su desmantelamiento
- Ciclo de vida del pedido: engloba desde que el cliente realiza ese pedido hasta que le llega.
- Ciclo de vida de la tecnología: en este caso va desde la planificación inicial de esta tecnología hasta su desarrollo, uso y modernización.

Todos ellos están relacionados con la parte de ensamblaje, mecanizado y logística y, además, cuentan con unas funciones indirectas, que están involucradas indirectamente dentro de proceso de producción, por ejemplo, en el campo de compras y ventas. Estas actividades se centran en el tipo de proceso, la organización de la producción, el grado de automatización...

C. ENTORNO

Esta vez se centra en el escenario de aprendizaje y sus características para llevar a cabo la formación correspondiente. Podemos diferenciar entre (Figura 3.9):



- Ambiente de aprendizaje: las Learning Factories muestran el entorno de una fábrica real donde los alumnos puedan poner en práctica sus conocimientos a través de su propia experiencia y ese entorno puede ser desde totalmente físico y presencial hasta estar totalmente digitalizado y llevarse a cabo de manera virtual
- Escala ambiental: podemos contar con un entorno de aprendizaje diseñado a tamaño real, es decir, que se utilice en fábricas reales o, por el contrario, contar con equipos de escala más reducida que están inspirados en los reales.

Estas Learning Factories pueden contar con un solo proceso de fabricación o, por el contrario, con una fábrica entera o incluso una red de fábricas.

La flexibilidad y la variabilidad son dos términos de gran importancia en estas fábricas, que deben aplicarse al producto, al proceso, a la organización y al diseño:

- Flexibilidad: el entorno se puede adaptar de manera rápida a las necesidades del aprendizaje y de la realidad.
- Variabilidad: es la capacidad que tienen de poder adaptar el entorno a cambios imprevistos

Para conseguir estas capacidades en los sistemas de aprendizaje, se debe contar con propiedades especiales, conocidas como habilitadores de cambios, que son: la movilidad, el modularidad, la compatibilidad y la universalidad.

D. MODELO OPERATIVO

Esta dimensión operativa se basa en como las organizaciones operativas consiguen que las Learning Factories cuenten con un funcionamiento sostenible, logrando el desarrollo continuo de competencias en todos los niveles jerárquicos y la innovación en todas las áreas de trabajo.

La mayoría de las fábricas de aprendizaje pertenecen al campo académico, aunque las empresas también son una importante organización operativa.

Para conseguir adaptar de manera continua el concepto de Learning Factory podemos diferenciar 3 dimensiones de sostenibilidad:

- Sostenibilidad del económica y financiera: se debe hacer una financiación inicial para contar con el equipo y las instalaciones necesarias, y posteriormente aplicar un modelo de negocio que controle y establezca todos los gastos derivados de la actividad.
- Sostenibilidad del contenido o temática: se debe organizar la fábrica de aprendizaje de forma que se puedan ir integrando nuevos contenidos en el programa de aprendizaje inicialmente establecido.

- Sostenibilidad personal: para lograr el éxito, se debe contar con el personal adecuado, tanto desde el punto de vista de las personas responsables y que coordinan las actividades, como de los alumnos, que deben contar con unos conocimientos previos para desarrollar los procesos de manera adecuada.

E. PRODUCTO

Una parte muy importante de los procesos productivos de las Learning Factories son los productos que se realizan y sus características, puesto que influyen en:

- La complejidad del entorno de la fábrica y la complejidad para los alumnos.
- Los costes de los materiales y de las personas especializadas en las actividades
- El valor añadido que puedan proporcionar al proceso productivo

En la mayoría de los casos los productos que se utilizan estas adaptados a los que realmente se producen en las fábricas, con el fin de conseguir una experiencia lo más real posible y casi siempre son bienes materiales y no servicios.

Las Learning Factories suelen contar con productos desmontables, puesto que de este modo se pueden reutilizar y montar y desmontar los componentes tantas veces como quiera, ahorrando mucho en costes.

F. DIDACTICA

Este componente se basa en las técnicas y métodos de enseñanza que se utilizan en las Learning Factories. Para ello es importante establecer varias preguntas antes de desarrollar el plan de aprendizaje:

- Qué se debe aprender y qué objetivos se tienen durante el proceso de aprendizaje
- Cómo se debe aprender en el sentido de la autonomía de los alumnos, el formato de aprendizaje a poner en práctica, los elementos integrados y las características de las personas encargadas de formar a los alumnos.
- Cuál será el canal de comunicación y las características del entorno
- Como serán los niveles y los instrumentos de evaluación

G. METRICA

En el caso de la métrica, se representan de manera cuantitativa conceptos propios de la fábrica de aprendizaje como pueden ser el número de alumnos que participan, la duración que tiene cada actividad o proceso...



A través de este componente se puede establecer de manera más concreta si se están cumpliendo los objetivos, dónde pueden encontrarse los errores y cuáles son sus consecuencias.

3.6. CONTENIDO DE LAS LEARNING FACTORIES

El contenido de las Learning Factories también puede ser variado, puesto que, aunque todas tengan unos objetivos generales, también cuentan con unos objetivos concretos que dependen de la materia que se vaya a impartir o de la parte de la ingeniería que se vaya a enseñar. Es por ello que podemos distinguir:

- Learning Factories para la producción lean: tratan de enfocar el aprendizaje a la mejora del proceso de producción, permitiendo al alumno desarrollar métodos lean y de JIT. Una gran parte de las fábricas de aprendizaje se centran en este tipo de materia sobre la producción ajustada, puesto que es algo muy demandado por las empresas y que muchas tratan de implantar.
- Learning Factories para la industria 4.0: hoy en día es necesario que existan profesionales formados para implementar la industria 4.0 en los procesos productivos de las fábricas. Por ello los alumnos pueden participar de manera activa en el diseño y puesta en marcha de estas tecnologías.
- Learning Factories para la eficiencia energética y de los recursos: otro de los temas importantes de las fábricas de aprendizaje es formar a los alumnos para conseguir una eficiencia energética y de recursos, aunque es algo más complicado puesto son materias intangibles y difíciles de replicar.
- Learning Factories para la ingeniería industrial: es uno de los campos más habituales, puesto que las Learning Factories tratan de ofrecer a los alumnos información sobre los problemas, procesos, creación de productos... de fábricas reales, con el fin de que puedan desarrollarse profesionalmente para luego poder ejercer su profesión.
- Learning Factories para el desarrollo de productos: este tipo de fábricas de aprendizaje está menos desarrollado, puesto que se emplea mucho más tiempo si se realiza una formación simultánea que la producción real y, además, en la mayoría de los casos las fábricas cuentan con unos softwares específicos que las Learning Factories no tienen.

Además de los temas plantados, las Learning Factories pueden abordar temas como la fabricación aditiva, automatización, producciones completas, sostenibilidad...

3.7. LEARNING FACTORIES DIGITALES

En el ámbito de la ingeniería, las nuevas tecnologías de realidad virtual y la producción digital, han permitido que se pongan en marcha talleres donde se puedan modelar, simular, verificar y visualizar gran variedad de sistemas de producción, procesos de fabricación, maquinaria y prototipos. Todo ello permite que se optimicen los procesos, de manera que sean óptimos cuando se trasladen de las Learning Factories a las fábricas reales. Además, se produce una reducción de tiempo, espacio y costes (A. Haghghi)

Los Entornos de Aprendizaje Virtual (VLE) son sistemas de enseñanza que se basan en el uso de un ordenador para la formación de los alumnos. En ellos se imparte la enseñanza de los sistemas de producción, normalmente cuando no es posible hacerlo en un sistema real, es muy costosos o se necesita demasiado tiempo.

La siguiente tabla (Tabla 3.2), muestra una comparativa entre la Learning Factories físicas y las digitales, estableciendo sus ventajas y desventajas, tanto a la hora de proporcionar el aprendizaje necesario al alumno, como de costes, espacios y variabilidad:

LEARNING FACTORY DIGITAL	LEARNING FACTORY FISICA
ESCENARIO DE ESTUDIO	
Necesaria una inversión en la infraestructura de IT, poca en instalaciones de producción	Inversión en la instalación de producción, poca en infraestructura de IT
ESCENARIO DE ESTUDIO	
Mayor velocidad en la simulación de escenarios diferentes	Limitación de tiempo para simular los escenarios reales
Sin limitación de espacio y presupuesto	Limitación del entorno físico y de costes
Fácil simulación de errores e incertidumbres	Difícil controlar las incertidumbres
Posibilidad de analizar toda la cadena de suministro	Limitación del estudio de la cadena de suministro
Posibilidad de cambiar los entornos de estudio	Escenarios de estudio limitados y predefinidos



PROCESO DE ESTUDIO	
Permite el aprendizaje a distancia. No hay limitación de alumnos por el espacio	Necesaria la presencia física tanto de los alumnos como de los profesores. Aforo limitado.
No hay limitación de espacio y coste para probar escenarios	Hay limitación de espacio, tiempo y coste para probar nuevos escenarios.
Se puede acortar el tiempo de estudio al ser una simulación más rápida	Periodo de estudio más amplio
Mayor seguridad en los entornos, menos riesgo	Puede haber riesgo en el entorno, aunque son más realistas de lo que puede pasar en una fábrica
Estudios simultáneos y comparación entre ellos	No permite escenarios simultáneos
Se necesitan conocimientos en programas de simulación	No es necesario el conocimiento en simulación
El límite de alumnos solo está marcado por el número de ordenadores	Límite de alumnos por el espacio físico
RESULTADOS DEL ESTUDIO	
Tiempo de análisis más corto	Mayor tiempo de análisis, recopilación de datos manual
Limitación de los errores humanos, aunque no proporcionan experiencia para afrontarlos	Errores humanos al recopilar los datos
Mejores análisis estadísticos al contar con varios programas	Número limitado de análisis
Más herramientas de visualización de resultados y comparativa	Límite de herramientas para ver los resultados
EXPERIENCIA DEL ALUMNO	
No hay experiencia del trabajo en equipo ni con las herramientas	Experiencia en el aprendizaje físico
Experiencia en programas de simulación	No hay experiencia en simulación

Necesario seguir practicando para no olvidar lo aprendido	Es un aprendizaje más duradero
El aprendizaje a través de un ordenador puede suponer menos atención por parte del alumno	Es necesario que el alumno esté implicado y prestando atención en todo momento.

Tabla 3.2 Comparativa entre Learning Factories digitales y físicas (A. Haguigui)

3.8. CÓMO IMPLANTAR UNA FACTORIA DE APRENDIZAJE

A la hora de poner en marcha una Learning Factory se deben seguir una serie de pasos comunes a todas, independientemente del contenido que se vaya a desarrollar. La siguiente Figura 3.10 muestra los pasos a seguir para integrar un enfoque de gestión de cambio en una fábrica de aprendizaje (E. Abale, 2018)

- Paso 1: se debe contar con un problema contenido objeto del aprendizaje, puede ser extraído de una fábrica real o ser una simulación.
- Paso 2: contar con el personal adecuado para llevar a cabo la formación. Se debe planificar cómo se va a llevar a cabo la enseñanza, el número de alumnos que se puede albergar y las cualificaciones que deben tener tanto los profesores como los alumnos para poder hacer frente al desarrollo.
- Paso 3: se deben comunicar las soluciones obtenidas durante el periodo de aprendizaje, así como el análisis de los resultados y las estadísticas llevadas a cabo. El trabajo de todos los miembros del proceso debe estar claramente especificado.
- Paso 4: en el caso de que el proyecto se haya desarrollado para una fábrica real, se debe trasladar la mejor solución encontrada a dicha fábrica, con el fin de proporcionar una mejora en los procesos acordados.

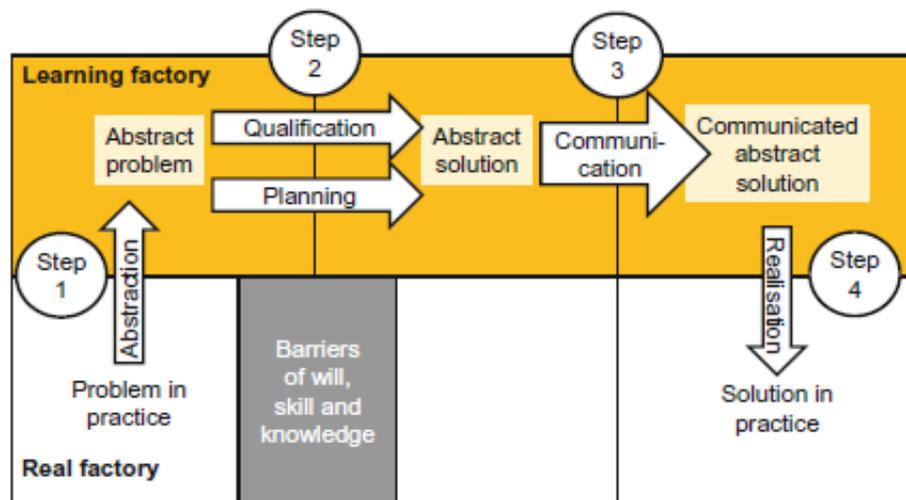


Figura 3.3.4.310 Proceso de integración del concepto de Learning Factory (E. Abale, 2018)

Además de los pasos expuestos, las personas responsables deben identificar:

- La categoría a la que pertenece el proyecto
- Las limitaciones de recursos con las que se cuente para hacer frente al estudio, como el espacio, las herramientas, el tiempo, el coste...
- Poner a disposición de los alumnos las herramientas necesarias, ya sean materiales o informáticas

Capítulo 4. Lean Learning Factories

En este capítulo comenzaremos con el análisis de las lean Learning Factories del mundo. La mayoría de ellas se encuentran respaldadas por universidades y cuentan con la colaboración de las empresas del sector industrial que también obtienen beneficios para sus empleados, consiguiendo que cuenten con una formación continua en su ámbito de trabajo.

Cada vez son más las fábricas de aprendizaje que se desarrollan, puesto que proporcionan un aprendizaje experiencial que favorece la inserción laboral de los participantes. Además, en muchos casos están abiertos a que se lleven procesos de investigación, lo cual puede aportar nuevas soluciones o beneficios a la línea de producción.

Para llevar un análisis fácilmente visible y comparable, tendremos en cuenta cuál es su ubicación, año de creación, tamaño y origen. Además, teniendo en cuenta las aplicaciones teóricas expuestas anteriormente, de exponen sus principales dimensiones, las características de sus instalaciones, así como los productos y procesos que llevan a cabo, y los cursos de formación con los que cuentan.

Para obtener más información acerca de cada una de ellas, se establecen las referencias directas desde las que se ha obtenido información en el momento de la elaboración del proyecto.

4.1. AUTFAV (Alemania)

- **Nombre:** AutFab
- **Ubicación:** Universidad de Ciencias Aplicadas de Darmstadt (Alemania)
- **Año de creación:** 2012
- **Tamaño:** 50m²
- **Dimensiones:**



OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje	
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba				Mantenimiento	Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación				Picking y embalaje	Envío	
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual					Manteamiento	Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias						
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido			Tamaño real						

- **Tema principal:** Industria 4.0, automatización de las líneas de montaje y 3D
- **Origen:** Fue en 2009 cuando profesor Stephan Simons instaló una línea de montaje totalmente automatizada en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Darmstadt, contando con el apoyo de Stephan Nesper de la Facultad de Matemáticas y Ciencias Naturales. La línea se inauguró en 2012 y el primer proyecto realizado por los estudiantes fue una simulación 3D completa de la línea para la puesta en servicio virtual y la posterior implementación de un software de control en las estaciones de trabajo.
- **Características:** AutFab consta de un almacén, dos estaciones de montaje y dos estaciones de inspección:
 - Almacén: funciona con un robot controlado por movimiento de tres ejes.
 - Estaciones de montaje: se tratan de un robot de seis ejes y una prensa neumática.
 - Estaciones de inspección: Una de las estaciones funciona con una inspección óptica automática que lee los códigos de la matriz de datos

de componentes y detecta si todos están correctamente ensamblados. La segunda estación realiza una prueba eléctrica adaptándose automáticamente al producto.

Las estaciones de trabajo están controladas por controladores lógicos programables de última generación conectados en red. Además, lanzaderas inteligentes transportan los componentes entre las diferentes estaciones de trabajo. Los diferentes productos con los que cuenta se ensamblan con el tamaño de un lote a través de RFID. También se controla el consumo de energía y se llevan a cabo medidas para la eficiencia energética. El AutFab se ha conectado a un sistema de fabricación en la red de la Universidad y a un sistema de planificación y fabricación de recursos empresariales que se ejecuta en la nube.

Existen Interfaces Hombre-Máquina (HMI) en paneles táctiles fijos y móviles, y también en dispositivos como teléfonos móviles y tablets. Toda la fábrica inteligente se simula como un gemelo digital en 3D para la puesta en marcha virtual.

Los pedidos pueden ser realizados por las HMI de una estación de trabajo central, por un MES (Manufacturing Execution System) o por un ERP. Esto implementa una comunicación totalmente horizontal y vertical, una condición previa para Industrie 4.0.

En la siguiente imagen (Figura 4.1) podemos ver cómo se encuentran relacionadas las diferentes estaciones de trabajo con la tecnología integrada y la máxima seguridad.

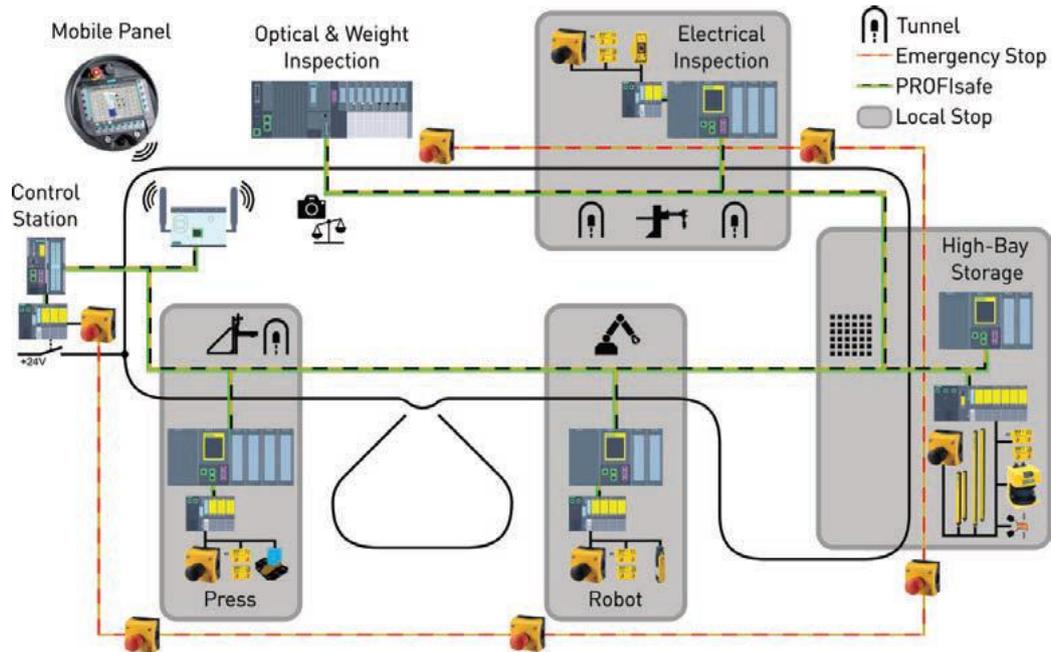


Figura 4.1 Estaciones de trabajo de AutFav (doc)

- **Formación:** los estudiantes de diferentes carreras se forman en AutFab a través de laboratorios o trabajando en proyectos en AutFab. En el caso de los laboratorios, suelen ser de duración reducida, es decir, unas 3h al día varios días y requiere de un trabajo independiente por parte de los alumnos.

Sin embargo, los proyectos de AutFab suelen estar enfocados a un semestre y requiere una colaboración de alumnos de diferentes ramas guiados por uno o varios profesores que son los que plantean las bases de dicho proyecto.

Alrededor de 400 estudiantes han participado en estas formaciones propuestas en AutFab.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples. Cham: Springer.
- Simons, S., Abé, P., & Nesar, S. (2017). *Learning in the AutFab – The Fully Automated Industrie 4.0 Learning Factory of the University of Applied Sciences Darmstadt*. ScienceDirect, ELSEVIER, Procedia Manufacturin 9, 81–88.

4.2. DFA DEMONSTRATION FACTORY (Alemania)

- **Nombre:** DFA Demonstration Factory
- **Ubicación:** RWTH Aachen, Universidad Técnica de Aquisgrán (Alemania)
- **Año de creación:** 2013
- **Tamaño:** 1.600m²
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos		Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba	Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación					Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación		Desarrollo	Prueba virtual					Manteamiento	Modernización
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido			Tamaño real						

- **Tema principal:** Industria 4.0, industrialización de prototipos
- **Origen:** la fábrica de aprendizaje está ubicada en el campus RWTH como parte de Smart Logistics Cluster y se fundó originalmente con fondos internos. Como un consorcio de las instituciones académicas de la universidad y los socios de la industria, Smart Logistics Cluster se centra en la investigación que combina temas de logística, producciones y servicios. Cuenta con la colaboración del Laboratorio de Máquinas Herramientas e Ingeniería de Producción (WZL) y el Instituto de Gestión Industrial (FIR) de la Universidad RWTH Aachen, aunque funciona de manera de independiente a la hora de tener la responsabilidad económica de producir y vender productos reales.

- **Características:** Una de las características principales del DFA es que los productos comercializables se fabrican para las empresas, siendo e.GO Mobile AG su cliente más importante.

En esta fábrica se producen dos productos principales:

- **e.GO Kart:** un kart eléctrico con un motor de 250W. Se fabrica y se ensambla casi por completo en la fábrica. (Figura 4.2)
- **e.GO Life:** un coche eléctrico compacto del que solo se fabrica la carrocería. (Figura 4.2)

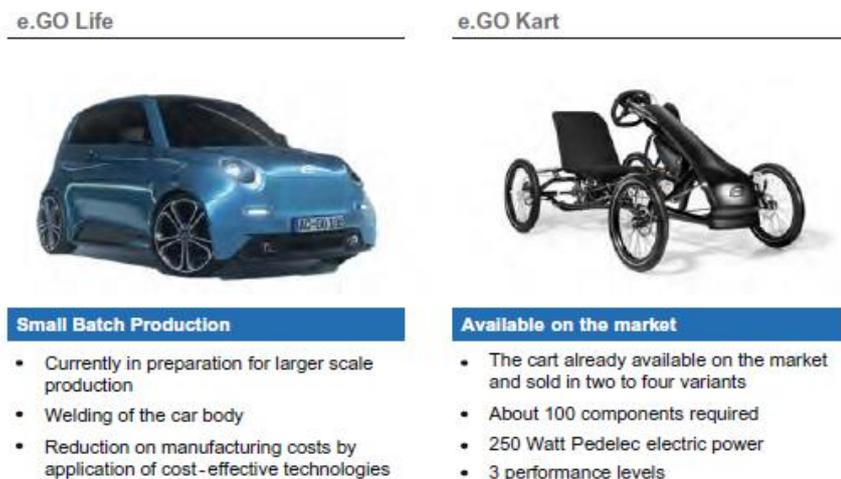


Figura 4.2 Productos de la Demonstration Factory DFA (E. Abele, 2018)

Por ello, se integra en la fábrica de aprendizaje una cadena de valor completa de producción de lotes pequeños, que incluye la gestión de materiales, la fabricación y el montaje.

La infraestructura digital contiene IT Systems con la integración de sistemas ERP y el software de soporte correspondiente, así como las soluciones Industrie 4.0, que se actualizan a medida que surgen nuevos desarrollos. Todo ello permite mantener una supervisión constante de la ubicación y el estado de todas las piezas, así como una planificación y control de la producción en tiempo real.

- **Formación:** la DFA está disponible tanto para empresas externas como para los estudiantes, cumpliendo de manera simultánea con la formación y la investigación para la producción real. En esta fábrica se encuentran empleados entre cinco y nueve trabajadores, de los que muchos son estudiantes.

Además, se realizan visitas programadas para formar a todas las personas interesadas, realizando cursos de 1 a 5 días de duración dependiendo del tipo de formación.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- *Demofabrik Aachen*. Consultado en diciembre de 2020
<https://demofabrik-aachen.rwth-campus.com/>
- e.GO Life | Next.e.GO Mobile SE. (2020). Consultado en diciembre de 2020
<https://e-go-mobile.com/de/modelle/e-go-life/>

4.3. DIE LERNFABRIK (Alemania)

- **Nombre:** Die Lernfabrik
- **Ubicación:** Universidad Técnico de lux (Alemania)
- **Año de creación:** 2012
- **Tamaño:** 450 m2



• Dimensiones:

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		Investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos		Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Rampa arriba	Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación					Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual		Mantenimiento				Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido			Tamaño real						

- **Tema principal:** Industria 4.0, producción sostenible, eficiencia energética
- **Origen:** La Die Lernfabrik se decidió establecer en 2012 por la importancia que tenían los nuevos métodos de conocimiento y las herramientas de enseñanza para la Cátedra de Ingeniería de Ciclo de Vida y Fabricación Sostenible en la Universidad Técnica de Braunschweig. El primer enfoque de investigación y educación se enfocaba en la producción optimizada de energía y materiales auxiliares
- **Características:** la Learning Factory cuenta con dos laboratorios:
 - Laboratorio de investigación: se centra en la difusión de los resultados de la investigación y la derivación continua de nuevas preguntas de investigación. Se están investigando prototipos y herramientas de investigación innovadores con socios de la industria en un entorno de producción real, es decir, las pruebas se pueden realizar también a nivel de fábrica.
 - Laboratorio de experiencias: se basa en la transferencia de métodos y herramientas de investigación a la enseñanza de estudiantes de ingeniería y la formación de expertos, por lo que se construyó una

fábrica en la propia fábrica. En este caso, la fábrica de modelos engloba un sistema de producción desde que se produce la fabricación del producto hasta que se recicla o se convierte en chatarra.

- **Formación:** en el ámbito de la investigación cuenta con estudiantes de doctorado que cooperan con proyectos industriales, mientras que la parte formativa requiere que haya personas responsables de los alumnos de ingeniería que participan en la Die Lernfabrik. Estos alumnos se forman en metalurgia, aprenden a realizar circuitos eléctricos, neumáticos e hidráulicos contando con materiales totalmente novedosos.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- *Die Lernfabrik*. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/die-lernfabrik>

4.4. E DRIVE-CENTER (Alemania)

- **Nombre:** E Drive-Center
- **Ubicación:** Instituto FAPS de la Universidad Friedrich-Alexander Erlangen, Nuremberg (Alemania)
- **Año de creación:** 2011
- **Tamaño:** 867m²
- **Dimensiones:**



OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos		Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Rampa arriba	Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación					Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual		Manteneamiento				Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital		Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)			
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real					

- **Tema principal:** Producción tecnológica,
- **Origen:** desde los años 90 en el instituto de Sistemas de Producción y Automatización de Fábricas (FAPS) de la Universidad de Nuremberg se desarrollan nuevas tecnologías de producción para el montaje de accionamientos eléctricos. En 2011 en el E Drive Center se trasladó a una antigua fábrica de AEG / Electrolux en Nuremberg ya que el Ministerio de economía de Baviera financió un proyecto de investigación. Desde entonces se ido renovando con nuevas tecnologías para la producción.
- **Características:** En E Drive Center desarrolla conceptos de accionamiento innovadores y tecnologías de producción asociadas con el objetivo de transferir el conocimiento a aplicaciones industriales. También se llevan a cabo los procesos de producción y prueba de componentes de transmisión de potencia sin contacto en vehículos eléctricos.

La fábrica cuenta con más de 25 instalaciones para la producción y gran cantidad de maquinaria y equipos. La cadena de proceso comienza con la producción y envasado de láminas de acero eléctricas. Cuenta también con varias líneas controladas por un robot, además de maquinaria especializada en pelar cables de cobre y las mejores tecnologías de ensamblaje para

imanes, contando incluso con un laboratorio para el aseguramiento de la calidad de los imanes. (Figura 4.3)

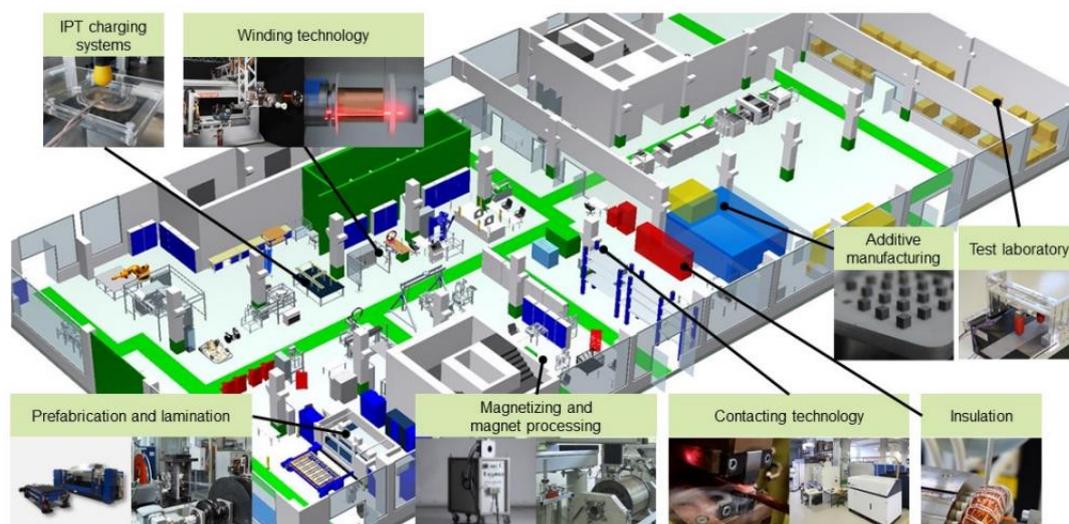


Figura 4.3 Producción de coches eléctricos en E Drive Center (FAPS, 2019)

- **Formación:** cuenta con un equipo de más de 15 profesionales a cargo de la formación en la fábrica. Los cursos y seminarios ofrecidos se pueden subdividir según las cadenas de proceso para rotores, estatores y montaje final. Se pone especial énfasis en el devanado, contacto, aislamiento, magnetización y ensamblaje de imanes, así como en tecnologías de garantía de calidad. La formación práctica en profundidad se lleva a cabo en varias plantas de empresas asociadas nacionales e internacionales. Los seminarios de dos días con hasta 40 participantes se dividen en grupos pequeños para una supervisión y transferencia de conocimientos óptimas

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- Franke J. (2019). *Presentation of the Institute FAPS. EDrive Center*. Núrenberg: FAPS
- *Elektromaschinenbau – FAPS – Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik*. Consultado en diciembre de 2020.
<https://www.faps.fau.de/forschung/forschungsbereiche/elektromaschinenbau/>



4.5. WERK150 (Alemania)

- **Nombre:** Werk150
- **Ubicación:** ESB Business School en la Universidad de Reutlingen (Alemania)
- **Año de creación:** 2014
- **Tamaño:** 800 m2
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación						
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública					
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos		Prototipos			Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba		Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación		Picking y embalaje				Envío	
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo		Prueba virtual		Manteamiento				Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias						
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención					
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital		Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real						

- **Tema principal:** digitalización, Industria 4.0, automatización, optimización
- **Origen:** Vera Hummel, nombrada profesora en ESB Business School en 2010, fue quien comenzó con la idea de implantar una Learning Factory en la universidad, debido a la necesidad de contar con un entorno de enseñanza practica y realista sobre todo el entorno industrial. Inicialmente esta fábrica se denominó ESB Logistics Learning Factory y no fue hasta el verano de 2019 cuando pasó a llamarse Werk150.

Durante la fase de inicialización, 2014, un total de tres investigadores y nueve estudiantes trabajaron aproximadamente cuatro meses para configurar una primera línea de montaje, racks de almacenamiento, AGV o sistemas pick-by-

light, contando principalmente con proveedores locales para el aprovisionamiento de los equipos necesarios.

Además, en 2018 se convirtió en la fábrica piloto de la Industria 4.0 a través de una financiación del ministerio de Educación

- **Características:** La infraestructura disponible es capaz para almacenar, ensamblar, empacar y enviar city scooters que producen. Este producto requiere de todos los procesos de ensamblaje industrial, por ello, en Werk150 cuentan con sistemas robóticos, AGVs, novedosas tecnologías de comunicación y fabricación....

Además, cuenta con una plataforma virtual, donde varios usuarios pueden estar conectados a la vez en el mismo proyecto y pueden diseñar, visualizar y simular los productos de manera integran como si fuera la propia industria física.

Tratan temas muy actuales de investigación aplicada y desarrollan métodos que puedan servir en el futuro. Actualmente, en Learning Factory se está desarrollando un sistema de tren de remolques colaborativo que combina los potenciales de la automatización y la colaboración hombre-máquina.

Desde 2018 también se están centrande en convertir Werk150 en una fábrica innovadora en digitalización e Industria 4.0, para poder desarrollar esas competencias y ofrecerlas a los alumnos.

- **Formación:** en lo referente a los estudiantes de ingeniería, Werk150 se utiliza para formar sobre métodos y herramientas técnicas básicas en el diseño de sistema de trabajo, logística de producción y optimización. Esta formación dura aproximadamente 2 semanas a lo largo del semestre, realizando todo el ciclo de vida completo de un producto.

También hay otros estudiantes que trabajan durante meses en la escuela, ya que son alumnos más avanzados y llevan a cabo proyectos extensos y son más controlados por las personas responsables de la Learning Factory.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- *Werk150*. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.werk150.de/>



4.6. FESTO DIDACTIC (Alemania)

Festo Didactic se fundó como filial de Festo Automoción y desarrolla fábricas de aprendizaje desde 1989. En este caso, no son gestionadas por Festo, sino que son gestionadas por sus clientes, cubriendo campos como la tecnología de producción y la electrónica.

Todas las Learning Factories que desarrolla Festo están basadas en las mismas dimensiones centradas en la automatización, aunque luego los clientes pueden realizar aplicaciones concretas y adaptar al espacio que tengan.

OBJETIVOS Y PROPÓSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación				
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública			
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Rampa arriba				Mantenimiento	Reciclaje
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación				Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual					Manteamiento	Modernización
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención			
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)			
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real				

Los clientes más habituales de estas Learning Factories son instituciones de formación profesional y universidades y en la mayoría de los casos solo se necesita que un profesor dirija los proyectos.

Los participantes tienen que resolver problemas del entorno industrial que son planteados por las personas encargadas, por lo que pueden modificar las estaciones de trabajo o añadir más al contar con un diseño modular de los sistemas, pudiendo adaptarse así a los proyectos correspondientes de cada universidad o centro de formación.

En este caso, veremos tres Learning Factories desarrolladas por Festo de forma secuencial.

4.6.1. MPS

- **Características:** La primera fábrica de aprendizaje se desarrolló a partir de paquetes de capacitación para neumática e hidráulica. Contando con el apoyo de escuelas de formación profesional, de puso en marcha el primer MPS (Sistema de Producción Modular), cuyos principales objetivos eran la programación de controladores lógicos (PLC), localizar verías, optimización, mantenimiento y montaje de las líneas de producción industrial, aunque no lograron como tal todas esas aplicaciones y obtuvieron un MPS mucho más simplificado.
- **Producto:** cilindro neumático de siempre efecto, que estaba formado por una carcasa de cilindro, un pistón, un resorte de retorno y una tapa. Este producto contaba con pocas variables se podía ensamblar de manera automática y permitía llevar a cabo un control de calidad (Figura 4.4). Posteriormente también se realizó un nuevo producto utilizando el anterior, un microcontrolador.

4.6.2. ICIM

- **Características:** después de la primera MPS, los clientes de Festo contaban con la necesidad de solucionar problemas industriales más complejas, sobre todo en el campo de la investigación para la Fabricación Integrada por Ordenador (iCIM), demandando almacenes automatizados, sistemas de transporte flexibles, controladores de línea celular... es por ello que se desarrolló la línea de Learning Factory iCIM
- **Producto:** en este caso, la Learning Factory desarrollaba un producto Deskset, que estaba compuesto por piezas de aluminio que tenían que ser mecanizadas en las maquinas CNC (Control Numérico Computarizado). Este producto no podía ser reutilizado (Figura 4.4)

4.6.3. CP FACTORY

- **Características:** CP Factory surgió con la llegada de la Industria 4.0, ya que las empresas comenzaron a necesitar nuevas soluciones desde el punto de vista del transporte de material versátil, módulos de reprogramación, control de materiales por RFID... dando lugar a la demanda de las denominadas CP Factories (Cyber Physical Factory)



- **Producto:** el producto que se desarrolla en la CP Factory es un dispositivo electrónico simplificado, compuesto por una placa de circuito y una carcasa en dos partes (Figura 4.4)



Figura 4.4 Cilindro de simple efecto, Deskset y dispositivo electrónico (E. Abele, 2018)

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- FESTO Didactic (2020). *MPS® – The modular production system: From module to learning factory*. Consultado en diciembre de 2020 <https://www.festo-didactic.com/ie-en/mps-the-modular-production-system/mps-the-modular-production-system-from-module-to-learning-factory.htm?fbid=aWUuZW4uNTU1LjE3LjE4LjU4NS43NjMx>
- FESTO Didactic (2020). *CP Factory La fábrica Ciberfísica*. Consultado en diciembre de 2020 <https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/fabrica-didactica,cim-fms-sistemas/cp-factory/cp-factory-la-fabrica-ciberfisica.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4LjEyOTMuNTM3Njg>

4.7. FESTO LEARNING FACTORY (Alemania)

- **Nombre:** Festo Learning Factory
- **Ubicación:** Scharnhausen (Alemania)
- **Año de creación:** 2014
- **Tamaño:** 220 m²
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPÓSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos		Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba	Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación					Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual		Manteamiento				Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias						
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido			Tamaño real						

- **Tema principal:** Industria 4.0, producción Lean
- **Origen:** se estableció en 2014 como parte de la nueva planta tecnológica de Festo, que se basa en la producción de válvulas neumáticas y terminales de válvulas neumáticas con diferentes variantes.
- **Características:** la planta de Festo Learning Factory se encuentra en un edificio de unos 66.000 m2. Cuenta con varias salas donde se realizan diferentes procesos:
 - Sala 1: procesamiento mecánico y en temas generales
 - Sala 2: válvulas y terminales de válvulas
 - Sala 3: automatización y mejoras del proceso. Cuenta con un sistema ciberfísico adaptado a la Industria 4.0
 - Sala 4: cuestiones administrativas.

Todos los procesos de aprendizaje se basan en elementos y componentes de válvulas VUVG y terminales de válvulas VTUG, cubriendo más de 300 variables del producto de las 1040 que produce Festo.

- **Formación:** Festo Learning Factory solamente se utiliza para los empleados de Festo, tanto para los nuevos como para mejorar la cualificación de los



actuales. Cuenta con un desarrollo de formación continuo, puesto que la mejora continua está implantada en la empresa tanto en los productos como en los procesos.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- FESTO AG & Co. KG. (2015). *Scharnhausen technology plant. FESTO*. Alemania: FESTO

4.8. IFA LERNING FACTORY (Alemania)

- **Nombre:** IFA Learning Factory
- **Ubicación:** Universidad de Leibniz, Hannover (Alemania)
- **Año de creación:** 2000
- **Tamaño:** 150 m²
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPÓSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje	
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Rampa arriba				Mantenimiento	Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación				Picking y embalaje	Envío	
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual					Mantenimiento	Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias						
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido			Tamaño real						

- **Tema principal:** Producción Lean
- **Origen:** la IFA Learning Factory surge en 2000 por la necesidad de crear una fábrica modelo en la que se pudieran representar las situaciones reales de la fábrica de una manera simplificada pero realista. Esta factoría de aprendizaje se instaló en la universidad de Leibniz (Hannover).
- **Características:** en esta Learning Factory, los participantes pueden tomar decisiones de ajustes estructurales en cuanto a la configuración de la producción como en la planificación y control de la producción (PPS) sin que suponga ningún riesgo financiero.

En IFA Learning Factory, varias estaciones de trabajo existentes se pueden utilizar y organizar de múltiples formas, contando con fresadoras, estaciones de trabajo móviles, almacén de suministro... todos ellos equipados con herramientas muy variadas y que pueden intercambiarse.

El producto fabricado en IFA Learning Factory es un modelo de helicóptero que está formado por 13 componentes de metal y plástico y sus diferentes variantes (Figura 4.5).

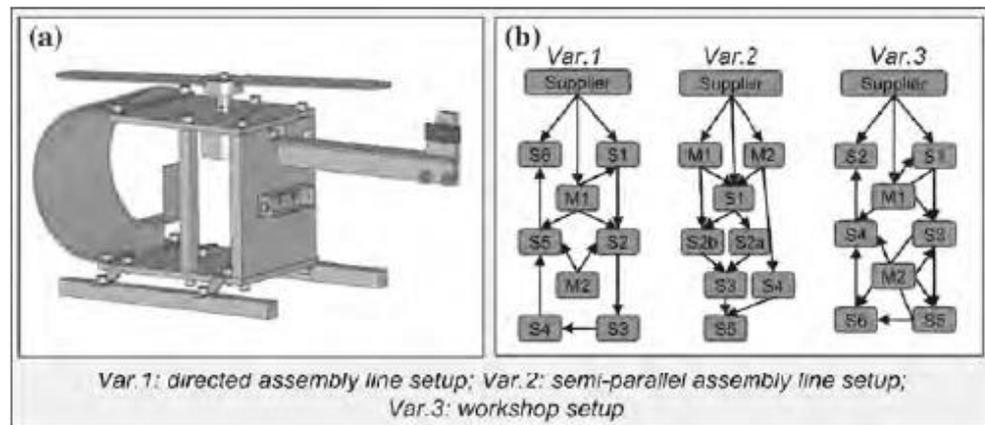


Figura 4.5 Modelo de helicóptero de IFA y sus variantes (E. Abele, 2018)

- **Formación:** En el juego de simulación empresarial, los participantes se convierten en empleados de una empresa ficticia que produce los helicópteros, poniendo en práctica las herramientas lean para la fabricación, el control de la producción...

Imparten cursos tanto para estudiantes como para profesionales que ya trabajan en fábricas y quieren seguir formándose. Suelen ser cursos específicos (planificación de fábrica, PPS, control de producción, herramientas Lean...) y de una duración de 1 o 2 días.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- IFA Lernfabrik. (2018) Consultado diciembre 2020 <https://www.ifa-lernfabrik.de/index.html>
- Seitz, K. F., y Nyhuis, P. (2015). *Cyber-physical production systems combined with logistic models-a learning factory concept for an improved production planning and control*. ScienceDirect, ELSEVIE. Procedia CIRP, 32 92–97.

4.9. INTEGRATED LEARNING FACTORY (Alemania)

- **Nombre:** Integrated Learning Factory
- **Ubicación:** Universidad de Ruhr, Bochum (Alemania)
- **Año de creación:** 2015

• Dimensiones:

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje	
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Rampa arriba				Mantenimiento	Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación				Picking y embalaje	Envío	
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación		Desarrollo	Prueba virtual				Mantenimiento	Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias						
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido			Tamaño real						

- **Tema principal:** desarrollo de la producción
- **Origen:** se puso en marcha en 2015 en la universidad de Ruhr para que los ingenieros que iban a graduarse pudieran formarse de cara al futuro trabajo en las especificaciones requeridas.

Para llevar a cabo esta Learning Factory, se contaba con el apoyo de la Cátedra de Desarrollo de Productos (LPE) y la Cátedra de Sistemas de Producción (LPS)

- **Características:** A partir de un juego de roles, los estudiantes atraviesan una situación de conflicto que es representativa de una empresa productora de la vida real, que en este caso desarrolla y produce máquinas perforadoras (Figura 4.6)



Figura 4.6 Prototipo y producto diseñado en la LPS Learning Factory (E. Abele, 2018)

El entorno físico que se utiliza para este juego es el existente en la fábrica de aprendizaje de LPS ya que cubre las necesidades para llevarse a cabo. Las máquinas utilizadas en la fábrica de aprendizaje se han utilizado anteriormente para la fabricación de pedidos de clientes reales.

- **Formación:** La fábrica de aprendizaje se lleva a cabo como un ejercicio opcional de cuatro horas para los estudiantes que asisten al curso "fundamentos del desarrollo de productos" impartido por (LPE) o el curso "sistemas de producción en red" impartido por (LPS).

Los alumnos asumen diferentes roles, actuando como diseñadores de productos, como empleados de producción o como gerentes.

El proyecto se divide en 3 fases:

- **Fase 1:** permite que los estudiantes individuales se identifiquen con su función y obtengan una visión suficiente del trabajo de "su" departamento
- **Fase 2:** se enfoca en la resolución de problemas, llegando al inicio de ese problema en el rol que se encuentre.
- **Fase 3:** aprenden a gestionar los conflictos que puedan ocasionar los diferentes puntos de vista entre los departamentos y como tiene que llevarse a cabo una cooperación entre todas las partes.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- Bender, B., Kreimeier, D., Herzog, M., y Wienbruch, T. (2015). *Learning factory 2.0 -integrated view of product development and production*. ScienceDirect, ELSEVIE, Procedia CIRP 32, 98–103.
- Song, Y. W., Herzog, M., Kreimeier, D., y Bender, B. (2016). *Prototype of a new learning factory - An educational approach to integrate production and product development*. International Design Conference, Croacia: DESIGN, DS 84, 2101–2110.

4.10. LEAN-FACTORY (Alemania)

- **Nombre:** LEAN Factory
- **Ubicación:** Berlín (Alemania)
- **Año de creación:** 2014
- **Tamaño:** 400 m²
- **Dimensiones:**



OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación				
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación			Imagen pública		
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba				Mantenimiento	Reciclaje
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación				Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual					Manteamiento	Modernización
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias					
	Logistica de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención			
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)			
	Escala ambiental	Reducido			Tamaño real					

- **Tema principal:** Producción Lean
- **Origen:** una empresa farmacéutica alemana líder estableció una "LEAN-Factory" junto con sus socios Fraunhofer IPK TU Berlín e ITCL (Centro Internacional de Transferencia para Logística) en 2014. El objetivo de esta alianza es lograr que la fábrica de aprendizaje funcione como una herramienta básica para conseguir una filosofía lean dentro de la empresa.
Es por ello que se empezó a utilizar para formar a los propios rabajadores en herramientas lean, estandarización... así como a los estudiantes universitarios, aunque posteriormente participantes fueron internacionales, algo que resultó beneficioso a la hora de intercambiar conocimientos.
- **Características:** El elemento central de LEAN-Factory es una producción farmacéutica de tabletas de medicamentos simulada de manera real. Los materiales necesarios pasan por diferentes fases: se pesan, se mezclan, se granulan, se secan, se tamizan y por último se comprimen en tabletas. Después esas tabletas son empaquetadas y metidas en cajas. (Figura 4.7)

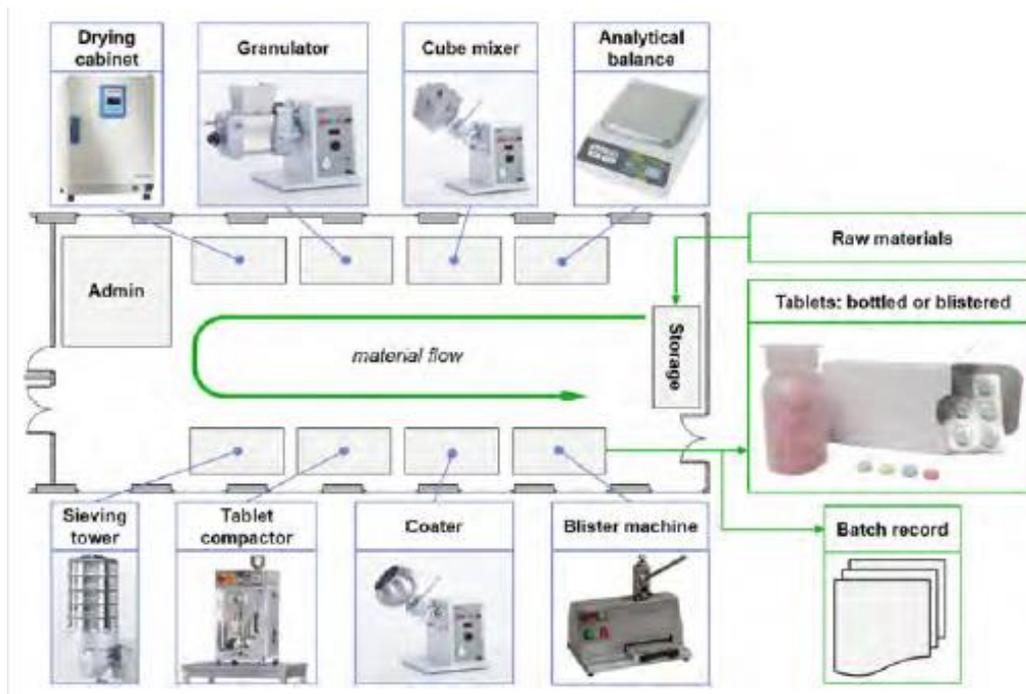


Figura 4.7 Diseño del proceso de producción de LEAN Factory (E. Abele, 2018)

Se integran diferentes actividades para el cumplimiento de las reglas de las “Buenas Prácticas de Fabricación” (GMP). En cada producto se debe realizar un registro de documentación muy detallado, además de estar sometidos a rigurosas pruebas de calidad y de limpieza.

- **Formación:** hasta ahora han sido más de 1500 los participantes en la LEAN Factory, donde se abordan temas como los 7 mudas, las 5S, estandarización, SMED, resolución de problemas... cuenta con varios niveles de formación y todos ellos están tutorizados por unos coordinadores.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- Rybski, C., y Jochem, R. (2016). *Benefits of a Learning Factory in the Context of Lean Management for the Pharmaceutical Industry*. ScienceDirect, ELSEVIE, Procedia CIRP, 54, 31–34.

4.11. LEARNING FACTORY AIE (Alemania)

- **Nombre:** Learning Factory aIE



- **Ubicación:** Instituto de Fabricación y Gestión Industrial (IFF) de la Universidad de Stuttgart (Alemania)
- **Año de creación:** 2007
- **Tamaño:** 350 m²
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje	
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba				Mantenimiento	Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación				Picking y embalaje	Envío	
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual					Manteamiento	Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias						
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real					

- **Tema principal:** Producción Lean
- **Origen:** En 2007 tuvo lugar la Learning Factory de Ingeniería Industrial Avanzada aIE (LF aIE) en Stuttgart, que ofrece enseñanza y capacitación para personal de gerencia, de planificación y de diseño de los procesos de producción. También se enfocó para los recién titulados en Ingeniería.
Los socios del proyecto de la fábrica de aprendizaje son MTM-Bundesvereinigung, REFA Bundesverband y Festo Didactic
- **Características:** en la LF aIE se producen diferentes equipos de escritorios, dependiendo de la demanda. En la siguiente imagen podemos una de las variantes (Figura 4.8)

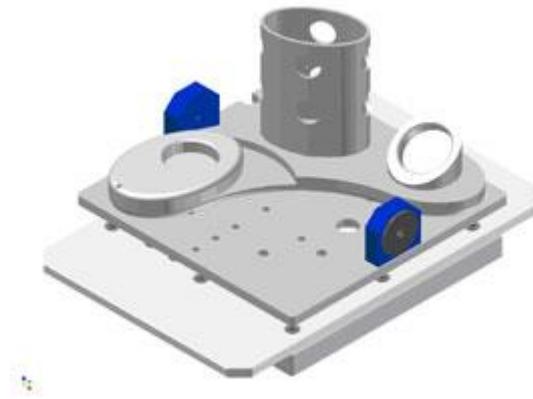


Figura 4.8 Prototipo de LF aIE (Festo Didactics)

El seguimiento completo de la producción se sigue a través de RFID. El enfoque del concepto de aprendizaje existente es el montaje, porque aquí es donde se crean la mayoría de las variantes. Los procesos de fabricación se simulan para que puedan incluirse en el flujo de valor. Las tecnologías de fabricación como el moldeo por inyección o el fresado se han integrado durante los últimos años.

- **Formación:** el número de participantes suele ser de 12 y la duración de los cursos suele ser de dos días, enfocándose en temas de la producción Lean y de la Industria 4.0. más de la mitad de los alumnos son de Asia.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- FESTO Didactic (2020). *Fábrica de formación innovadora para Ingeniería Industrial avanzada (aIE)*. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.festo-didactic.com/int-en/news/innovative-training-factory-for-advanced-industrial-engineering-aie..htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4xNi4zMDg2>

4.12. ELECTRONICS PRODUCTION (Alemania)

- **Nombre:** Electronics Production
- **Ubicación:** Instituto FAPS de la Universidad Friedrich-Alexander Erlangen, Nuremberg (Alemania)
- **Año de creación:** 2002



- **Tamaño:** 1000 m2
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos		Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Rampa arriba	Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación					Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación		Desarrollo	Prueba virtual					Mantenimiento	Modernización
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias					
		Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención			
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital		Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)			
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real					

- **Tema principal:** Producción electrónica, SMT
- **Origen:** El Instituto de Sistemas de Producción y Automatización de Fábrica (FAPS) empezó a enfocarse en la producción de electrónica en 1992 cuando se lanzó el campo de investigación especial.

En 2002, se inauguró la Learning Factory en Nuremberg. El objetivo principal era avanzar en la investigación sobre la producción de Tecnología de Montaje Superficial (SMT) en un entorno de taller para la fabricación de dispositivos electrónicos. En los años siguientes, se iniciaron diversas actividades de investigación sobre la producción de electrónica que permitieron adquirir más máquinas.

En 2011 se produjo una ampliación de la fábrica, llegando a los 1000 m2 y convirtiendo el entorno en una simulación de una fábrica real poniendo en práctica tanto la educación como la investigación.

- **Características:** la nueva fábrica cuenta con una moderna línea de fábrica de SMT, pudiéndose llevar cabo diferentes placas de circuito impreso (PCB) con alta precisión. Después se consiguió llevar todas las funcionalidades evaluadas para la placa en 2D a una superficie tridimensional, teniendo como resultado el demostrador MID, llamado MIDSTER, que demuestra las posibilidades de integrar funciones electromecánicas en una superficie 3D (Figura 4.9)



Figura 4.9 MIDSTER de la Electronics Production (E. Abele, 2018)

- **Formación:** los grupos de Electronics Production están formados por 15 científicos, que son los encargados tanto de la educación como de la investigación.

Alrededor de 200 estudiantes y 100 profesionales participan al año en esta Learning Factory. Los estudiantes aprenden a diseñar una PCB completa en el caso de los graduados, mientras que los estudiantes de master también tienen acceso al desarrollo del MIDSTER y a un curso para poder configurar un inversor completo.

En el caso de los profesionales, cuentan con los seminarios de “Producción electrónica” y “Fabricación Aditiva”, que tienen dos días de duración y se forman en la fabricación de PBC y en mecatronización aditiva de componentes tridimensionales.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- Producción de productos electrónicos - FAPS - Instituto de automatización de fábricas y sistemas de producción. Consultado en diciembre de 2020 <https://www.faps.fau.eu/research/research-sectors/electronics-production/>



4.13. LF PARA LA INNOVACIÓN, LA FABRICACIÓN Y LA COOPERACIÓN (Alemania)

- **Nombre:** LF para la Innovación, la Fabricación y la Cooperación
- **Ubicación:** Facultad de Ingeniería Industrial y de Procesos de la Universidad de Ciencias Aplicadas, Heilbronn (Alemania)
- **Año de creación:** 2011
- **Tamaño:** 800 m2
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos			Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba	Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden	Secuencia de pedidos	Planificación y programación		Picking y embalaje				Envío	
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual		Manteamiento				Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias						
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido			Tamaño real						

- **Tema principal:** métodos de creación de productos
- **Origen:** Ya en 2008 los profesores de la Facultad de Ingeniería Industrial y de Procesos de la Universidad de Heilbronn creían en la necesidad de que los estudiantes desarrollaran sus capacidades más allá de la educación tradicional. No fue hasta 2011 cuando los primeros alumnos pudieron empezar a formarse en la fábrica de aprendizaje que habían desarrollado, aunque hasta 2016 no consiguieron la financiación suficiente para crear una

Learning Factory completa y agrupada en un solo edificio que cubriese todas las necesidades.

- **Características:** se dedica principalmente a la formación práctica de los estudiantes en lo referente al desarrollo de productos, la ingeniería industrial y los métodos de gestión hacia el final del programa de estudios "Gestión de la fabricación y las operaciones".

Esta Learning Factory permite a los estudiantes simular de forma completa la creación de una nueva empresa con un entorno industrial real. En la siguiente imagen podemos ver como se distribuye (Figura 4.10)

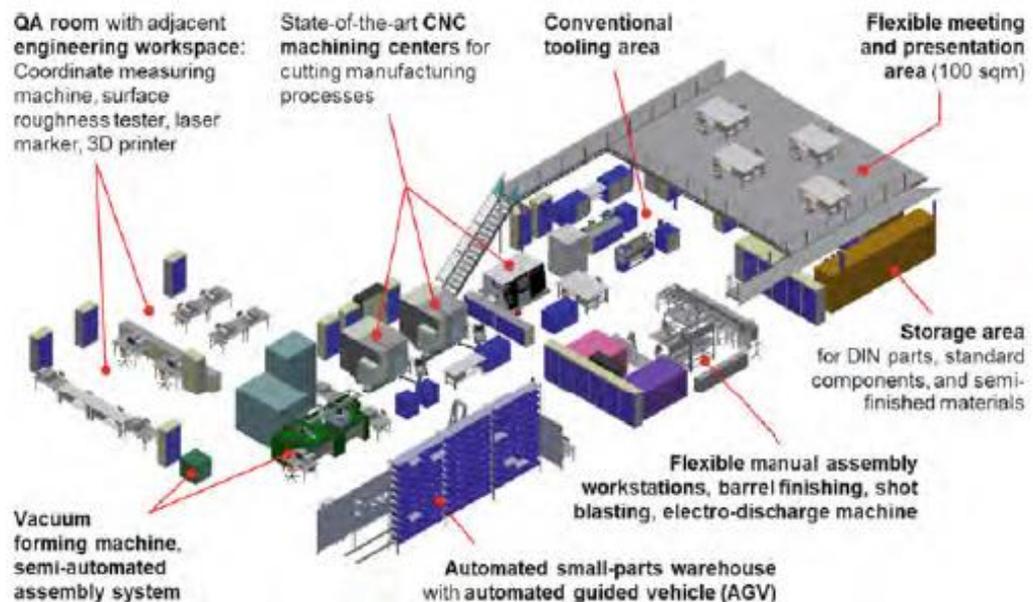


Figura 4.10 Instalaciones de la Learning Factory (E. Abele, 2018)

La investigación es otra de las ramas que cubre la Learning Factory para la Innovación, la Fabricación y la Cooperación desde el punto de desarrollar aplicaciones practica en la Industria 4.0.

Además, otro aspecto destable, es la búsqueda de cooperación entre los diferentes departamentos que se desarrollan en la fábrica de aprendizaje, con el fin de establecer vínculos entre ellos y conseguir así optimizar los recursos y sacar el máximo rendimiento.

- **Formación:** en este caso los alumnos tienen que realizar el curso en la Learning Factory de manera obligatoria, puesto que forma parte de los créditos de su carrera. Se realiza durante un semestre y participan alrededor de 25 estudiantes cada vez.



Son los profesores encargados los que supervisan a los alumnos durante todo el proceso de creación del producto para que cumplan con los requisitos adecuados a su formación

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- Balve, P., y Albert, M. (2015). *Project-based learning in production engineering at the heilbronn learning factory*. ScienceDirect, ELSEVIER, Procedia CIRP 32, 104–108.

4.14. LF FOR GLOBAL PRODUCTION (Alemania)

- **Nombre:** LF para la Producción Global
- **Ubicación:** Instituto Tecnológico de Karlsruhe (Alemania)
- **Año de creación:** 2014
- **Tamaño:** 200 m2
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos			Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Rampa arriba	Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación					Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual						Manteamiento	Modernización
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital		Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)			
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real					

- **Tema principal:** Producción Lean, Industria 4.0
- **Origen:** se trata de un proyecto muy destacado del profesor Lanza con el fin de materializar los desafíos de la producción global.

En 2012 tuvieron lugar los primeros estudios que llevaron a desarrollar una Learning Factory que contara con un sistema de producción de un producto concreto que simulara el de una empresa real y globalizada. Los “electric drives” de Robert Bosch de la automoción fueron los elegidos para la factora de aprendizaje, pesto que era un producto muy diverso para poder experimentar los efectos que tiene sobre el la globalización y además es un producto sensible a los costes.

El proceso de desarrollo interno está impulsado por nuevas opciones tecnológicas y necesidades industriales y realizado por un equipo de desarrollo ágil basado en Kanban.

Actualmente, la Learning Factory for Global Production es un centro muy reconocido de Karlsruhe por la importante formación que imparten y por la investigación de la Industria 4.0 aplicada a la producción global que llevan a cabo.

- **Características:** en esta factoría de aprendizaje se desarrollan 14 variantes de los “electric drives”. La cadena de proceso realiza operaciones de prensado, atornillado, unión y magnetización. Además, cuenta con un sistema instalado de control de calidad del proceso (Figura 4.11)

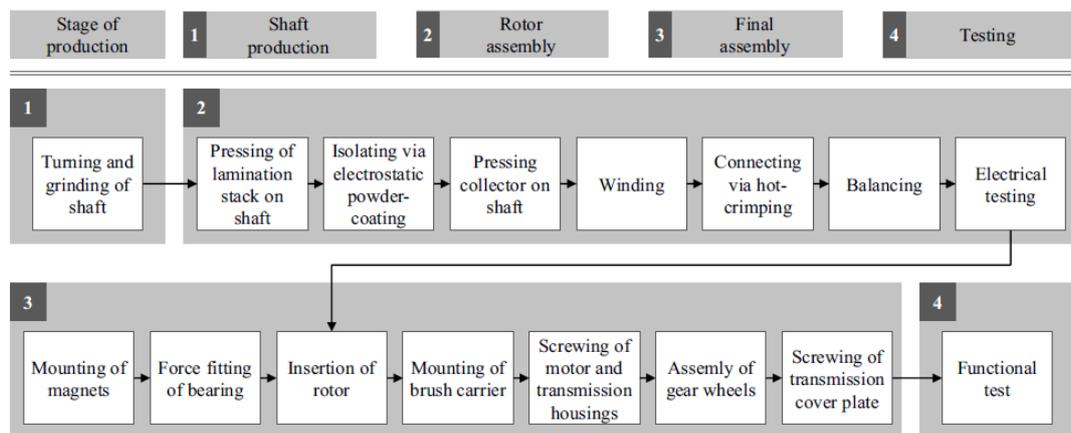


Figura 4.11 Cadena del proceso del producto (G. Lanza, 2015)

Los alumnos deben diseñar tanto el proceso de montaje como el de picking y el de logística, asegurándose también de que los productos que se producen cuentan con la funcionalidad adecuada.

En ella se han conseguido implantar muchas novedades de la Industria 4.0, mejorando la calidad y optimizando los procesos. Cuenta además con un sistema de localización muy avanzado, no solo de RFID para los materiales, sino también para los empleados.

- **Formación:** se llevan a cabo 7 cursos diferentes que ofrecen la formación práctica necesaria para transmitir las mejoras en la industria 4.0. todos ellos se basan en un aprendizaje electrónico, en el desarrollo de proveedores, planificación de una red de producción, automatización, liderazgo...

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- Lanza, G., Moser, E., Stoll, J., y Haefner, B. (2015). *Learning factory on global production*. ScienceDirect, ELSEVIER, Procedia CIRP 32, 120–125.

4.15. LSP - LF FOR LEAN PRODUCTION (Alemania)

- **Nombre:** LSP – LF for Lean Production
- **Ubicación:** Instituto de Máquina, Herramienta y Gestión Industrial (iwb) - Universidad Técnica de Múnich (Alemania)
- **Año de creación:** 2009
- **Tamaño:** 150 m2
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje	
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba				Mantenimiento	Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación				Picking y embalaje	Envío	
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual					Manteamiento	Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias						
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido			Tamaño real						

- **Tema principal:** Producción Lean
- **Origen:** Fue en 2009 cuando se desarrolló la LSP con la cooperación de la empresa Zeitlauf y la Universidad Técnica de Múnich. La empresa era un fabricante de tecnología de engranajes, por lo que aportaba productos y procesos de montaje, mientras que la universidad se encargó de las instalaciones y de establecer un programa para formar a los alumnos en la producción lean aplicado a los productos de Zeitlauf
- **Características:** la LPS proporciona todo lo necesario para poner en práctica la filosofía lean y la mejora continua aplicada a una línea de ensamblaje de

una caja de cambios manual. Un producto que se utilizaba en la realidad y que consta de 18 componentes y más de 20 pasos para lograr su montaje general. La fábrica de aprendizaje se divide en tres áreas principales (Figura 4.12):

- Área de reunión
- Área de ensamblaje y taller Kaizen
- Área de enseñanza teórica

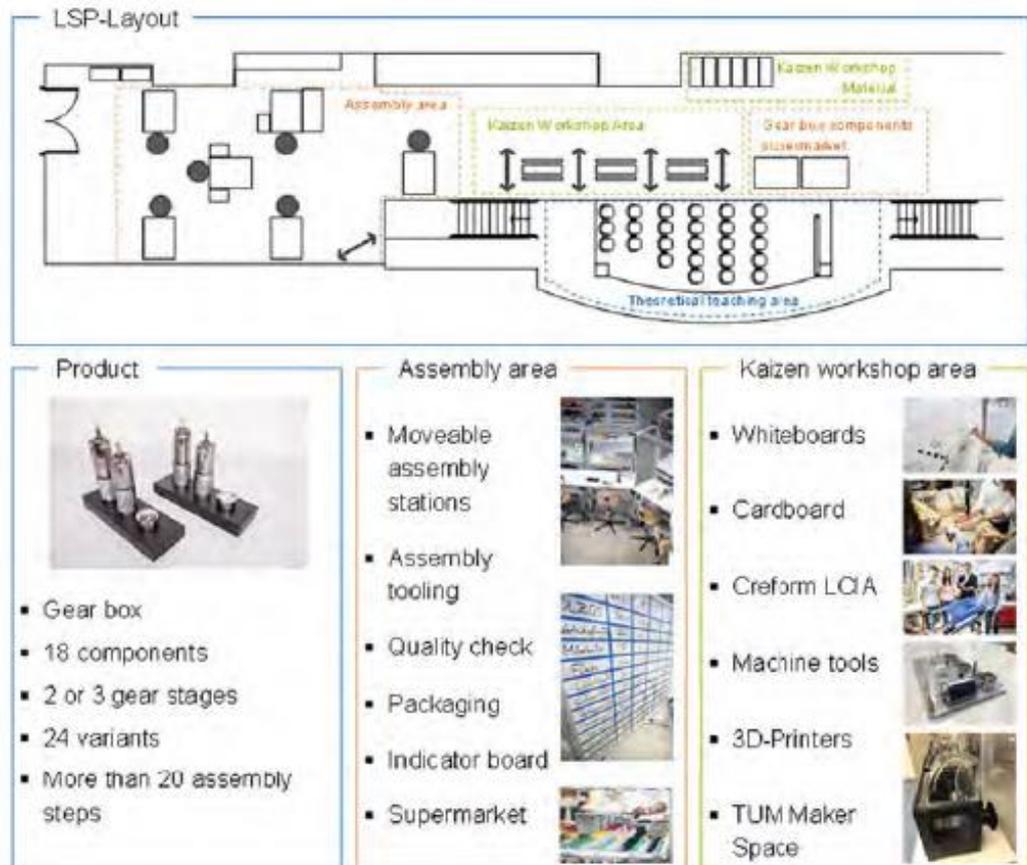


Figura 4.12 Instalaciones de LSP (E. Abele, 2018)

- **Formación:** en este caso se lleva tanto una formación industrial para los empleados de Zeitlauf y de otras empresas, como para la formación académica de la universidad de Múnich.

Los alumnos tienen acceso a un curso de 2 semanas durante sus estudios en la universidad, formando grupos entre 10 y 20 personas aproximadamente y cuentan con varios coordinadores durante el proceso.

Esta combinación ofrece la facilidad de que las empresas puedan reclutar alumnos para desempeñar trabajos en sus fábricas.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- Kreimeier, D., Morlock, F., Prinz, C., Krückhans, B., y Bakir, D. C. (2014). *Holistic learning factories - A concept to train lean management, resource efficiency as well as management and organization improvement skills*. ScienceDirect, ELSEVIER, Procedia CIRP 17, 184–188.
- Lernfabrik für Schlanke Produktion - iw b - Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.mw.tum.de/iwb/lernfabrik-schlanke-produktion/lernfabrik-fuer-schlanke-produktion/>

4.16. LVP - LF PARA LA PRODUCCIÓN EN RED (Alemania)

- **Nombre:** LVP – LF para la Producción en Red
- **Ubicación:** Fraunhofer IGCV, Augsburg (Alemania)
- **Año de creación:** 2016
- **Tamaño:** 91 m²
- **Dimensiones:**



OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos		Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba	Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación					Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual		Manteamiento				Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real					

- **Tema principal:** Industria 4.0, digitalización.
- **Origen:** la LVP se estableció en 2016 en la Institución de Investigación de Fraunhofer IGCV y fue financiado por el ministerio de economía. La razón de crear esta fábrica de aprendizaje fue mejorar las capacitaciones sobre la industria 4.0.
- **Características:** LPV, además de utilizarse para la Industria 4.0, permite evaluar el potencial de las tecnologías digitales a través de la investigación, y además también se utiliza como banco de pruebas de hardware y software industriales.

Uno de los escenarios de la Learning Factory es el proceso de ensamblaje de productos personalizados, siendo los automóviles de control remoto su producto ejemplar, bajo el nombre de RC Car (Figura 4.13). El proceso de montaje del RC Car se lleva a cabo en diferentes estaciones de trabajo de ensamblaje y da lugar a numerosas variantes del producto: chasis, motor, llantas, carrocería, electrónica y equipamiento especial.



Figura 4.13 RC Car de LVP (L. Merkel, 2017)

- **Formación:** los alumnos de la LVP pueden desempeñar 3 roles diferentes: gerente de la fábrica, empleado de logística u operario de ensamblaje, cumpliendo cada uno de ellos con sus responsabilidades para garantizar el correcto funcionamiento de todo el proceso.

Este juego educativo y practico se lleva a cabo durante un día, realizando tres rondas de montaje de una duración de 40 minutos cada una, aumentando en cada una de ellas el nivel de dificultad y tecnología.

Los grupos son de 7 a 13 alumnos y están tutorizados por dos responsables de Fraunhofer IGCV.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- Merkel, L., Atug, J., Merhar, L., Schultz, C., Braunreuther, S., & Reinhart, G. (2017). *Teaching Smart Production: An Insight into the Learning Factory for Cyber-Physical Production Systems (LVP)*. ScienceDirect, ELSEVIER, Procedia Manufacturing 9, 269–274.
- Lernfabrik für vernetzte Produktion (2020). Consultado en diciembre de 2020 <https://www.lvp-bayern.de/>
- Lernfabrik für vernetzte Produktion: Dynamische Wertstromanalyse in Echtzeit - Fraunhofer IGCV. (2020). Consultado en diciembre de 2020 https://www.igcv.fraunhofer.de/de/presse_downloads/pressemitteilungen/dynamische_wertstromanalyse_lernfabrik_vernetzte_produktion.html



4.17. LPS LEARNIN FACTORY (Alemania)

- **Nombre:** LPS Learning Factory
- **Ubicación:** Universidad de Ruhr, Bochum (Alemania)
- **Año de creación:** 2009
- **Tamaño:** 1800 m²
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos		Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba	Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación					Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual		Manteamiento				Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital		Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)			
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real					

- **Tema principal:** Producción Lean, Industria 4.0
- **Origen:** desde 2009 la Learning Factory de la cátedra de Sistemas de Producción (LPS) ha sido un referente en investigación y enseñanza. Este desarrollo surgió de una visita que hicieron a la Learning Factory CiP en Darmstadt, ya que quisieron tener su propia fábrica de aprendizaje con sus propios recursos.

Desde 2018, LPS Learning Factory forma parte del centro de competencia SME 4.0 Siegen, centrándose en los temas de trabajo y organización 4.0 y

ofreciendo a las empresas la oportunidad de aprender todas sus aplicaciones dentro de sus instalaciones.

- **Características:** las instalaciones de la LPS Learning Factory representan una fábrica real simulada. Es por ello que cuenta con las herramientas adecuadas para el mecanizado, los transportes de carga, estaciones de montaje, robots...

Además de ofrecer a los alumnos el aprendizaje sobre las células de ensamblaje, procesos de producción y robots, también realizan una fabricación de productos que sirven de manera real para la industria. Esto permite que se aproveche la experiencia ganada en la Learning Factory para procesos reales. Los principales componentes que producen son la tapa y el soporte de botella UniLokk (Figura 4.14)



Figura 4.14 Productos de la LPS Learning factory (E. Abele, 2018)

- **Formación:** inicialmente solo fue diseñada para los alumnos de ingeniería, aunque debido a su gran aceptación, posteriormente también se enfocó a una formación más avanzada para los ya trabajadores industriales.

LPS Factory ha organizado cientos de cursos y eventos, rondando los 900 el número de participantes que se han formado en la producción lean, el uso eficiente de los recursos, Industria 4.0, digitalización, robótica industrial...

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- *LPS Lernfabrik*. (2020). Consultado en diciembre de 2020 <https://www.lps.ruhr-uni-bochum.de/lernfabrik/>



4.18. MAN LEARNING FACTORY (Alemania)

- **Nombre:** MAN Learning Factory
- **Ubicación:** MAN Diesel and Turbo Energy Solutions SE, Berlín (Alemania)
- **Año de creación:** 2018
- **Tamaño:** 95 m²
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación		
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública	
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos		Fabricación Montaje Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Rampa arriba		Mantenimiento	Reciclaje
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación		Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual			Mantenimiento	Modernización
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias			
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención	
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)	
	Escala ambiental	Reducido			Tamaño real			

- **Tema principal:** Producción, montaje
- **Origen:** MAN Learning Factory nace en 2017 con la colaboración de MAN Diesel and turbo SE y la Universidad Técnica de Berlín, con el fin de aplicar trabajos de montaje relacionados con la actividad de MAN, como son los compresores de engranajes integrales.
- **Características:** la infraestructura de MAN Learning Factory está dividida en dos áreas (Figura 4.15)
 - Área del taller: cuenta con instrumentos de aprendizaje y un compresor básico.

- Sala de montaje: el compresor es trasladado a esta sala desde el área del taller y es aquí donde se realiza un montaje o desmontaje, cambios y ajustes en los componentes, controles de calidad...

Una vez finalizado el proceso en la sala de montaje, se vuelve a trasladar al taller, donde queda expuesto para los clientes.

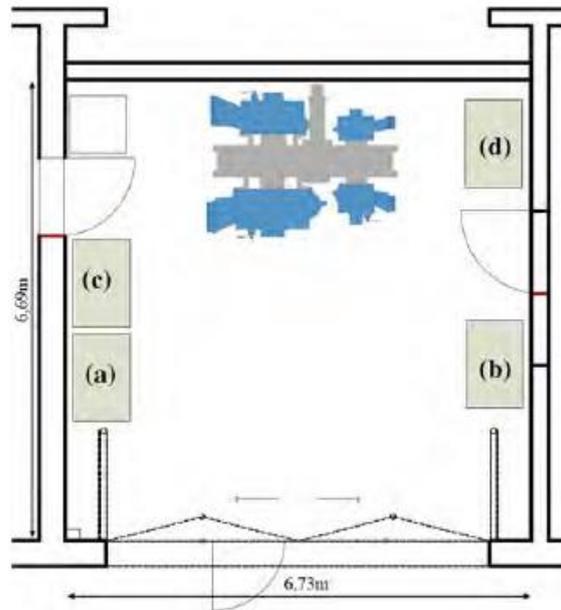


Figura 4.15 Áreas de MAN Learning Factory (E. Aele, 2018)

El principal objetivo de esta fábrica de aprendizaje es formar a los ingenieros de la Universidad Técnica de Berlín en lo referente a las operaciones de mantenimiento de los compresores con engranajes integrales, además de todo lo relacionado con el montaje y desmontaje del producto para conseguir las variantes demandadas por los clientes y asegurar la calidad necesaria.

- **Formación**: el programa que se ha desarrollado es un programa básico para el montaje de compresores con engranajes integrales, ya que cada cliente demanda un modelo diferente y es complicado desarrollar todos de manera simulada en una fábrica de aprendizaje.

En esta Learning Factory trabajan de manera conjunta tanto profesores de ingeniería de la universidad como expertos de MAN, lo que facilita que los alumnos que participan en estos cursos tengan acceso a trabajar en la empresa.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.



4.19. MPS LERNPLATTFORM (Alemania)

- **Nombre:** MPS Lernplattform
- **Ubicación:** Daimler AG, Sindelfingen (Alemania)
- **Año de creación:** 2011
- **Tamaño:** 3000 m2
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación			Imagen pública			
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje	
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba				Mantenimiento	Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación				Picking y embalaje	Envío	
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación		Desarrollo	Prueba virtual				Manteamiento	Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias						
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital		Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)			
	Escala ambiental	Reducido			Tamaño real						

- **Tema principal:** Producción Lean
- **Origen:** la fábrica de aprendizaje MPS nació en 2011 por la necesidad del Sistema de Producción de Mercedes-Benz de Daimler AG de que sus empleados estuvieran formados en Lean, ya que tenían que acondicionar sus procesos en torno a esta filosofía para adaptarse al mercado.
- **Características:** la formación que se lleva a cabo está orientada a la producción, utilizando componentes y modelos originales para poder hacer una simulación más exacta de una fábrica.

Durante los diferentes cursos de formación y simulación, se tiene en cuenta de forma intensiva el área de producción completa con todos los talleres:

- Taller de prensa
- Taller de carrocería
- Taller de pintura
- Montaje
- Logística

En muchos casos, los productos que utilizan se pueden aprovechar después de la formación, como es el caso de los parasoles, las cubiertas, alfombrillas...

- **Formación:** los cursos que se desarrollan en MPS Lernplattform están dirigidos por empleados de MPS, ya que cuentan con una capacitación especial entorno a la formación y la experiencia.

La formación se desarrolla con un 20% de teoría y un 80% de práctica y los grupos de participantes son entre 10 y 20 personas.

La oferta formativa está diversificada y abarca diversos contenidos de todas las áreas de todo el proceso productivo, especialmente en todo lo referente a la filosofía Lean.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- LEAN Hochschulgruppe e.V. am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (2019). Consultado en diciembre de 2020
<https://www.lean.kit.edu/407.php>

4.20. PROCESS LEARNING FACTORY CIP (Alemania)

- **Nombre:** Process Learning Factory CiP
- **Ubicación:** Instituto de Gestión de la Producción, Tecnología y Máquinas Herramientas (PTW), Universidad Técnica de Darmstadt (Alemania)
- **Año de creación:** 2007
- **Tamaño:** 500 m²
- **Dimensiones:**



OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje	
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba				Mantenimiento	Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación				Picking y embalaje	Envío	
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual					Manteamiento	Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias						
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido			Tamaño real						

- **Tema principal:** Producción Lean, Industria 4.0
- **Origen:** Process Learning Factory CiP (Centro para la Productividad Industrial) nació en 2007 gracias a la cooperación entre la Universidad Técnica de Darmstadt y grandes empresas como Bosh o SEW. Tras este acuerdo, se establecieron los primeros planes de estudios y las primeras capacitaciones piloto en la nave industrial que se construyó el año anterior en la Universidad.
- **Características:** esta Learning Factory simula un auténtico entorno de producción, donde se produce un cilindro neumático compacto que se lleva a cabo en varias etapas: entrega de materia prima, mecanizado, control de calidad, montaje, embalaje y envío

El cilindro neumático está formado por un cilindro, la base y la parte superior del cilindro, un pistón y vástago de pistón y elementos de montaje. (Figura) Por norma general los productos se desmontan y vuelven nuevamente al ciclo de producción. También se produce la transmisión por engranajes que cuenta con más de 8000 variantes. (Figura 4.16)



Figura 4.16 Productos producidos en Process Learning Factory CiP (E. Abele, 2018)

- **Formación:** El objetivo de las actividades de enseñanza y formación es el desarrollo sostenible de las principales competencias entorno a la producción Lean y la Industria 4.0.

Estos módulos de aprendizaje están enfocados a las 20 empresas socias, que dividen los días de formación en varias ramas: conceptos, elementos y pensamiento Lean. Todos los grupos cuentan con el apoyo de científicos del CiP y por estudiantes que colaboran.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- Abele, E., Metternich, J., y Meudt, T. *Institute of Production Management, Technology and Machine Tools | Prof Proces Learning Factory CiP-Overview*. TU Darmstadt
- Geschichte der Prozesslernfabrik CiP am PTW. TU Darmstadt. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.prozesslernfabrik.de/ueberblick/geschichte>

4.21. SMART FACTORY – KL (Alemania)

- **Nombre:** SmartFactory-KL
- **Ubicación:** Centro Alemán de Investigación de Inteligencia artificial (DFKI), Universidad de Kaiserslautern (Alemania)
- **Año de creación:** 2014



- **Tamaño:** 200 m2
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación	Formación	investigación				
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública	
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos		Fabricación Montaje Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Rampa arriba		Mantenimiento	Reciclaje
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación		Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual			Mantenimiento	Modernización
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias			
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención	
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)	
	Escala ambiental	Reducido			Tamaño real			

- **Tema principal:** Industria 4.0, Nivel de Producción 4, digitalización
- **Origen:** Fue en 2005 cuando siete empresas se juntaron para dar lugar a la Iniciativa tecnológica Smart Factory KL, aunque no fue hasta 2014 cuando pusieron en práctica por primera vez el concepto de una planta de producción simulada de Industria 4.0 presentado en la Hannover Messe (Feria Comercial). Actualmente cuenta con 50 miembros y ya están pasando a una nueva actualización del concepto de Industria 4.0, cuya denominación es “Nivel de Producción 4”
- **Características:** la Smart Factory KL junto con sus socios se centra en la creación e implementación de sistemas innovadores del concepto de Industria 4.0, basándose en las cuestiones que ya están planteadas por la industria real. Además de la Industria 4.0, cuenta con otras ramas de producción en las que poder experimentar, como pueden ser la automatización, los sistemas ciberfísicos, la realidad aumentada o la formación virtual en áreas de montaje.

El mayor proyecto que han desarrollado es la primera planta de producción de Industria 4.0 independiente del fabricante, funcionando como un entorno de demostración, aprendizaje y de pruebas (Figura 4.17). El producto cuenta con una etiqueta RFID donde alberga toda la información necesaria durante todo el proceso.



Figura 4.17 Planta de Producción de Industria 4.0 Smart Factory KL (Smart Factory)

En la actualidad también se centran en la Producción Nivel 4, un avance más allá de la industria 4.0 que muestra el nivel de producción autónoma óptimo en el momento. Este nivel integra tanto la autonomía, como las personas y las IT como elementos autónomos. Continuarán con este desarrollo hasta 2025

- **Formación:** los estudiantes de ingeniería pueden realizar sus tesis y proyectos en la Smart Factory KL, además los socios de la fábrica de aprendizaje participan en todos los proyectos e investigaciones dirigidos por los empleados altamente cualificados

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- *SmartFactory-KL*. (2020). Consultado en diciembre de 2020 <https://smartfactory.de/en/>

4.22. VPS CENTER OF THE PRODUCTION ACADEMY (Alemania)

- **Nombre:** VPS Center of the Production Academy
- **Ubicación:** BMW Group, Múnich (Alemania)



- Año de creación: 2012
- Tamaño: 600 m2
- Dimensiones:

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación						
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación			Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos		Prototipos			Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba	Mantenimiento	Reciclaje					
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación		Picking y embalaje				Envío	
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación		Desarrollo	Prueba virtual		Manteamiento				Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias						
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención					
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital		Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real						

- **Tema principal:** Producción Lean
- **Origen:** el Sistema de Producción de Valor Añadido (VPS) es la base del sistema de producción de BMW. El VPS Center surge en 2011 por la necesidad de BMW de que sus empleados y otros participantes puedan formarse en la filosofía Lean de una forma práctica. Fue en 2012 cuando se abrió el centro en Múnich.
- **Características:** en esta Learning Factory, el principal producto que se desarrolla es una placa de protección térmica que se fija en el motor. Una vez completado el circuito, las piezas se desmontan y se vuelven a utilizar en la fábrica, puesto que los motores no se venden.

Actualmente se llevan a cabo dos proyectos en VPS:

- Automatización Inteligente a Bajo Coste (LCIA): el aula se utiliza como una fábrica de producción simulada y los alumnos tratan de

mejorar las actividades que presentan cuellos de botella aplicando las herramientas Lean necesarias.

- Realidad aumentada (AR): se utiliza para ver su aplicación durante el proceso de montaje, midiendo los efectos en el tiempo, la calidad, los errores de orden de montaje, de picking, análisis del flujo de valor... (Figura 4.18)



Figura 4.18 Uso de la Realidad Aumentada en VPS Center (E. Abele, 2018)

- **Formación:** El principal objetivo de VPS Center es enseñar los principios y métodos lean de BMW a través de la formación. Estos módulos de aprendizaje se pueden dividir en tres campos, todos ellos dirigidos por personal interno de BMW:
 - Capacitación estándar para empleados: conocimientos desde los primeros niveles hasta ser experto.
 - Capacitaciones específicas: métodos Lean específicos
 - Capacitaciones personalizadas: conocimientos adaptados para grupos homogéneos.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- LEARN AND EXPERIENCE VPS IN THE BMW LEARNING FACTORY. - PDF Free Download. Consultado en diciembre de 2020
<http://docplayer.net/31133564-Learn-and-experience-vps-in-the-bmw-learning-factory.html>



4.23. LIF LEARNING AND INNOVATION FACTORY (Austria)

- **Nombre:** Learning and Innovation Factory (LIF)
- **Ubicación:** Universidad de Viena (Austria)
- **Año de creación:** 2011
- **Tamaño:** 200 m2
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje	
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Rampa arriba				Mantenimiento	Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación				Picking y embalaje	Envío	
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual					Mantenimiento	Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias							Actividades secundarias		
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real					

- **Tema principal:** Producción, optimización de procesos
- **Origen:** la Iniciativa Europea sobre Fábricas de Aprendizaje se inició en 2011, siendo TU Wien (Universidad de Viena) uno de los miembros fundadores. Como consecuencia, tres institutos de esta universidad decidieron establecer conjuntamente una fábrica de aprendizaje que integrara las necesidades de todos ellos. Estos institutos fueron el Instituto de Ciencias de la Gestión (IMW), el Instituto de Tecnología de Fabricación (IFT) y el Instituto de Diseño de Ingeniería e Ingeniería Logística (IKL). El producto inicial fue un coche denominado slot car

- **Características:** La infraestructura LIF está diseñada para conseguir replicar todas las etapas del proceso de producción del Slot Car, desde el diseño del producto en 3D hasta la creación de nuevos prototipos de mejora. (Figura 4.19)



Figura 4.19 Slot Car de LIF (TU Wien)

Además, una vez que los estudiantes tienen sus diseños pueden competir entre ellos en la pista de carreras que tiene la fábrica.

- **Formación:** la LIF ofrece un extenso curso de unas 4 semanas para los estudiantes de ingeniería mecánica e ingeniería industrial y se ofrece una vez al año. Está dirigido por investigadores y técnicos de laboratorio.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- Kemény, Z., Nacsa, J., Erdos, G., Glawar, R., Sihn, W., Monostori, L., y Ilie-Zudor, E. (2016). Complementary Research and Education Opportunities - A Comparison of Learning Factory Facilities and Methodologies at TU Wien and MTA SZTAKI. ScienceDirect, ELSEVIER, Procedia CIRP, 54, 47–52.
- *LIF: Lehrveranstaltungen*. (2014). Consultado en diciembre de 2020 <https://institute.tuwien.ac.at/lif/lehrveranstaltungen/>

4.24. PILOT FACTORY INDUSTRIE 4.0 (Austria)

- **Nombre:** Pilot Factory Industrie 4.0 (PF)
- **Ubicación:** Universidad Técnica de Viena (Austria)
- **Año de creación:** 2015
- **Tamaño:** 900 m²



• Dimensiones:

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos			Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Planificación de procesos	Rampa arriba	Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación					Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación		Desarrollo	Prueba virtual					Mantenimiento	Modernización
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital		Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)			
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real					

- **Tema principal:** producción, investigación, logística
- **Origen:** tras el éxito de la Learning and Innovation Factory (LIF), el Ministerio de Tráfico, Innovación y Tecnología de Austria emitió una convocatoria de propuestas para el establecimiento de fábricas piloto de Industria 4.0.

La Universidad Técnica de Viena vio una oportunidad en estas propuestas para implantar una nueva Learning Factory, denominada Pilot Factory Industrie 4.0, que contaba con el respaldo de los mismos institutos que respaldaron la LIF: IMW, IFT y IKL.

Fue inaugurada en 2015 y cuenta con el apoyo de 20 empresas para su equipamiento.

- **Características:** en este caso, PF se basa en la investigación, prueba, evaluación y demostración, contando con menor enfoque hacia la educación.

Esta Learning Factory se centra en nuevos conceptos para la producción en serie de diferentes variantes de la industria. Se lleva a cabo el desarrollo de una impresora 3D, desde el diseño, pasando por la producción de las piezas

mecánicas y el ensamblaje, hasta que llega al cliente final, quien establece las dimensiones de esta impresora (Figura 4.20)

Las estaciones de fabricación y montaje están vinculadas mediante AGVs y también cuentan con robots, tecnología de sensores... además de sistemas informáticos que permiten la optimización de procesos digitales en tiempo real.

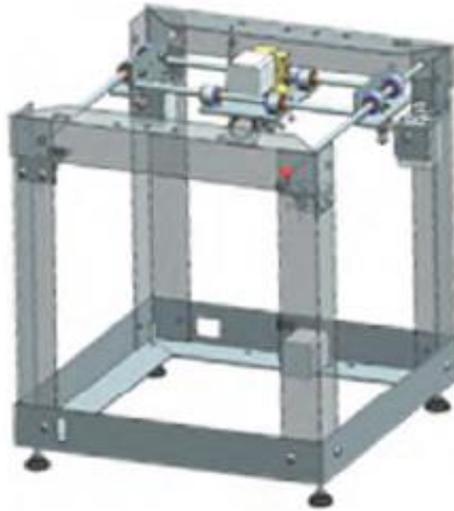


Figura 4.20 Impresora 3D de PF (E. Abele, 2018)

También se realizan robots colaborativos en la fabricación, que cuentan con una monitorización de fuerzas en el eje de sus brazos y se denominan “Cobots”. Estos robots reaccionan ante colisiones imprevistas, garantizando la seguridad con los operarios.

- **Formación:** esta factoría de aprendizaje es un entorno de investigación, prueba y demostración y está dirigida por investigadores que se encargan de coordinar las actividades que tienen lugar en la fábrica.

También incluye eventos de demostración, producción de prueba para los socios, configuración de nuevos sistemas de producción...

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- Hennig, M., Reisinger, G., Trautner, T., Hold, P., Gerhard, D., y Mazak, A. (2019). *TU Wien Pilot Factory Industry 4.0*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia Manufacturing*, 31, 200–205.



- IMW : Industry 4.0 Pilot Factory/ Demonstrators. (2020). Consultado en diciembre de 2020

https://www.imw.tuwien.ac.at/human_centered_cyber_physical_production_and_assembly_systems/industry_40_pilot_factory_demonstrators/EN/

4.25. IFACTORY (Canadá)

- **Nombre:** iFactory
- **Ubicación:** Centro de Sistemas de Fabricación Inteligente (IMS) en la Universidad de Windsor (Canadá)
- **Año de creación:** 2011
- **Tamaño:** 200 m2
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación				
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública			
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba				Mantenimiento	Reciclaje
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación		Picking y embalaje	Envío		
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual		Manteamiento	Modernización			
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención			
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)			
	Escala ambiental	Reducido			Tamaño real					

- **Tema principal:** Industria 4.0

- **Origen:** es la primera Learning Factory de América del Norte. Se fundó en 2011 en el IMS de la Universidad de Windsor y está codirigida por dos profesores de dicha universidad.

Inicialmente fue financiado por premios de investigación y también cuenta con el apoyo de las cátedras de Investigación de Canadá.

- **Características:** el principal objetivo de su creación fue el aprendizaje de sistemas, que incluye el diseño y la personalización de productos. Esta Learning Factory cuenta con varios módulos de trabajo que de manera conjunta logran el diseño completo de los productos (Figura 4.21):
 - **IDesing:** cuenta con los equipos de última generación para proporcionar un diseño novedoso, incluyendo pantallas 3D interactivas y un entorno informático que facilita la configuración y el análisis del diseño.
 - **IPlan:** en este caso se lleva a cabo el diseño de prototipo y de herramientas de planificación de procesos y producción.
 - **IFactory:** es un sistema de ensamblaje modular que puede ser reconfigurado para la fabricación, teniendo la capacidad de cambiar su diseño mediante la reubicación de módulos.
 - **IOrder:** este módulo complementa a los anteriores, haciéndose cargo de la entrada de pedidos personalizados, pudiendo simular la demanda de los clientes para llevar a cabo un aprendizaje completo.

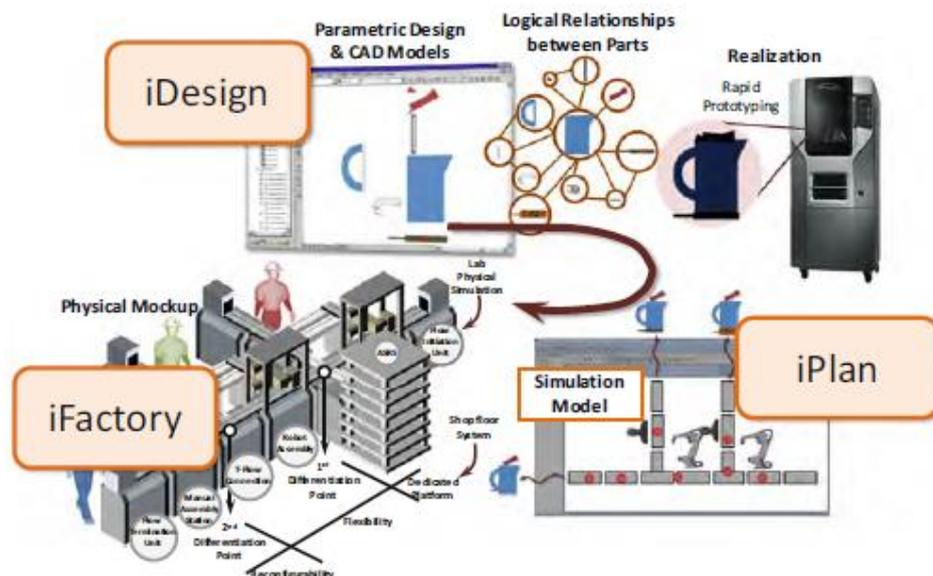


Figura 4.21 Módulos de la iFactory (E. Abele, 2018)



Los productos actuales, ensamblados en iFactory son una gran variedad de equipos de escritorio de oficina y de sensores de correa de motor de automóvil.

- **Formación:** La formación está a cargo de investigadores superiores del centro IMS y se imparte tanto para estudiantes de grado como investigadores y aprendices profesionales.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- IMS Centre Laboratories | Intelligent Manufacturing Systems (IMS) Centre. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.uwindsor.ca/intelligent-manufacturing-systems/299/ims-centre-laboratories>

4.26. MTA SZTAKI LEARNING FACTRY (Hungria)

- **Nombre:** MTA SZTAKI Learning Factory
- **Ubicación:** Laboratorio de Investigación en Ingeniería e Inteligencia de Gestión (EMI) en la Universidad Széchenyi, Győr (Hungria)
- **Año de creación:** 2017
- **Tamaño:** 150 m2
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos		Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba	Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación					Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual		Mantemamiento				Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real					

- **Tema principal:** Producción, CPPS, HRC
- **Origen:** el origen de la Learning Factory MTA SZTAKI comenzó siendo parte de un proyecto de I+D+i que estaba financiado con fondos nacionales. Su creación empezó en 2017 y forma parte de las instalaciones de la Universidad Széchenyi (Gyor)
- **Características:** MTA SZATAKI ofrece formación en ellos procesos de producción en un entorno de producción de los Sistemas de Producción Ciberfísicos (CPPS) y la colaboración humano-robot (HRC) (Figura 4.22)

El equipo se presenta en forma de estaciones de trabajo reconfigurables con robots colaborativos, rodeadas de un espacio abierto compartido por humanos y vehículos guiados automatizados (AGV) que realizan intralogística.

Las instalaciones constan de 4 estaciones de trabajo robóticas configurables de forma flexible. Cada estación está organizada alrededor de un soporte central para uno o dos brazos robóticos.

También cuentan con dispositivos para adquirir imágenes ópticas, nubes de puntos 3D, AGV... Además, el proceso de montaje es reversible, ya que las piezas que se utilizan pueden volver a su estado inicial después de completar un ciclo de producción.



Figura 4.22 Robot colaborativo HRC (E. Abele, 2018)

- **Formación:** los cursos que se ofrecen en la MTA SZTAKI están dirigidos tanto a estudiantes como a empleados, aunque es al primer grupo al que están enfocados los cursos, ya que son los más interesados en formarse.

La estructura habitual de estos cursos es el diseño de un proyecto individual, la evaluación de ese proyecto inicial, el rediseño e implantación y la evaluación final.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- Kemény, Z., Beregi, R., Nacsa, J., Kardos, C., & Horváth, D. (2019). *Example of a problem-to-course life cycle in layout and process planning at the MTA SZTAKI learning factories*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia Manufacturing*, 31, 206–212.
- Kemény, Z., Beregi, R., Nacsa, J., Kardos, C., & Horváth, D. (2018). *Human-robot collaboration in the MTA SZTAKI learning factory facility at Gyor*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia Manufacturing*, 23, 105–110.
- Kemény, Z., Beregi, R., Tipary, B., Abai, K., & Nacsa, J. (2020). *Recent advances in learning content and infrastructure development for layout and process planning courses at the SZTAKI learning factories*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia Manufacturing*, 45, 319–324.

- IMW : Mensch-Roboter Interaktion in der Produktion. (2020). Consultado en diciembre de 2020
https://www.imw.tuwien.ac.at/cps/forschung/mensch_roboter_interaktion_in_der_production/

4.27. SMART FACTORY (Hungría)

- **Nombre:** SMART Factory
- **Ubicación:** Laboratorio de Investigación en Ingeniería e Inteligencia de Gestión (EMI), Budapest (Hungría)
- **Año de creación:** 2013
- **Tamaño:** 30 m2
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos	Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje	
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba				Mantenimiento	Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación				Picking y embalaje	Envío	
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación		Desarrollo	Prueba virtual				Mantenimiento	Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias			Actividades secundarias						
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido			Tamaño real						

- **Tema principal:**

- **Origen:** El laboratorio Smart Factory en el Instituto de Ciencias de la Computación y Control de la Academia de Ciencias de Hungría (MTA SZTAKI) lleva operativo desde 2013.

Su principal motivación fue el diseño de una instalación que contara con una plataforma de demostración para las competencias de Laboratorio de Investigación en Ingeniería y Gestión de Inteligencia (EMI)

- **Características:** Smart Factory se concentra en un espacio de 30 m2 para simular un entorno de fabricación. Cuenta con:
 - Cuatro estaciones de trabajo automatizadas
 - Almacén
 - Estación de carga y descarga
 - Celda colaborativa con dos brazos robóticos

Además, cuenta con un sistema transportador y dos robots móviles. Las piezas que se realizan son idénticas geométricamente y cada una de ellas cuenta con una etiqueta NFC con identificación única. Después de la producción, los resultados se pueden probar mediante inspección visual y leyendo esas etiquetas (Figura 4.23)

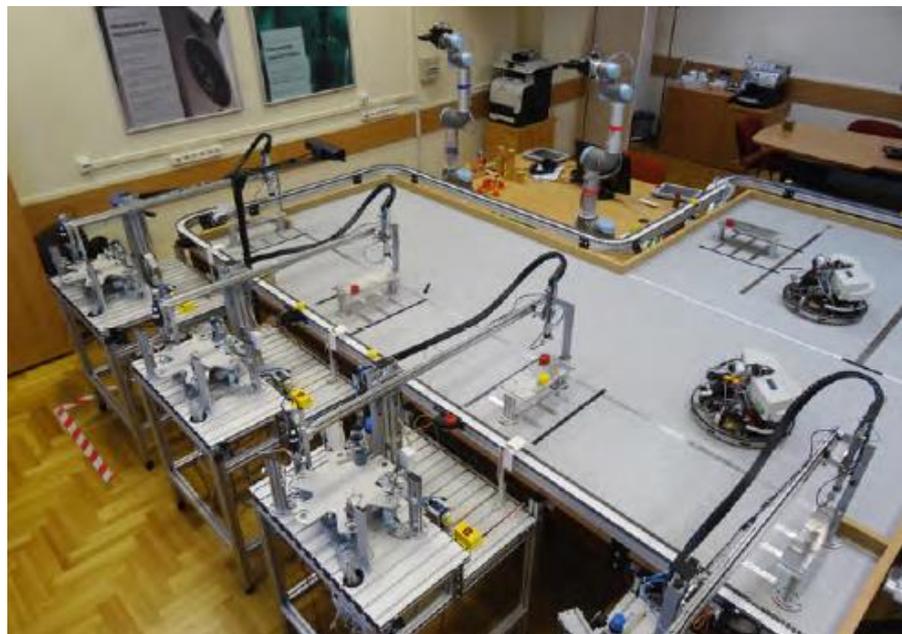


Figura 4.23 Estructura de la Smart Factory (E. Abele, 2018)

- **Alumnos:** La Smart Factory tiene su participación en los estudios de ingeniería que se llevan a cabo en la Universidad de Tecnología y Economía de Budapest, por lo que sus estudiantes son partícipes de muchos de sus proyectos, llevándose a cabo de dos formas:

- Proyectos de estudiantes individuales: los estudiantes tienen libertad de utilizar Smart Factory para sus proyectos e investigaciones
- Curso del Proyecto Mecatrónica: grupos de 3 o 4 alumnos trabajan como un equipo en el diseño, automatización y aporte de soluciones en un entorno ya existente.

De esta manera los alumnos se preparan para aportar nuevas soluciones en el entorno laboral y logran la experiencia práctica que demandan las empresas del sector.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- Kemény, Z., Beregi, R. J., Erdos, G., & Nacsa, J. (2016). *The MTA SZTAKI Smart Factory: Platform for Research and Project-oriented Skill Development in Higher Education*. ScienceDirect, ELSEVIER, Procedia CIRP, 54, 53–58.

4.28. SMART MINI FACTORY (Italia)

- **Nombre:** Smart Mini Factory
- **Ubicación:** Universidad Libre de Bolzano, Italia
- **Año de creación:** 2012
- **Tamaño:** 205 m²
- **Dimensiones:**



OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos		Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba	Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación					Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual		Mantenimiento				Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real					

- **Tema principal:** automatización, Industria 4., Smart Manufacturing Systems
- **Origen:** tuvo su origen en 2012 con los fondos de la Cátedra de Sistemas y Tecnologías de Producción en el área de investigación Ingeniería Industrial y Automatización (IEA) y se situó en el laboratorio de la Universidad Libre de Bolzano. Se denominó “Mini Factory” puesto que su misión era simular los principios Lean a escala más pequeña, pero de manera realista.

No fue hasta 2017 cuando se consiguió reubicar la fábrica en el centro de la ciudad de Bolzano, situada finalmente en el Parque Tecnológico NOI de la ciudad, pasando a llamarse Smart Mini Factory

- **Características:** esta Learning Factory cuenta con dos áreas diferenciadas:
 - Área de impresoras 3D: usada para la fabricación aditiva que cuenta con un taller de mecanizado CNC formado por máquinas y herramientas controladas numéricamente que se puedan cargar o descargar por medio de un robot.
 - Área de ensamblaje: donde se realizan las tareas de montaje y envasado.

Todos los sistemas están conectados a una red de acceso vertical en un entorno de producción ciberfísico.

En la línea de montaje de Smart Learning Factory se producen dos productos (Figura 4.24):

- Cilindro neumático
- Llave inglesa de impacto neumático



Figura 4.24 Cilindro neumático y llave de impacto neumático (E. Abele, 2018)

- **Formación:** esta fábrica de aprendizaje tiene 3 aplicaciones diferentes: para la investigación aplicada, como parte de los programas de enseñanza de Ingeniería industrial y mecánica y para empresas industriales en el campo de la Industria 4.0.

Todos los cursos están dirigidos por investigadores y estudiantes de doctorado.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- Smart Mini Factory Lab / Free University of Bozen-Bolzano. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.unibz.it/en/faculties/sciencetechnology/research/industrial-engineering-and-automation/mini-factory-lab/?acceptCookies=5fe2351a778af>

4.29. LMS FACTORY (Grecia)

- **Nombre:** LMS Factory



- **Ubicación:** Laboratorio de Sistemas de Fabricación y Automatización (LMS) en la Universidad de Patras (Grecia)
- **Año de creación:** 2012
- **Tamaño:** 300 m2
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos		Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba	Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación					Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo		Prueba virtual					Manteamiento	Modernización
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente		Totalmente virtual (planificación + ejecución)				
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real					

- **Tema principal:** Educación, producción
- **Origen:** El Laboratorio de Sistemas de Fabricación y Automatización (LMS) de la Universidad de Patras ha llevado a cabo varias Learning Factories, con el fin de adaptar los conocimientos teóricos a la práctica industrial, contando con avanzados equipos y herramientas para conseguir la simulación real de una fábrica.
- **Características:** en LMS se han realizado varios diseños industriales:
 - Diseño colaborativo de un automóvil controlado por radio (RC Car): los participantes se forman en el diseño del producto, en la fabricación de dicho producto y fomenta el trabajo en equipo. Utilizan la realidad virtual para comprobar la validez del diseño y posteriormente pasan a la producción del vehículo, contando con máquinas laser y otras

herramientas específicas. Por último, realizan un control de calidad (Figura 4.25)

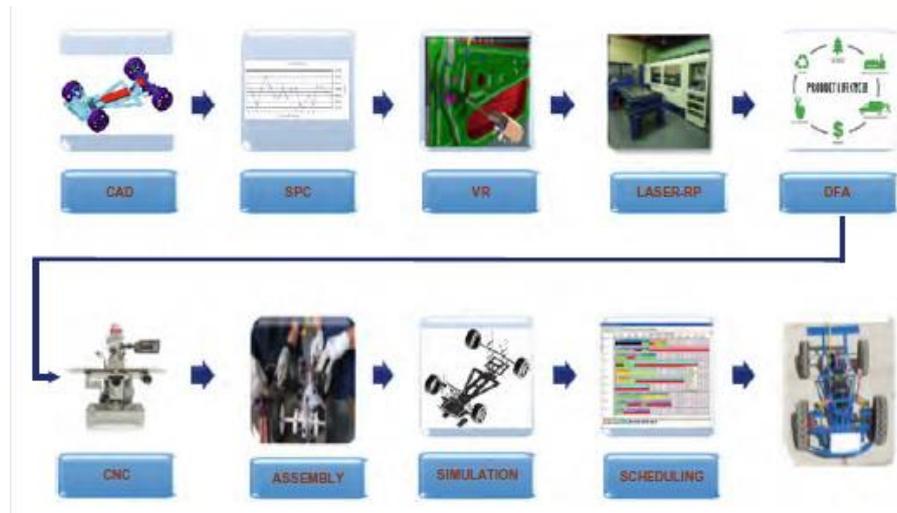


Figura 4.25 Producción del RC Car en LMS (E. Abele, 2018)

- Diseño y fabricación de una caja de cambios de dos velocidades: su principal objetivo es que los alumnos logren una práctica real. Este diseño consta de una carcasa de acero, cuatro engranajes y dos ejes y se basa en los principios básicos de fabricación a través de los procesos de mecanizado
- **Formación:** en este caso la LMS Factory está enfocada a los alumnos de la Universidad de Patras que cursan ingeniería. Los participantes tienen acceso a cursos de simulación de la realidad, con el fin de conseguir las capacidades prácticas necesarias para poder desarrollar su carrera profesional en el entorno industrial

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- *LMS - Laboratorio de sistemas de fabricación y automatización*. Consultado en diciembre de 2020
<http://lms.mech.upatras.gr/>

4.30. TEACHING FACTORY (Grecia)

- **Nombre:** Teaching Factory (TF)



- **Ubicación:** Laboratorio de Sistemas de Fabricación y Automatización (LMS), Universidad de Patras (Grecia)
- **Dimensiones:**

OBJETIVOS Y PROPOSITOS	Objetivo principal	Educación		Formación		investigación					
	Objetivos secundarios	Entorno de prueba		Producción industrial	Transferencia de innovación		Imagen pública				
PROCESO	Ciclo de vida del producto	Planificación del producto	Desarrollo de productos		Prototipos		Fabricación	Montaje	Logística	Servicio	Reciclaje
	Ciclo de vida de la fábrica	Planificación de inversiones	Concepto de fábrica	Panificación de procesos	Rampa arriba	Mantenimiento				Reciclaje	
	Ciclo de vida del pedido	Configuración y orden		Secuencia de pedidos	Planificación y programación					Picking y embalaje	Envío
	Ciclo de vida de la tecnología	Planificación	Desarrollo	Prueba virtual		Manteamiento				Modernización	
	Funciones indirectas	Actividades primarias				Actividades secundarias					
	Logística de entrada y salida	Marketing y ventas	Servicio	Infraestructura firme	RRHH	Desarrollo tecnológico	obtención				
ENTORNO	Ambiente de aprendizaje	Totalmente físico (planificación + ejecución)		Físico pero compatible con la fábrica digital	Flujo de valor extendido virtualmente			Totalmente virtual (planificación + ejecución)			
	Escala ambiental	Reducido				Tamaño real					

- **Tema principal:** enseñanza, problemas industriales.
- **Origen:** el origen de la Teaching Factory (TF) está en los nuevos avances de aprendizaje, puesto que deben adaptarse a las nuevas tecnologías y herramientas relacionadas con la producción.
- **Características:** la TF se basa en el triángulo del conocimiento y su principal objetivo es integrar de la educación, investigación e innovación en una sola actividad que involucre tanto la enseñanza como la industria de manera conjunta. El paradigma TF sigue estos desarrollos trasladando la fábrica real al aula y el aula a la fábrica real, utilizando tecnologías de la información y la comunicación (TICs)

Estas TIC permiten que los profesionales del entorno industrial y los estudiantes puedan comunicarse de manera remota mediante un canal bidireccional, es decir, surgen dos modos de aprendizaje:

- Factory-to-classroom: los profesionales de la industria muestran a los estudiantes de ingeniería los problemas, cuestiones y prácticas de fabricación (Figura 4.26)

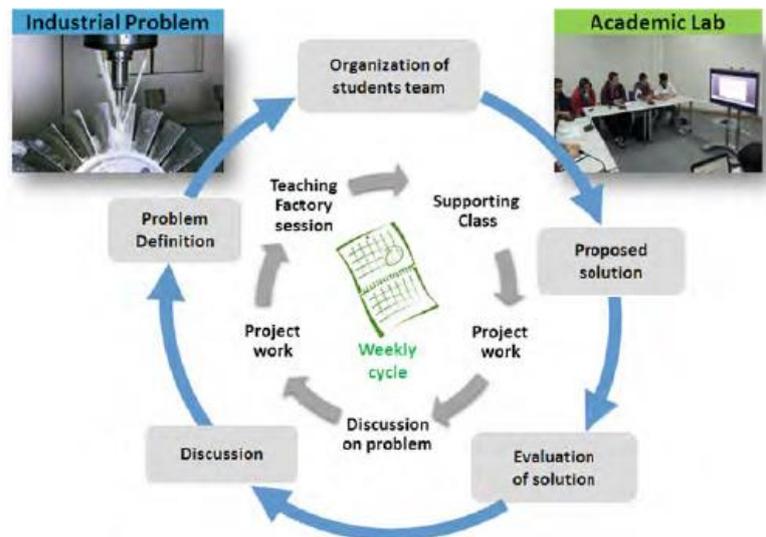


Figura 4.26 Modo de aprendizaje Factory-to-classroom (E. Abele, 2018)

- Lab-to-factory: los alumnos y sus profesores enseñan a los profesionales de la fabricación los avances en la tecnología de fabricación, las nuevas tendencias y los resultados de los proyectos de investigación y desarrollo.
- **Alumnos**: en este caso los alumnos se forman de manera remota desde sus aulas en el entorno industrial, aprendiendo de expertos experimentados en el ámbito de la industria. De este modo, se logra una trasmisión de conocimiento que aporta enseñanza y nuevas visiones tanto en la fábrica como en el aula.

REFERENCIAS:

- Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
- Chryssolouris, G., Mavrikios, D., & Rentzos, L. (2016). *The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm*. ScienceDirect, ELSERVIER, *Procedia CIRP*, 57, 44–48.



Capítulo 5. Otras Lean Learning Factories

5.1. MODEL FACTORY @ SIMTECH (Singapur)

- **Nombre:** Model Factory @ SIMTech
- **Ubicación:** Instituto de Tecnología de Fabricación, Singapur
- **Año de creación:**
- **Tamaño:**
- **Dimensiones:** Educación, formación e investigación.
- **Tema principal:** Industria 4.0, digitalización
- **Origen:** Tiene su origen en el Instituto de Tecnología de Fabricación, que cuenta con el programa Manufacturing Control Tower (MCT), el cual se centra en las tecnologías de digitalización. SIMTech nace de la necesidad de este programa de contar con una fábrica real simulada en la que se puedan mostrar y desarrollar las últimas novedades de digitalización aplicadas a la Industria 4.0
- **Características:** esta Learning Factory representa un entorno de producción real que proporciona un aprendizaje a través de la experiencia. Se basa en mostrar la tecnología de digitalización de la industria 4.0. y para ello tiene una línea de producción completa (Figura 5.1)



Figura 5.1 Model Factory @ SIMTech (Agency for Science, Singapore)

En el ámbito de la investigación, SIMTech cuenta con las herramientas y maquinaria necesarias para poder desarrollar la tecnología de los Sistemas de Producción Ciberfísica (CPPS). Este entorno CPPS permite controlar la línea de producción física proporcionando una conectividad total y la visibilidad de todas las operaciones.

Además, también se centra en la automatización de fabricación, sobre todo en lo referente a la planta de producción y la cadena de suministro.

Ofrece una transformación digital para las pymes, donde los socios pueden trabajar para configurar la inteligencia en IOT Industria 4.0.

- **Formación:** en este caso, Model Factory @ SIMTech proporciona un aprendizaje para las empresas, donde los empleados pueden formarse y experimentar, además de cooperar entre diferentes industrias, con el fin de conseguir nuevas tecnologías de fabricación que puedan aplicar en sus organizaciones y proporcionen así mejoras en los procesos productivos.

REFERENCIAS:

- Model Factory@SIMTech. (2020). Consultado en diciembre de 2020 <https://www.a-star.edu.sg/simtech/model-factory@simtech>
- Model Factory@SIMTech Virtual Tour. Consultado en diciembre de 2020 <https://www.theasys.io/viewer/CqzGaYA9FIO2DAE9D5kkkNYnhHLKw0/>



5.2. ESCUELA LEAN RENAULT CONSULTING (España)

- **Nombre:** Escuela Lean
- **Ubicación:** Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid (España)
- **Año de creación:** 2014
- **Tamaño:** 300 m²
- **Dimensiones:** Educación y formación
- **Tema principal:** Producción Lean
- **Origen:** La Escuela Lean nace de la colaboración entre Renault Consulting y la Universidad de Valladolid, con el fin de instalar en la Escuela de Ingenierías Industriales una fábrica de aprendizaje que proporcionara conocimientos sobre la producción lean. Renault Consulting cuenta también con una réplica de esta fábrica en Markina (España) y otra en Francia.
- **Características:** esta Learning Factory se basa en las aplicaciones Lean para la industria. Para ello cuenta con un taller real con todos los utensilios necesarios para poner en práctica las herramientas Lean y optimizar los procesos.

Cuenta con un proceso productivo completo, contando con un almacén de materiales, una línea de ensamblaje, un proceso de lavado... Simulando una fábrica real en la que poder albergar todos los pasos (Figura 5.2)

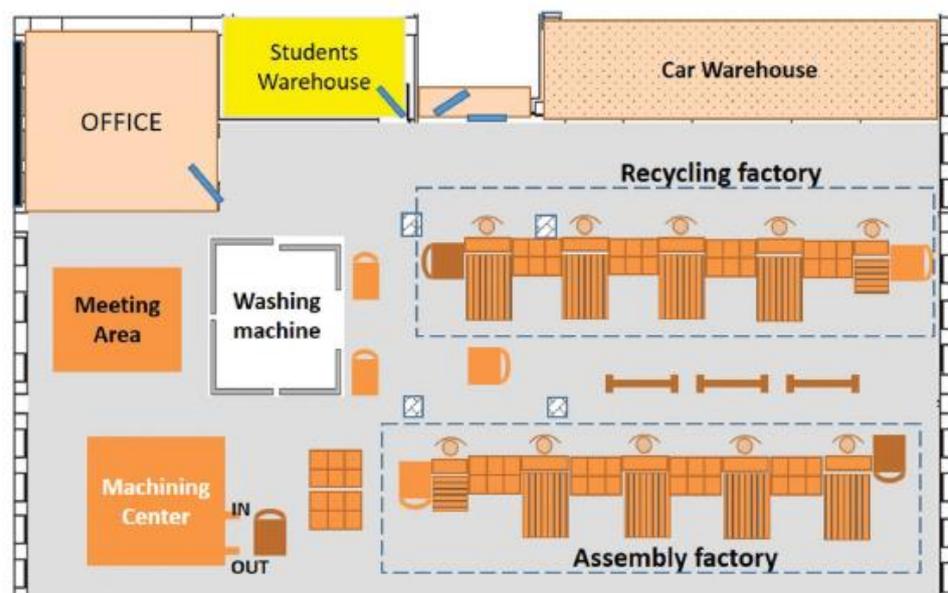


Figura 5.2 Layout de la Escuela Lean (A. Gento, 2020)

En esta escuela producen dos tipos de productos: un coche y un Solectrón

- Coche: permite diseñar diferentes variables del coche, con un total de 8 posibles combinaciones. (Figura 5.3)
- Solectrón: está formado por una base metálica y sobre ella se colocan otras 4 capas, cada una de ellas de un color diferente y cada capa está formada por otras 4 piezas (Figura 5.3)



Figura 5.3 Coche y Solectrón (Escuela Lean)

- **Formación:** la formación se ofrece tanto a profesionales como a alumnos de Grado y Master del campo de la Ingeniería.

Dentro del grupo de trabajo, cada uno de los participantes debe asumir un rol durante el proceso, actuando como operarios en la línea de ensamblaje, supervisores, transportando el material, encargados de la lavandería y almacenes... De este modo consiguen aprender cuales son los objetivos de cada trabajo, como deben adaptarse a los tiempos, los problemas que se plantean y como corregirlos... Todo ello girando en torno a optimizar los procesos y tiempos de la producción Lean.

REFERENCIAS:

- Martín Ramos, J. M. (2016). *Concepto y comparativa de las " Lean Learning Factories " del Mundo*. Universidad de Valladolid
- Gento, A. M., Pimentel, C., y Pascual, J. A. (2020). *Lean school: an example of industry-university collaboration*. *Production Planning and Control*. Valladolid: Taylor & Francis Group
- *Inicio Escuela lean - Escuela Lean*. (2018). Consultado diciembre 2018 <http://escuela-lean.es/>

5.3. LEGO FACTORY (Italia)

- **Nombre:** LEGO Factory
- **Ubicación:** Politécnico di Milano, Italia
- **Dimensiones:** Educación y formación
- **Tema principal:** optimización de sistemas de producción
- **Origen:** tiene su origen en una iniciativa organizada por el Programa de Estudios de Maestría en Ingeniería Mecánica del Politécnico de Milano como una formación extracurricular y se basa en los Sistemas de Fabricación LEGO (LMS).
- **Características:** LEGO Factory tiene como objetivo exponer los principios de aprendizaje mediante el juego para ofrecer a los participantes la posibilidad de comprender los problemas más comunes en el diseño y la gestión de sistemas de producción.

Estas actividades permiten diseñar un sistema de fabricación integrado, contando con recursos materiales y teóricos y resolver los problemas en equipo que puedan darse, como por ejemplo los cuellos de botella o los desajustes en el tiempo ciclo.

Cuentan con estaciones de carga y descarga, un sistema de rastreo de piezas a lo largo de todo el proceso, estaciones de control de calidad, un brazo robótico que manipula las piezas, sistemas de reconocimiento de imagen... todo ello desarrollado en forma de miniatura simulando una fábrica real.

En la siguiente imagen se pueden ver los elementos básicos que forman una estación en un sistema de fabricación con piezas LEGO (Figura 5.4)

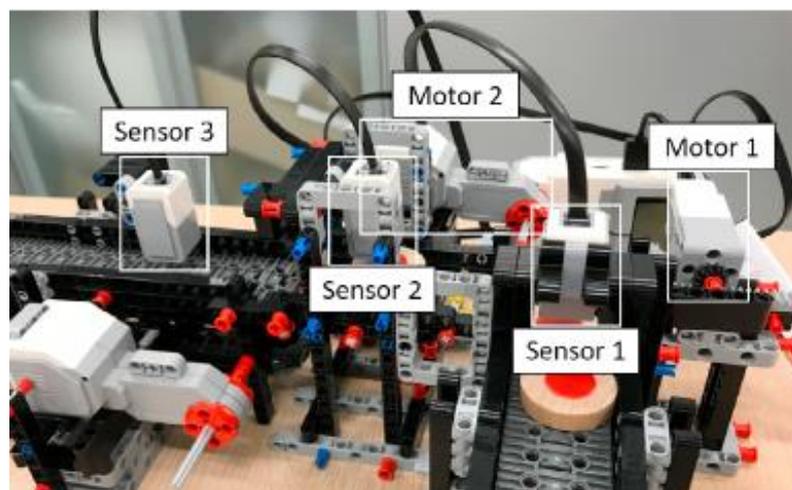


Figura 5.4 Elementos de una estación de trabajo LEGO (G, Lugaresi, 2020)

- **Formación:** los alumnos de Ingeniería tienen la opción de realizar estos cursos como una actividad extracurricular.

El curso se lleva a cabo en 8 sesiones de 4 horas cada una, distribuido en tres actividades principales:

- Clase de iniciación para conocer el material
- Actividades en grupo
- Presentación de los resultados.

Los participantes tienen que desarrollar un prototipo de dos estaciones de trabajo que se interrelacionen entre sí transportando piezas y, además, deben desarrollar soluciones en grupo a un proyecto que se les proponga. Por último deben presentar a los demás las soluciones que aportan para optimizar su sistema de fabricación.

REFERENCIAS:

- Lugaresi, G., Frigerio, N., & Matta, A. (2020). *A new learning factory experience exploiting LEGO for teaching manufacturing systems integration*. ScienceDirect, ELSERVIER, Procedia Manufacturing, 45, 271–276.

5.4. LEAN LAB (Noruega)

- **Nombre:** Lean Lab
- **Ubicación:** Parque industrial Raufoss, Noruega
- **Año de creación:** 2013
- **Tamaño:**
- **Dimensiones:** Educación y formación
- **Tema principal:** Producción Lean
- **Origen:** Lean Lab es la primera fábrica de aprendizaje de Noruega y surge de la colaboración entre diferentes empresas de Raufoss y la Universidad de Gurgaon.
- **Características:** el principal objetivo de esta fábrica de aprendizaje es formar a los participantes en torno a la filosofía Lean de manera práctica.

Cuenta una planta totalmente equipada con herramientas y maquinarias que forman un sistema productivo real enfocado a la mejora continua.



El proceso productivo se centra en la producción de casas de madera confeccionadas de acuerdo a las características que demanden los clientes. Cuenta con puertas, ventanas, chimenea... unidas a la base mediante tornillos. Este proceso de ensamblaje es en el que los participantes trabajan en equipo para conseguir reducir los tiempos, adecuarse a la demanda, que las casas cuenten con la calidad apropiada, mejorar el proceso productivo... (Figura 5.5)



Figura 5.5 Casa de madera diseñada en Lean Lab (Lean Lab)

- **Formación:** ofrece diferentes cursos a empresas de diferentes sectores que quieran formar a sus trabajadores en todo lo referente a la filosofía Lean. Cuenta con talleres Lean de introducción o de niveles más avanzado, yendo desde un día de duración hasta cinco.

Puede aplicarse tanto a los operarios de las fábricas como a gestores o encargados de mejorar los procesos productivos.

REFERENCIAS:

- Martín Ramos, J. M. (2016). *Concepto y comparativa de las " Lean Learning Factories " del Mundo*. Universidad de Valladolid
- Om Lean lab – leanlab.no. Consultado en diciembre de 2020
<http://leanlab.no/om-lean-lab/>

5.5. LEAN FACTORY GROUP (Vietnam)

- **Nombre:** Lean Factory Group
- **Ubicación:** Vietnamese-German University (Vietnam)

- **Año de creación:** 2014
- **Dimensiones:** Formación y Educación
- **Tema principal:** Producción Lean
- **Origen:** Esta Learning Factory tiene su origen en un acuerdo de colaboración entre Leonardo Group, una empresa líder en consultoría y producción Lean y la Vietnamese-German University. Lean Factory Group nace por la necesidad de aplicar los modelos de éxito almenes a los estándares académicos de Vietnam.

Además de esta escuela creada en vietnam, el grupo Leonardo también ha aplicado este modelo de fábrica de aprendizaje en Langenfeld (Alemania), Urdorf (Suiza), Michigan (EE. UU) y Shanghai (China)

- **Características:** su principal objetivo es aportar experiencia práctica en el campo de la producción Lean

Su línea de producción está formada por áreas de ensamblaje, de producción, estaciones de trabajo, almacenes, controles de calidad... y aplica la distribución en U de la planta (Figura 5.6)



Figura 5.6 Línea de producción de Lean Factory Group (Lean Factory Group)

En esta Learning Factory se lleva a cabo una plataforma móvil con ruedas, que se usa como base de los trolley de las estanterías. Tiene varias características posibles en función de la demanda de los clientes.

- **Formación:** en este caso los cursos se dirigen a empresas clientes o a estudiantes de la universidad. Se realizan formaciones específicas en torno al



Lean y sus herramientas, como un taller de 5S, de diseño de un VSM, de Heijunka...

REFERENCIAS:

- Martín Ramos, J. M. (2016). *Concepto y comparativa de las " Lean Learning Factories " del Mundo*. Universidad de Valladolid
- *Lean Factory Group*. (2018). Consultado en diciembre de 2020
<https://www.lean-factory.com/>
- *Trainingscenter - Leonardo Group GmbH*. (2020). Consultado en diciembre de 2020
<https://www.leonardo-group.com/ueber-uns/tainingscenter/>

5.6. LEAN LEARNING FACTORY (Rumanía)

- **Nombre:** Lean Learning Factory
- **Ubicación:** Universidad de Pitesti (Rumanía)
- **Año de creación:** 2018
- **Dimensiones:** Educación, formación e investigación
- **Tema principal:** Producción Lean
- **Origen:** Lean Learning Factory comenzó a desarrollarse en la Universidad de Pitesti a raíz de un proyecto de investigación de tecnologías de fabricación inteligente para la producción avanzada de piezas de las industrias automotriz y aeronáutica. Las empresas de estos sectores sufren cambios muy rápidamente, por lo que deben estar adaptadas constantemente en las novedades e innovación, es por ello que, para experimentar estos métodos de mejora de los flujos de fabricación, se diseñó un laboratorio práctico tipo Lean Learning Factory.

- **Características:** para poner en práctica la filosofía lean necesaria para estar al corriente de los cambios en el entorno de la producción, decidieron elegir como producto para la Lean Learning Factory un volante llevar a cabo su proceso de ensamblaje. (Figura 5.7)

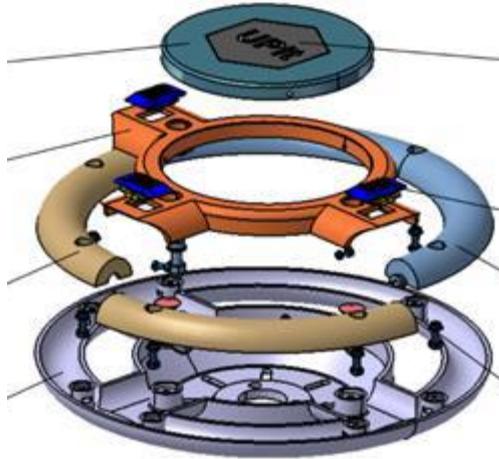


Figura 5.7 Volante diseñado en la Lean Learning Factory (E.L. Nitu, 2019)

Cuenta con estaciones de trabajo, muchas de ellas digitalizadas e integradas en la industria 4.0, permitiendo aplicar las herramientas Lean a lo largo de todo el proceso.

- **Formación:** se llevan a cabo cursos tanto para estudiantes de pregrado, posgrado y doctorad, como para empleados de empresas automotrices, siempre adaptados a cada uno de ellos.

Además, esta factoría de aprendizaje permite desarrollar proyectos de investigación de empresas industriales, aportando nuevas soluciones o mejorando los procesos actuales.

REFERENCIAS:

- Nitu, E. L., & Gavriluta, A. C. (2019). *Lean Learning Factory at the University of Pitesti*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 591(1).

5.7. FIM LEARNING FACTORY (Malasia)

- **Nombre:** FIM Learning Factory
- **Ubicación:** Facultad de Gestión Industrial, Universidad de Malasia
- **Año de creación:** 2017



- **Tamaño:** 588 m²
- **Dimensiones:** Educación y formación
- **Tema principal:** Producción Lean, Industria 4.0
- **Origen:** FIM Learning Factory nace de la necesidad de la Facultad de Gestión Industrial de incorporar una asignatura práctica en sus estudios universitarios que cubriera las necesidades de la asignatura de Lean Manufacturing.
- **Características:** se trata de una simulación de una fábrica real y cuenta con:
 - Almacén de recepción
 - Línea de montaje
 - Sección de control de calidad
 - Almacén de salida

Además, a lo largo de todo el flujo también consta de un proceso de ensamblaje y de logística, basado en una producción flexible, y cuyo producto experimental es un secador de manos (Figura 5.8).



Figura 5.8 Línea de producción de FIM Learning Factory (M.G. Maarof, 2019)

- **Formación:** en este caso FIM Learning Factory está enfocada a la educación y formación de los alumnos de la universidad de malasia, con el fin de proporcionarles competencias en el entorno industrial real y completar su plan de estudios con una experiencia práctica.

REFERENCIAS:

- Ghazali Maarof, M., Nawanir, G., & Fakhru Yusuf, M. (2019). *Learning Factory Concept and Development at Faculty of Industrial Management, Universiti Malaysia Pahang*. KnE Social Sciences.
- FIM UMP - Fábrica de aprendizaje. Consultado en diciembre de 2020 <https://fim.ump.edu.my/index.php/centres/learning-factory>

5.8. FSRE LEARNING FACTORY (Bosnia y Herzegovina)

- **Nombre:** FSRE Learning Factory
- **Ubicación:** Universidad de Mostar (Bosnia y Herzegovina)
- **Año de creación:** 2018
- **Dimensiones:** Educación, formación e investigación
- **Tema principal:** Producción Lean, Industria 4.0
- **Origen:** FSRE Learning Factory tuvo su origen en 2018, cuando la FSRE (Facultad de Ingeniería Mecánica, Informática e Ingeniería Eléctrica) solicitó la financiación del proyecto a la UE con el fin de establecer una asociación comercial entre las empresas y la universidad para aumentar su competitividad, apoyarse en una Learning Factory. Cuenta con 9 empresas asociadas del sector del metal y el plástico.
- **Características:** esta Learning Factory engloba todo el proceso de la cadena de suministro: obtención de la materia prima, diseño del producto, mecanizado, montaje, almacenaje... además cuenta con sistemas de información y logística. Todo el proceso está automatizado y se le aplican herramientas Lean, contando con robots, máquinas 3D, un sistema ERP...

En esta fábrica de aprendizaje se desarrollan dos productos:

- **Tijeras:** se trata de un diseño simple, aunque sirvió para comenzar a llevar a cabo actividades de mejora del producto, de tiempos de fabricación, de diseño...
- **Plataforma elevadora:** es un producto más complejo, tiene muchas más utilidades y además tiene diferentes variantes en función de su mecanismo de elevación (simple o doble), su tipo de movilidad, las dimensiones... (Figura 5.9)



Figura 5.9 Plataforma Elevadora en diseño 3D y real (Z. Stojkic, 2019)

- **Formación:** FSRE Learning Factory ofrece formación tanto a los estudiantes de la universidad de Mostar como a empleados de empresas.

En el caso de los estudiantes, está enfocado para los alumnos de Ingeniería Industrial, pudiendo acceder a esta fábrica tanto para formarse profesionalmente como para realizar trabajos de investigación.

Esta formación ofrece una integración del ámbito industrial a través de la experiencia y de la cooperación entre los estudiantes, los profesores y los empleados industriales.

REFERENCIAS:

- About Learning Factory Project. (2018). Consultado en diciembre de 2020 <http://learningfactory.fsre.sum.ba/en/about-project.html>

5.9. LEAD FACTORY (Austria)

- **Nombre:** LEAD Factory
- **Ubicación:** Universidad Técnica de Graz (Austria)
- **Año de creación:** 2014
- **Dimensiones:** Educación, formación o investigación
- **Tema principal:** Producción Lean, digitalización
- **Origen:** esta LEAD Factory fue desarrollada en 2014 por el instituto de Innovación y Gestión Industrial (IIM) con el fin de ofrecer una formación práctica tanto a estudiantes de la universidad de Graz como a empleados industriales. El acrónimo de LEAD se basa en las áreas: Lean, Energy Efficient, Agile and Digital.

- **Características:** LEAD Factory se centra en simular una fábrica real donde se realiza todo el proceso de fabricación de un Scooter, basado en tres estados: el actual, estado mejorado y optimizado y estado digital, aunque el que cobra mayor fuerza en la fábrica de aprendizaje es el optimizado.

Es producto Scooter está formado por 60 piezas y 3 variantes diferentes y permite el montaje y el desmontaje del mismo para poder ir aplicando las herramientas y establecer las mejoras en el proceso productivo. (Figura 5.10)



Figura 5.10 Scooter fabricado en LEAD Factory (IIM Graz)

Todo el proceso cuenta con una red logística y controles de calidad, ya que el patinete tiene que cumplir con todas las funciones estipuladas.

- **Formación:** los cursos de LEAD Factory están enfocados tanto para estudiantes como para formar a los empleados de las empresas industriales.

El módulo de aprendizaje consta de un análisis previo de las variantes del scooter. Después se enseña a los participantes la parte teórica sobre cómo se montan y se desmontan las piezas que lo forman, para posteriormente comenzar a aplicar las herramientas Lean para optimizar todo el proceso y terminar realizando un análisis de los resultados y de control de la calidad.

REFERENCIAS:

- IIM - LEAD Factory. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.tugraz.at/en/institutes/iim/facilities/lead-factory/>
- Kohlweiss, A., Auberger, E., Ketenci, A., & Ramsauer, C. (2020). *Integration of a teardown approach at Graz University of Technology's LEAD Factory*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia Manufacturing*, 45, 240–245.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.101>



5.10. IDEALAB (Noruega)

- **Nombre:** IdeaLab
- **Ubicación:** Universidad de Ciencia y Tecnología (NTNU) de Alesund (Noruega)
- **Año de creación:** 2017
- **Tamaño:** 120 m²
- **Dimensiones:** Educación, formación e investigación
- **Tema principal:** Industria 4.0
- **Origen:** IdeaLab se desarrolló en 2017 y forma parte de un amplio proyecto denominado Manulab, que se trata de una red de instalaciones de laboratorios de la que forman parte los socios de NTNU. Fue financiado por el Consejo de Investigación de Noruega. Se centra principalmente en la industria marítima local.
- **Características:** cuenta tanto con un laboratorio físico como con una infraestructura digital, que permite la integración constante de todos los socios.

En esta fábrica de aprendizaje que lleva a cabo el diseño, planificación, desarrollo, creación de prototipos y programación de los productos. Es una fábrica con automatización híbrida.

En esta Learning Factory se desarrollan dos prototipos de productos reutilizables:

- Modelo de teléfono móvil: cuenta con 5 componentes y 2 posibles variantes. Este producto no tiene ninguna aplicación, simplemente sirve como práctica del proceso productivo y demostración.
 - Carcasa de transporte: tiene 12 componentes y 4 variantes. Se trata de un producto simplificado pero que se encuentra realmente en el mercado
- **Formación:** los cursos que se llevan a cabo pueden ser desempeñados tanto por los alumnos de la universidad como por los empleados de las empresas asociadas, llegando a los 200 participantes anuales. Los cursos tienen una duración de entre 3 y 5 días

REFERENCIAS:

- Vijayan, K. K., & Mork, O. J. (2020). *IdeaLab: A learning factory concept for Norwegian manufacturing SME*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia Manufacturing*, 45, 411–416.

5.11. STELLENBOSCH LEARNING FACTORY (SLF) (Sudáfrica)

- **Nombre:** Stellenbosch Learning Factory (SLF)
- **Ubicación:** Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Stellenbosch (Sudáfrica)
- **Año de creación:** 2015
- **Tamaño:**
- **Dimensiones:** Educación, formación e investigación
- **Tema principal:** Industria 4.0
- **Origen:** fue desarrollada gracias a los principios de V. Schalkwyk en la universidad de Stellenbosch en 2013, aunque no fue hasta 2015 cuando empezó su funcionamiento. Contó con financiación de asociaciones empresariales para ponerse en marcha y está basada en las fábricas de aprendizaje alemanas LPS Learning Factory (Bochum) y ESB Logistics Learning Factory, tras varias visitas a sus instalaciones.
- **Características:** el principal objetivo de SLF es aportar soluciones a la industria sudafricana. Trata de conseguir una réplica de una fábrica real, representando todo el proceso productivo. Cuenta con 10 estaciones de trabajo, todas ellas con ruedas para que puedan desplazarse. A lo largo de todo el proceso cuenta con líneas de ensamblaje y estaciones de control de calidad, de entrega, de pedidos...

En este caso, el producto elegido para el aprendizaje práctico fue un tren de escala 0 con dos posibles variables y más de 60 piezas. Se puede tratar de un vagón de conducción o de pasajeros (Figura 5.11)



Figura 5.11 Vagon de conducción y de pasajeros de SLF (D. Hagedorn-Hansen, 2017)

- **Formación:** los cursos de SLF están enfocados a los estudiantes de Ingeniería Industrial de la Universidad de Stellenbosch.

La formación en esta fábrica de aprendizaje se adapta a su plan de estudios, implementando conocimientos prácticos en el campo de la logística, gestión de tiempo y movimiento, tiempos ciclo, cuellos de botella, ergonomía, impresión 3D, control de inventarios...

A través de estos cursos los participantes adquieren los conocimientos adecuados para poder evaluar y mejorar las fábricas reales

REFERENCIAS:

- Steenkamp, L. P., Hagedorn-Hansen, D., & Louw, L. (2017). *Framework For The Development Of A Learning Factory For Industrial Engineering Education In South Africa*. South Africa, SAII28 Proceedings 131–140.

5.12. SEPT LEARNING FACTORY (Canadá)

- **Nombre:** SEPT Learning Factory
- **Ubicación:** Facultad de Ingeniería de la Universidad de McMaster (Canadá)
- **Dimensiones:** educación, formación e investigación.
- **Tema principal:** Industria 4.0
- **Origen:** tiene su origen en la Universidad de McMaster tras la necesidad de formar sus alumnos de forma práctica en lo referente a la producción lean y la industria 4.0 y a los Sistemas Ciberfísicos.
- **Características:** esta Learning Factory se centra en el desarrollo de Sistemas Ciberfísicos (CPS) y en la aplicación de la Industria 4.0, aplicando las herramientas del internet de las cosas (IOT)

En las instalaciones se pueden encontrar laboratorios de diseño, de simulación, de análisis, de creación de prototipos....

SEPT Learning Factory cuenta con una línea de producción totalmente digitalizada, con sensores que recopilan y transmiten información en los diferentes módulos a lo largo del proceso productivo. Incluye además robots móviles inteligentes y todo tipo de herramientas que fomentan la optimización de la producción.

Las estaciones CPS se usan para fabricar, ensamblar y probar sistemas mecatrónicos con componentes mecánicos y electrónicos. Cada estación cuenta con un controlador lógico programable (PLC) con entradas y salidas estándar, módulos de comunicación, accionamientos eléctricos y sensores inteligentes.

- **Formación:** los cursos de formación de SEPT Learning Factory están enfocados tanto para los estudiantes de ingeniería industrial como para los empleados de las fábricas.

En el caso de los estudiantes de grado es muy útil para demostrar la aplicación de la industria 4.0. Además, durante los meses de verano pueden llevar a cabo investigaciones para sus proyectos educativos.

REFERENCIAS:

- Elbestawi, M., Centea, D., Singh, I., & Wanyama, T. (2018). *SEPT Learning Factory for Industry 4.0 Education and Applied Research*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia Manufacturing*, 23, 249–254.

5.13. FEBS LEAN LEARNING FACTORY (Croacia)

- **Nombre:** FEBS Learning Factory
- **Ubicación:** Facultad de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Mecánica y Arquitectura Naval (FESB) de la Universidad de Split (Croacia)
- **Año de creación:** 2019
- **Tamaño:** 114 m²
- **Dimensiones:** Educación, formación e investigación.
- **Tema principal:** Producción Lean, Industria 4.0, logística.
- **Origen:** esta Lean Learning Factory tiene su origen en FESB con el fin de satisfacer las necesidades de formación práctica en el entorno industrial.



- **Características:** la Learning Factory de FESB cuenta con un proceso productivo basado en una línea de ensamblaje que trata de aplicar las herramientas Lean con fin de optimizar los procesos.

En esta fábrica de aprendizaje se desarrollan varios métodos para llevar a cabo la formación:

- Juego de la cerveza: fomenta el aprendizaje del funcionamiento de una cadena de suministro
- Coches LEGO: se desarrolla para optimizar el almacenaje y las aplicaciones logísticas a lo largo de todo el flujo
- Caja de cambios: se produce en una línea de ensamblaje real para mejorar tiempos, procesos, resolver problemas...
- Karet: es su producto más importante, cuenta con varias variables y es ideal para aplicar las herramientas Lean en su proceso productivo, ya que es muy flexible, requiere controles de calidad, tiene varios componentes... (Figura 5.12)



Figura 5.12 Karet producido en FESB (J.M. Martín, 2016)

- **Formación:** en este caso, la Learning Factory de FESB está enfocada tanto para los alumnos de ingeniería como para profesionales. Todos ellos están basados en las aplicaciones logísticas y herramientas Lean de la industria.

En el caso de los estudiantes, también pueden desarrollar sus investigaciones de tesis en los laboratorios.

REFERENCIAS:

- Gjeldum, N., Mladineo, M., & Veza, I. (2016). *Transfer of Model of Innovative Smart Factory to Croatian Economy Using Lean Learning Factory*. ScienceDirect, ELSEVIER Procedia CIRP, 54, 158–163.

- Martín Ramos, J. M. (2016). *Concepto y comparativa de las " Lean Learning Factories " del Mundo*. Universidad de Valladolid
- Veza, I., Gjeldum, N., & Mladineo, M. (2015). *Lean learning factory at FESB - University of Split*. ScienceDirect, ELSEVIER, Procedia CIRP, 32, 132–137.

5.14. i-FAB (Italia)

- **Nombre:** i-Fab
- **Ubicación:** Universidad de Castellanza (Italia)
- **Año de creación:** 2016
- **Tamaño:** 230 m²
- **Dimensiones:** Educación y formación
- **Tema principal:** Producción Lean, Industria 4.0
- **Origen:** esta Learning Factory se puso en marcha por la necesidad de adaptar la formación práctica a las innovaciones de la industria 4.0
- **Características:** i-Fab es una fábrica de producción que simula una fábrica real y en ella se ensamblan y desmontan futbolines con toda la maquinaria y las herramientas necesarias adaptadas a la Industria 4.0. (Figura 5.13) Además, está adaptado al internet de las cosas (IOT), cuenta con sistemas RFID y robots colaborativos.



Figura 5.13 Futbolines ensamblados en i-Fb (iFab)

Estos futbolines están formados por 582 componentes con diferentes tamaños y pesos, lo que hace que se logre un proceso complejo muy similar al de una fábrica real. Se trata de un proceso de producción Lean, contando con todos los procesos enfocados a la calidad total, el JIT y la mejora continua.



- **Formación:** los alumnos de Ingeniería trabajan en grupos de 12 o 15 personas, con el fin de que se adapten lo máximo posible a la producción real. cada participante asume un rol dentro del proceso productivo, asumiendo sus obligaciones y aportando las soluciones precisas a los problemas que se planteen. De esta forma, consiguen conocer cómo se adapta la producción lean en la industria 4.0 y adquieren la experiencia necesaria para luego aplicarlo en el mundo real.

REFERENCIAS:

- Rossi, M., Rossini, M. & Terzi, S. (2019). *Proceedings of the 6th European Lean Educator Conference*. Milan: Springer Lecture Notes in Networks and Systems (Vol. 122).
- i-FAB - Universidad LIUC Cattaneo - Universidad LIUC Cattaneo. Consultado en diciembre de 2020
<http://www.liuc.it/la-ricerca-in-liuc/ifab/>

Capítulo 6. Estudio económico

6.1. PERSONAL IMPLICADO

Para el desempeño del proyecto del TFM hemos contado con 4 personas implicadas, cada una de las cuales ha desempeñado unas funciones dependiendo de su cargo que se detallan a continuación:

- **JEFE DE PROYECTOS:** esta persona debe ser Graduado en Ingeniería industrial y contar con alrededor de 10 años de experiencia. Su misión es la gestión de uno o varios proyectos que se lleven a cabo en la organización. Es el encargado de establecer los objetivos que tenga cada proyecto, así como las tareas y actividades que tenga que desarrollar cada persona o departamento implicado. También debe realizar un análisis de los plazos y aprobar el presupuesto que se establezca en cada caso. Por último y no menos importante, debe ver si se cumplen los objetivos que ha establecido y los resultados que se han obtenido.
- **TÉCNICO FINANCIERO:** en este caso el responsable debe estar Graduado en Economía, Finanzas o similares. También puede contar con varios proyectos a su cargo y tiene que encargarse de la parte económica, planificando y organizando los gastos directos e indirectos, así como los imprevistos que puedan surgir, siempre adaptándose al presupuesto establecido. En este caso su experiencia suele ser de entre 3 y 5 años.
- **TÉCNICO DE PROYECTO:** la persona encargada puede ser Graduado en Comercio y contar con pocos años de experiencia. Su misión se centra en un solo proyecto, realizando una búsqueda de información, análisis de su puesta en marcha, cumplir con los objetivos establecidos y adaptarse al presupuesto planteado.
- **AUXILIAR ADMINISTRATIVO:** en este caso debe contar con una Formación Profesional del ámbito administrativo y contar con experiencia. Debe encargarse de las tareas derivadas de los otros encargados, como establecer los informes necesarios, tareas administrativas, gestión de correos electrónico, elaboración de la memoria del proyecto



6.2. FASES DE DESARROLLO

Para la realización del Trabajo del Fin de Master deben tenerse en cuenta varias fases de desarrollo que deben seguirse de manera secuencial para lograr el correcto desempeño de los objetivos establecidos:

- **ELECCION DEL TEMA:** el encargado de esta fase es el Jefe del Proyecto, puesto que debe elegir un tema que aporte un desarrollo económico, sea viable, rentable y además aporte nuevos conocimientos. Por otro lado, también tiene que tener en cuenta el presupuesto que se puede destinar a este proyecto y establecer los plazos.
- **INVESTIGACION Y BUSQUEDA DE INFORMACIÓN:** es una de las partes más importantes del proyecto, puesto que es esencial contar con una información de primera mano, contrastada, actualizada y veras, que provenga de fuentes fiables. La principal herramienta en este caso es internet, puesto que se tiene acceso tanto a páginas web como a artículos, noticias o incluso libros, teniendo todos ellos al alcance sin mayores costes. En este caso, requiere de mucho tiempo de dedicación a la lectura y visión de todo el contenido que se tiene al alcance.
- **RECOPIACION Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN:** una vez que ya contamos con la información, debemos analizarla rigurosamente. Es una actividad que en la mayoría de los casos se realiza de manera simultánea con la anterior. En este caso ya tenemos que ir recopilando la información que nos sirve de cara al proyecto, de forma que se encuentre ordenada y sea fácil de encontrar cuando necesitemos recurrir a ella. La parte de análisis requiere mucha concentración, puesto que es la base para comenzar a desarrollar las diferentes partes del proyecto y esa información debe aportar valor a nuestro trabajo.
- **DESARROLLO Y REDACCIÓN DEL PROYECTO:** lo siguiente que tenemos que hacer, una vez estén claras y bien desarrollas las fases anteriores, es comenzar a elaborar el proyecto, redactando todas las ideas, conceptos, herramientas, gráficos... que hayamos obtenido y nos sean útiles. Es el auxiliar administrativo quien lleva el mayor peso de esta fase, puesto que es el encargado de redactar el proyecto de manera adecuada, cuidando la expresión, la ortografía y la presentación. El desarrollo del proyecto es la parte visible de todas las horas de trabajo invertidas, por ello debe someterse a varios repasos una vez se vaya completando.
- **PRESENTACION:** una última fase estaría destinada a la elaboración de la presentación. En este caso, debemos reflejar de manera muy visual y

resumida las principales ideas de nuestro proyecto para exponerlas a las personas correspondientes. En este caso, sería el técnico de proyecto quien debe realizar esta exposición con el apoyo del auxiliar administrativo, de cara a que tanto el Jefe de Proyecto como el Técnico Financiero y el Director General, aprueben el proyecto porque cumpla con los objetivos. Estas personas contarán previamente con el documento correspondiente del proyecto, es por ello que solo debemos reflejar las principales ideas.

6.3. ESTUDIO ECONÓMICO

6.3.1. DÍAS Y HORAS DE TRABAJO

En este apartado llevamos a cabo el desglose de los días y las horas de trabajo que se han empleado por el personal implicado para cada una de las fases del proyecto. Como podemos ver en la Tabla 6.1, es un gran número de horas el que se ha invertido en la búsqueda y el análisis de la información, puesto que son muchas las fuentes de información existente y debe ser contrastada para dar unos datos reales del contenido:

FASE	HORAS/DÍA	DIAS TOTALES	HORAS TOTALES
Búsqueda de información	5	38	190
Análisis de información	6	40	240
Desarrollo del proyecto	7	48	336
Presentación	4	3	12

Tabla 6.1 Días y horas dedicadas a cada fase del proyecto

En la mayoría de los casos, las fases específicas se han llevado a cabo de manera secuencial y repetitiva, es decir, de un determinado concepto o capítulo se ha realizado la búsqueda y análisis de la información y su posterior desarrollo y redacción del proyecto, continuando posteriormente con la búsqueda de información del siguiente capítulo y así sucesivamente. En la siguiente tabla (Tabla 6.2) podemos verlo gráficamente, representando la distribución aproximada de cada fase en las semanas que se han ido realizando.



FASES	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Búsqueda de información	■	■				■	■					
Análisis de información		■	■				■	■				
Desarrollo del proyecto			■	■	■			■	■	■	■	
Presentación												■

Tabla 6.2. Distribución de las fases del proyecto en las semanas de trabajo

Una vez analizadas las horas en función de la fase, podemos establecer una relación de cada una de ellas teniendo en cuenta el total de horas que se han dedicado a la puesta en marcha del proyecto. La siguiente tabla (Tabla 6.3) nos muestra el porcentaje de implicación de cada actividad respecto del total del proyecto:

FASE	HORAS	HORAS TOTALES
Búsqueda de información	190	24,42 %
Análisis de información	240	30,85 %
Desarrollo del proyecto	336	43,19 %
Presentación	12	1,54 %
	778	100%

Tabla 6.3 Porcentaje de horas de cada fase respecto de las horas totales del proyecto

De este modo, podemos ver (Tabla 6.3) que más de la mitad del tiempo invertido en el proyecto se ha dedicado a una búsqueda y análisis de la información, remarcando la importancia de contar con la información y las fuentes adecuadas y fiables, así como datos lo más actualizados posible. Centrándonos en el tiempo específico de cada fase, es la redacción del proyecto la que ocupa la mayor parte del tiempo dedicado, siendo casi del 44% del total de horas invertidas, mientras que la elaboración de la presentación lleva muy poco tiempo habiendo realizado muy bien todas las fases anteriores.

También vamos a analizar en la siguiente tabla (Tabla 6.4) la relación entre las fases del proyecto y las horas que cada de las personas implicadas han dedicado a esas fases:

FASE	HORAS TOTALES POR FASE	JEFE DE PROYECTO	TÉCNICO FINANCIERO	TÉCNICO DE PROYECTO	AUXILIAR ADMIN.
1. BUSQUEDA DE INFORMACION	190	45 h	28 h	110 h	7 h
2. ANÁLISIS DE INFORMACION	240	35 h	50 h	135 h	20 h
3. DESARROLLO DEL PROYECTO	336	15 h	28 h	33 h	260 h
4. PRESENTACION	12	0 h	0 h	7 h	5 h
	778	95 h	106 h	285 h	292 h

Tabla 6.4 Horas de cada persona implicada dedicadas a cada fase

Como podemos ver en la tabla (Tabla 6.4), el Jefe del Proyecto es el que menos tiempo invierte en el mismo, puesto que, como ya hemos indicado, cuenta con las proyectos a su cargo y además es el encargado de plantear los objetivos y ver que se cumplan las metas, por ello donde más horas invierte es en la búsqueda de información para plantear todos los puntos clave.

En el caso del Técnico financiero, donde más horas invierte es en el análisis de la información, puesto que para establecer el presupuesto del proyecto necesita contar con toda la información necesaria para poder ser objetivo con sus cálculos.

El Técnico de Proyecto está implicado totalmente en el proyecto, por lo que tiene más carga de trabajo y es quien debe centrarse en la búsqueda y análisis de información para que se consigan los objetivos planteados siempre ajustándose al presupuesto, así como la elaboración de la presentación.

Por último, el auxiliar administrativo también se centra totalmente en un solo proyecto, y es quien cuenta con la labor de realizar el desarrollo y redacción del proyecto con la información que ha recibido.



6.3.2.COSTE DE PERSONAL

Teniendo en cuenta los sueldos aproximados de cada categoría profesional de las personas implicadas en la realización del proyecto, podemos establecer los siguientes costes de personal para la empresa, teniendo en cuenta el salario que cobran los trabajadores y la seguridad social que paga la empresa por ellos (Tabla 6.5),

	JEFE DE PROYECTO	TECNICO FINANCIERO	TECNICO DE PROYECTO	AUXILIAR ADM.
SUELDO BRUTO ANUAL	45.000 €	38.000 €	27.000 €	18.000 €
SEGURIDAD SOCIAL (5%)	15.750 €	13.300 €	9.450 €	6.300 €
TOTAL ANUAL	60.750 €	51.300 €	36.450 €	24.300 €
TOTAL MENSUAL	4.336,29 €	3.664,29 €	2.603,57 €	1.735,71 €
TOTAL POR HORA	27,12 €	22,90 €	16,27 €	10,85 €

Tabla 6.5 Costes de personal

En la siguiente tabla (Tabla 6.6) también podemos ver el coste de cada persona implicada en el proyecto respecto de las horas de trabajo que realiza en cada fase, así como su porcentaje respecto del coste total. Para ello tendremos en cuenta la Tabla 6.3, donde se determinan dichas horas de trabajo. Además, también contaremos con el coste de cada una de las fases teniendo solo en cuenta la variable del personal.

FASE PERSONA	JEFE DE PROYECTO	TECNICO FINANCIERO	TECNICO DE PROYECTO	AUXILIAR ADM.	COSTE TOTAL POR FASE
1.BUSQUEDA DE INFORMACION	1.220,40 €	641,20 €	1.789,70 €	75,95 €	3.727,25
2. ANÁLISIS DE INFORMACION	949,20 €	1.145 €	2.196,45 €	217 €	4.507,65
3. DESARROLLO DEL PROYECTO	406,80 €	641,20 €	536,91 €	2.821 €	4.405,91

4. PRESENTACIÓN	-	-	113,87 €	54,25 €	168,12 €
COSTE TOTAL POR PERSONA	2.576,40 €	2.427,40 €	4.636,93 €	3.168,20 €	12.808,93 €
PORCENTAJE COSTE POR PERSONA	20,11 %	18,95 %	36,20 %	24,74 %	100 %

Tabla 6.6 Coste del personal en cada fase

Como podemos ver en la Tabla 6.6, la persona que más coste implica es el Técnico de Proyecto, puesto que se dedica solamente a ese proyecto y su salario por hora es mayor que el del auxiliar administrativo, aunque sea este quien más horas de trabajo dedica al proyecto. En el caso del Jefe del Proyecto y del Técnico Financiero, tienen un coste menor puesto que realizan menos horas de trabajo, aunque no es proporcional al del auxiliar administrativo ya que su salario es mucho mayor.

6.3.3.COSTE DEL MATERIAL CONSUMIBLE

En este apartado analizamos el material del TFM que han utilizado las personas implicadas de manera aproximada, teniendo en cuenta las horas de trabajo, el número de personas y la extensión del proyecto (Tabla 6.7):

MATERIAL	COSTE POR UNIDAD	UNIDADES	COSTE TOTAL
Folios	4 €	1	4 €
Tinta impresora	25 €	3	75 €
Bolígrafo azul	0,50 €	4	2 €
Bolígrafos colores	0,70 €	8	6 €
USB 16 Gb	5 €	2	10 €
Fotocopias	0,025 €	480	12 €
Encuadernación	3 €	3	9 €
TOTAL			118 €

Tabla 6.7 Coste de material consumible



6.3.4.COSTES DEL EQUIPO INFORMÁTICO

Para el equipo informático utilizado para la realización del TFM, vamos a considerar que tiene una amortización lineal de 3 años, estableciendo primero los costes totales de las unidades empeladas de cada equipo (Tablas 6.8 y 6.9):

CONCEPTO		COSTE POR UNIDAD	UNIDADES	COSTE TOTAL
Ordenador Portátil HP ProBook 450 G2		850 €	1	850 €
SOFTWARE	Windows 7 Profesional	60 €	1	60 €
	Microsoft Office 2016	340 €	1	340 €
	Adobe Acrobat Reader	90 €	1	90 €
Impresora HP color		110 €	1	110 €
TOTAL				1.450 €

Tabla 6.8 Coste del equipo informático

CONCEPTO	PERIODO DE AMORT. LINEAL	COSTE TOTAL	AMORT. AÑO	AMORT. DIA	AMORT. HORA
Ordenador Portátil HP ProBook 450 G2	3 años	850 €	283 €	0,78 €	0,10 €
Windows 7 Profesional	3 años	30 €	20 €	0,06 €	0,01 €
Microsoft Office 2016	3 años	340 €	113 €	0,31 €	0,04 €
Adobe Acrobat Reader	3 años	90 €	30 €	0,08 €	0,01 €
Impresora HP color	3 años	110 €	37 €	0,10 €	0,02 €

Tabla 6.9 Amortización del equipo informático

6.3.5. COSTES INDIRECTOS

En cuanto a los costes indirectos, debemos tener en cuenta elementos como a luz, el teléfono e internet, necesarios para el desarrollo del proyecto (Tabla 6.10). Debemos tener en cuenta que estos costes cuentan con un precio mensual, es decir, se pagan por días completos, aunque en este caso calcularemos lo que supone cada hora para posteriormente relacionarlo con las horas de trabajo, partiendo de meses de 30 días. En el caso de la luz es un coste medio aproximado, puesto que varía de unos meses a otros en función del consumo:

CONCEPTO	COSTE MENSUAL	COSTE POR HORA
Internet (Wifi) con teléfono fijo	36,99 €	0,0514 €
Luz	57,64	0,0801 €
TOTAL	94,63 €	0,1314 €

Tabla 6.10 Costes indirectos

6.3.6. COSTES DE CADA FASE

En este apartado desglosaremos los costes totales de cada fase, teniendo en cuenta las variables planteadas anteriormente:

- Coste de personal: en este caso tendremos en cuenta el coste por hora, que engloba tanto el salario que perciben los trabajadores como las aportaciones a la Seguridad Social.
- Coste de material consumible: en este caso haremos una media del coste total de este material, por lo que será un cálculo aproximado.
- Coste del equipo informático (amortización): tendremos en cuenta la amortización de los equipos partiendo de las horas de cada fase.
- Costes indirectos: se hará un coste aproximado partiendo del cálculo del coste por hora tanto de la luz como de internet.

**FASE 1: BUSQUEDA DE INFORMACIÓN**

Para el cálculo de los costes de la Fase 1 partiremos de las 190 h de trabajo que implica y de los costes por hora de cada una de las variables (Tabla 6.11):

CONCEPTO		HORAS	€/HORA	COSTES TOTALES	
COSTE PERSONAL	Jefe de Proyecto	45 h	27,12 €	1.220,40 €	3.727,25 €
	Técnico Financiero	28 h	22,90 €	641,20 €	
	Técnico de Proyecto	110 h	16,27 €	1.789,70 €	
	Auxiliar Administrativo	7 h	10,85 €	75,95 €	
COSTES MATERIAL CONSUMIBLE		190 h	0,15 €	28,50 €	
AMORTIZACION EQUIPO INFORMATICO	Ordenador Portátil HP ProBook 450 G2	190 h	0,10 €	19 €	34,20 €
	Windows 7 Profesional	190 h	0,01 €	1,90 €	
	Microsoft Office 2016	190 h	0,04 €	7,60 €	
	Adobe Acrobat Reader	190 h	0,01 €	1,90 €	
	Impresora HP color	190 h	0,02 €	3,80 €	
COSTES INDIRECTOS		190 h	0,13 €	24,70 €	
COSTE TOTAL FASE 1				3.814,65 €	

Tabla 6.11 Costes de la Fase 1: Búsqueda de información

FASE 2: ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el cálculo de los costes de la Fase 2 partiremos de las 240 h de trabajo que implica y de los costes por hora de cada una de las variables (Tabla 6.12):

CONCEPTO		HORAS	€/HORA	COSTES TOTALES	
COSTE PERSONAL	Jefe de Proyecto	35 h	27,12 €	949,20 €	4.507,65 €
	Técnico Financiero	50 h	22,90 €	1.145 €	
	Técnico de Proyecto	135 h	16,27 €	2.196,45 €	
	Auxiliar Administrativo	20 h	10,85 €	217 €	
COSTES MATERIAL CONSUMIBLE		240 h	0,15 €	36 €	
AMORTIZACION EQUIPO INFORMÁTICO	Ordenador Portátil HP ProBook 450 G2	240 h	0,10 €	24 €	43,20 €
	Windows 7 Profesional	240 h	0,01 €	2,40 €	
	Microsoft Office 2016	240 h	0,04 €	9,60 €	
	Adobe Acrobat Reader	240 h	0,01 €	2,40 €	
	Impresora HP color	240 h	0,02 €	4,80 €	
COSTES INDIRECTOS		240 h	0,13 €	31,20 €	
COSTE TOTAL				4.618,05 €	

Tabla 6.12 Costes de la Fase 2: Análisis de la información

**FASE 3: DESARROLLO DEL PROYECTO**

Para el cálculo de los costes de la Fase 3 partiremos de las 336 h de trabajo que implica y de los costes por hora de cada una de las variables (Tabla 6.13):

CONCEPTO		HORAS	€/HORA	COSTES TOTALES	
COSTE PERSONAL	Jefe de Proyecto	15 h	27,12 €	406,80 €	4.622,91 €
	Técnico Financiero	28 h	22,90 €	641,20 €	
	Técnico de Proyecto	33 h	16,27 €	536,91 €	
	Auxiliar Administrativo	280 h	10,85 €	3.038 €	
COSTES MATERIAL CONSUMIBLE		336 h	0,15 €	50,40 €	
AMORTIZACION EQUIPO INFORMÁTICO	Ordenador Portátil HP ProBook 450 G2	336 h	0,10 €	33,60 €	60,48 €
	Windows 7 Profesional	336 h	0,01 €	3,36 €	
	Microsoft Office 2016	336 h	0,04 €	13,44 €	
	Adobe Acrobat Reader	336 h	0,01 €	3,36 €	
	Impresora HP color	336 h	0,02 €	6,72 €	
COSTES INDIRECTOS		336 h	0,13 €	43,68 €	
COSTE TOTAL				4.777,47 €	

Tabla 6.13 Costes de la Fase 3: Desarrollo del Proyecto

FASE 4: PRESENTACION DEL PROYECTO

Para el cálculo de los costes de la Fase 4 partiremos de las 12 h de trabajo que implica y de los costes por hora de cada una de las variables (Tabla 6.14):

CONCEPTO		HORAS	€/HORA	COSTES TOTALES	
COSTE PERSONAL	Jefe de Proyecto	0 h	27,12 €	0 €	168,14 €
	Técnico Financiero	0 h	22,90 €	0 €	
	Técnico de Proyecto	7 h	16,27 €	113,89 €	
	Auxiliar Administrativo	5 h	10,85 €	54,25 €	
COSTES MATERIAL CONSUMIBLE		12 h	0,15 €	1,80 €	
AMORTIZACION EQUIPO INFORMÁTICO	Ordenador Portátil HP ProBook 450 G2	12 h	0,10 €	1,20 €	2,16 €
	Windows 7 Profesional	12 h	0,01 €	0,12 €	
	Microsoft Office 2016	12 h	0,04 €	0,48 €	
	Adobe Acrobat Reader	12 h	0,01 €	0,12 €	
	Impresora HP color	12 h	0,02 €	0,24 €	
COSTES INDIRECTOS		12 h	0,13 €	1,56 €	
COSTE TOTAL				173,66 €	

Tabla 6.14 Costes de la Fase 4: Presentación

Como podemos ver en el análisis del coste por fases, es el desarrollo del proyecto la parte que supone un coste mayor, rondando los 4.800€. Esto es debido a que se invierte un mayor número de horas de trabajo para desarrollar el TFM. La parte que menos coste supone es la presentación, con unos 180€, ya que se hace mucho más rápido una vez que se han completado bien las fases anteriores.



6.3.7.COSTES TOTALES

Por último, una vez analizados los costes derivados del proyecto de manera específica y analizados los diferentes costes de cada una de las fases, podemos obtener el coste total del proyecto (Tabla 6.15)

FASE	COSTE
FASE 1: Búsqueda de información	3.814,65 €
FASE 2: Análisis de Información	4.618,05 €
FASE 3: Desarrollo del Proyecto	4.777,47 €
FASE 4: Presentación	173,66 €
COSTE TOTAL	13.383,83 €

Tabla 6.15 Coste total del Proyecto

Por lo tanto, podemos concluir que teniendo en cuenta los costes de personal, el material consumible utilizado, los equipos informáticos y los costes indirectos, el coste total del TFM es de 13.383,83 €, suponiendo que se hubiesen empleado 778 h horas de trabajo repartidas en 5 personas.

Conclusiones

A lo largo de este proyecto, podemos extraer varias conclusiones que se exponen a continuación:

- La educación debe adaptarse a los cambios sociales, culturales y económicos, de tal forma que el aprendizaje práctico y activo sea un pilar fundamental en cualquier tipo de enseñanza. Los alumnos no deben ser menos espectadores de una clase teórica, sino que deben contar con las herramientas y conocimientos necesarios para enfrentarse a problemas reales. Por ello es fundamental ofrecer dentro de su programa de estudios la opción de aplicar la teoría estudiada de manera experiencial.
- Los alumnos deben aprender a enfrentarse a los problemas con los que van a encontrarse en las empresas reales y aportar soluciones a los mismos. Que las universidades y centros de enseñanza cuenten con una Learning Factory es una manera de satisfacer estas necesidades, aportando a los alumnos un valor añadido de cara a su carrera profesional.
- El conocimiento está empezando a ser algo secundario en una empresa, puesto que se valoran más las habilidades y formación práctica, el trabajo en equipo, la autonomía, la forma de enfrentarse a los problemas... Todo ello bajo una formación teórica previa, pero siempre llevada a la experiencia.
- Las Learning Factories se han convertido en un puente esencial entre los alumnos y la industria, puesto que, en numerosas ocasiones, las mismas empresas también forman a sus empleados en las fábricas de aprendizaje, por lo que están en contacto con los alumnos que pueden ser sus futuros empleados ya que se forman en torno a la filosofía de la empresa.
- Además de aplicarse en el ámbito de la formación y la educación, las Learning Factories también aportan conocimiento al campo de la investigación, puesto que son un recurso muy frecuente para realizar las tesis de los estudiantes, ya que cuentan con un aula totalmente equipada con las herramientas necesarias para seguir realizando investigaciones y mejorar los procesos productivos.
- Otra manera innovadora de contar con una Learning Factory es de manera digital. Hoy en día podemos realizar todo tipo de acciones a través de un ordenador, por lo que las fábricas de aprendizaje también se han adaptado a las nuevas tecnologías. Son una manera muy recurrente de ahorrar costes, conseguir unos horarios flexibles y que el número de alumnos no se encuentre limitado. En muchas ocasiones se combinan ambos recursos, tanto de manera física como virtual.



- La filosofía Lean está cada vez más implementada en las empresas, por lo que necesitan empleados formados en esta área, que sepan aplicar sus herramientas, aportar soluciones y optimizar procesos. Es por ello que muchas de las Learning Factories se enfocan en la aplicación de las herramientas del lean.
- Cada vez es más frecuente la implantación de escuelas Lean, sobre todo en universidades, normalmente apoyadas por las empresas del entorno que puedan beneficiarse de estos cursos. Es un concepto relativamente nuevo, por lo que está en plena expansión y cada vez son más las que hay a nivel mundial
- Alemania es el país más avanzado en cuanto a implantación de lean Learning Factories, puesto que cuenta con la mayor de ellas ya que su industria está muy avanzada y su educación gira en torno a ello.
- Por el contrario, en los territorios de África y América son muy escasa las escuelas de aprendizaje que podemos encontrar, bien porque no cuenten con los recursos suficientes y el desarrollo de la educación necesario o bien porque no presenten información pública de su uso.
- La relación entre universidades, empresas y estudiantes es cada vez mayor, lo que beneficia mucho a los alumnos, puesto que además de formarse de manera practica antes de acabar sus estudios, también tienen la opción de que las fábricas los conozcan y puedan contar con ellos una vez se titulen.
- Cada vez es mayor la información que se puede obtener de las lean Learning Factories del mundo, aunque todavía hay muchas que no cuentan con una página web propia, que no están actualizadas o que no presentan os datos suficientes para ser analizadas. Este problema se irá solucionando a medida que siga aumentando su uso y su importancia.

Una vez explicadas las conclusiones que se extraen de este Trabajo de Fin de Grado, podemos realizar una visión de las futuras líneas de trabajo enfocadas a este ámbito:

- Profundizar en los proyectos y productos que se desarrollan en las Lean Learning Factories, puesto que en numerosas ocasiones aún son proyectos piloto que no están totalmente implantados o diseñados y que requieren de cambios.
- Conocer las líneas de producción que se utilizan en estas Lean Learning Factories, qué tipos de herramientas Lean se usan más, cuales son más eficientes y más rentables... También sería importante saber por qué se

enfocan en unos productos u otros para desarrollar en las escuelas dependiendo del tipo de industria dominante en la zona.

- Investigar sobre las subvenciones, acciones o proyectos que ayuden a promover la implantación de las Learning Factories.
- Estudiar las Lean Learning Factories digitales que haya en el mundo, así como las que se encuentren en proceso de implantación y ya cuenten con una física.



Referencias

LIBROS

1. Abele, E., Metternich, J., y Meudt, T. (n.d.). Institute of Production Management, Technology and Machine Tools | Prof Proces Learning Factory CiP-Overview. TU Darmstadt
2. Abele E., Metternich J. y Tisch M. (2019). *Learning Factories. Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Cham: Springer.
3. Balve, P., y Albert, M. (2015). *Project-based learning in production engineering at the heilbronn learning factory*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia CIRP* 32, 104–108.
4. Bender, B., Kreimeier, D., Herzog, M., y Wienbruch, T. (2015). *Learning factory 2.0 - integrated view of product development and production*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia CIRP* 32, 98–103
5. Chryssolouris, G., Mavrikios, D., & Rentzos, L. (2016). *The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia CIRP*, 57, 44–48.
6. Elbestawi, M., Centea, D., Singh, I., & Wanyama, T. (2018). *SEPT Learning Factory for Industry 4.0 Education and Applied Research*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia Manufacturing*, 23, 249–254.
7. FESTO AG & Co. KG. (2015). *Scharnhausen technology plant*. FESTO. Alemania: FESTO
8. Franke J. (2019). *Presentation of the Institute FAPS*. EDrive Center. Núrenberg: FAPS
9. Gento, A. M., Pimentel, C., y Pascual, J. A. (2020). *Lean school: an example of industry-university collaboration*. *Production Planning and Control*. Valladolid: Taylor & Francis Group
10. Ghazali Maarof, M., Nawanir, G., & Fakhrol Yusuf, M. (2019). *Learning Factory Concept and Development at Faculty of Industrial Management, University Malaysia Pahang*. KnE Social Sciences.
11. Gjeldum, N., Mladineo, M., & Veza, I. (2016). *Transfer of Model of Innovative Smart Factory to Croatian Economy Using Lean Learning Factory*. ScienceDirect, ELSEVIER *Procedia CIRP*, 54, 158–163.
12. Gordon, M., Lamancusa, J. S., Zayas, J. L., Soyster, A. L., & Jorgensen, J. (2006). *The Learning Factory: Industry-Partnered Active Learning*. *Journal of Engineering Education*, 1–15.
13. Haghghi, A., Zadeh, N. S., Sivard, G., Lundholm, T., & Eriksson, Y. (2014). *Digital Learning Factories: Conceptualization, Review and Discussion*. *Proceedings of the Sixth Swedish Production Symposium*.

14. Hennig, M., Reisinger, G., Trautner, T., Hold, P., Gerhard, D., y Mazak, A. (2019). *TU Wien Pilot Factory Industry 4.0*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia Manufacturing*, 31, 200–205.
15. James P., W., & Daniel T., J. (2003). *Lean Thinking. Cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Reino Unido: Gestión 2000
16. Kemény, Z., Beregi, R. J., Erdos, G., & Nacsa, J. (2016). *The MTA SZTAKI Smart Factory: Platform for Research and Project-oriented Skill Development in Higher Education*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia CIRP*, 54, 53–58.
17. Kemény, Z., Beregi, R., Nacsa, J., Kardos, C., & Horváth, D. (2019). *Example of a problem-to-course life cycle in layout and process planning at the MTA SZTAKI learning factories*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia Manufacturing*, 31, 206–212.
18. Kemény, Z., Beregi, R., Nacsa, J., Kardos, C., & Horváth, D. (2018). *Human-robot collaboration in the MTA SZTAKI learning factory facility at Gyor*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia Manufacturing*, 23, 105–110.
19. Kemény, Z., Beregi, R., Tipary, B., Abai, K., & Nacsa, J. (2020). *Recent advances in learning content and infrastructure development for layout and process planning courses at the SZTAKI learning factories*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia Manufacturing*, 45, 319–324.
20. Kemény, Z., Nacsa, J., Erdos, G., Glawar, R., Sihn, W., Monostori, L., y Ilie-Zudor, E. (2016). *Complementary Research and Education Opportunities - A Comparison of Learning Factory Facilities and Methodologies at TU Wien and MTA SZTAKI*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia CIRP*, 54, 47–52.
21. Kohlweiss, A., Auberger, E., Ketenci, A., & Ramsauer, C. (2020). *Integration of a teardown approach at Graz University of Technology's LEAD Factory*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia Manufacturing*, 45, 240–245.
22. Lanza, G., Moser, E., Stoll, J., y Haefner, B. (2015). *Learning factory on global production*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia CIRP* 32, 120–125.
23. Lugaresi, G., Frigerio, N., & Matta, A. (2020). *A new learning factory experience exploiting LEGO for teaching manufacturing systems integration*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia Manufacturing*, 45, 271–276.
24. Madariaga, F. (2019). *Lean Manufacturing: exposición adaptada a la fabricación repetitiva de familias de productos mediante procesos discretos*. Creative Commons.
25. Martín Ramos, J. M. (2016). *Concepto y comparativa de las " Lean Learning Factories " del Mundo*. Universidad de Valladolid
26. Matías Hernández, J. C., & Vizán Idoipe, A. (2013). *Lean Manufacturing, conceptos, técnicas e implementación*. Madrid Fundación EOI.
27. Merkel, L., Atug, J., Merhar, L., Schultz, C., Braunreuther, S., & Reinhart, G. (2017). *Teaching Smart Production: An Insight into the Learning Factory for Cyber-Physical Production Systems (LVP)*. ScienceDirect, ELSEVIER, *Procedia Manufacturing* 9, 269–274.



28. Nitu, E. L., & Gavriluta, A. C. (2019). *Lean Learning Factory at the University of Pitesti*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 591(1).
29. Rajadel, M., & Sanchez, J. L. (2010). *Lean manufacturing. La evidencia de una necesidad*. Ediciones Díaz de Santos.
30. Rossi, M., Rossini, M. & Terzi, S. (2009). *Proceedings of the 6th European Lean Educator Conference*. Milan: Springer Lecture Notes in Networks and Systems (Vol. 122).
31. Rybski, C., y Jochem, R. (2016). *Benefits of a Learning Factory in the Context of Lean Management for the Pharmaceutical Industry*. ScienceDirect, ELSEVIE, Procedia CIRP, 54, 31–34.
32. Seitz, K. F., y Nyhuis, P. (2015). *Cyber-physical production systems combined with logistic models-a learning factory concept for an improved production planning and control*. ScienceDirect, ELSEVIER. Procedia CIRP, 32 92–97.
33. Simons, S., Abé, P., & Naser, S. (2017). *Learning in the AutFab – The Fully Automated Industrie 4.0 Learning Factory of the University of Applied Sciences Darmstadt*. ScienceDirect, ELSEVIER, Procedia Manufacturin 9, 81–88.
34. Song, Y. W., Herzog, M., Kreimeier, D., y Bender, B. (2016). *Prototype of a new learning factory - An educational approach to integrate production and product development*. International Design Conference, Croacia: DESIGN, DS 84, 2101–2110.
35. Steenkamp, L. P., Hagedorn-Hansen, D., & Louw, L. (2017). *Framework For The Development Of A Learning Factory For Industrial Engineering Education In South Africa*. South Africa, SAIIIE28 Proceedings 131–140.
36. Veza, I., Gjeldum, N., & Mladineo, M. (2015). *Lean learning factory at FESB - University of Split*. ScienceDirect, ELSEVIER, Procedia CIRP, 32, 132–137.
37. Vijayan, K. K., & Mork, O. J. (2020). *IdeaLab: A learning factory concept for Norwegian manufacturing SME*. SienceDirect, ELSEVIER, Procedia Manufacturing, 45, 411–416

PAGINAS WEB

38. About Learning Factory Proyect. (2018). Consultado en diciembre de 2020 <http://learningfactory.fsre.sum.ba/en/about-project.html>
39. ActioGlobal Team (2014) La Célula Logística. Consultado en noviembre de 2020 <https://actioglobal.com/es/y-todo-eso-solo-la-celula-logistica/>
40. Anasagasti, B. (2016). Pasos a seguir a la hora de diseñar y crear una formación e-learning | Bizpills. Consultado en noviembre de 2020 <https://bizpills.es/es/blog/pasos-a-seguir-a-la-hora-de-disenar-y-crear-una-formacion-e-learning/>
41. *Demofabrik Aachen*. Consultado en diciembre de 2020 <https://demofabrik-aachen.rwth-campus.com/>

42. *Die Lernfabrik*. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/die-lernfabrik>
43. e.GO Life | Next.e.GO Mobile SE. (2020). Consultado en diciembre de 2020
<https://e-go-mobile.com/de/modelle/e-go-life/>
44. Elektromaschinenbau – FAPS – Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik. Consultado en diciembre 2020
<https://www.faps.fau.de/forschung/forschungsbereiche/elektromaschinenbau/>
45. El método Kanban: ¿cómo funciona en logística? - Mecalux.es. (2020). Consultado en octubre de 2020
<https://www.mecalux.es/blog/metodo-kanban>
46. FESTO Didactic (2020). *CP Factory La fábrica Ciberfísica*. Consultado en diciembre de 2020
https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/fabrica-didactica_cim-fms-sistemas/cp-factory/cp-factory-la-fabrica-ciberfisica.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4LjEyOTMuNTM3Njg
47. FESTO Didactic (2020). *Fábrica de formación innovadora para Ingeniería Industrial avanzada (aIE)*. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.festo-didactic.com/int-en/news/innovative-training-factory-for-advanced-industrial-engineering-aie..htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4xNi4zMDg2>
48. FESTO Didactic (2020). *MPS® – The modular production system: From module to learning factory*. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.festo-didactic.com/ie-en/mps-the-modular-production-system/mps-the-modular-production-system-from-module-to-learning-factory.htm?fbid=aWUuZW4uNTU1LjE3LjE4LjU4NS43NjMx>
49. FIM UMP - Fábrica de aprendizaje. Consultado en diciembre de 2020
<https://fim.ump.edu.my/index.php/centres/learning-factory>
50. Funcionamiento Del Kanban: operaciones y como gestión de proyectos - Arrizabalagauriarte Consulting. (2019). Consultado en octubre de 2020
<https://arrizabalagauriarte.com/funcionamiento-del-kanban/>
51. Geschichte der Prozesslernfabrik CiP am PTW. TU Darmstadt. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.prozesslernfabrik.de/ueberblick/geschichte>
52. Gestión visual en lean manufacturing. Objetivos - Lean Manufacturing 10. Consultado en octubre de 2020
<https://leanmanufacturing10.com/gestion-visual>



53. *i-FAB - Universidad LIUC Cattaneo - Universidad LIUC Cattaneo*. Consultado en diciembre de 2020
<http://www.liuc.it/la-ricerca-in-liuc/ifab/>
54. IFA Lernfabrik. (2018) Consultado diciembre 2020
<https://www.ifa-lernfabrik.de/index.html>
55. IMS Centre Laboratories | Intelligent Manufacturing Systems (IMS) Centre. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.uwindsor.ca/intelligent-manufacturing-systems/299/ims-centre-laboratories>
56. IIM - LEAD Factory. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.tugraz.at/en/institutes/iim/facilities/lead-factory/>
57. IMW: Industry 4.0 Pilot Factory/ Demonstrators. (2020). Consultado en diciembre de 2020
https://www.imw.tuwien.ac.at/human_centered_cyber_physical_production_and_assembly_systems/industry_40_pilot_factory_demonstrators/EN/
58. IMW: Mensch-Roboter Interaktion in der Produktion. (2020). Consultado en diciembre de 2020
https://www.imw.tuwien.ac.at/cps/forschung/mensch_roboter_interaktion_in_derproduktion/
59. Kamart, S. (2014) Aprendizaje experiencial vs. Metodologías tradicionales de aprendizaje - KNOLSKAPE. Consultado en octubre de 2020
<https://www.knolskape.com/experiential-learning-vs-traditional-learning-methodologies/>
60. *Lean Factory Group*. (2018). Consultado en diciembre de 2020
<https://www.lean-factory.com/>
61. LEAN Hochschulgruppe e.V. am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (2019). Consultado en diciembre de 2020
<https://www.lean.kit.edu/407.php>
62. Lean Manufacturing. Los 8 grandes despilfarros (mudas) de tu empresa. | Lean Manufacturing Hoy. (2017). Consultado en octubre de 2020
<https://www.leanmanufacturinghoy.com/lean-manufacturing-los-8-grandes-despilfarros-mudas-de-tu-empresa/>
63. Learn and experience VPS in the BMW Learning Factory. Consultado en diciembre de 2020
<http://docplayer.net/31133564-Learn-and-experience-vps-in-the-bmw-learning-factory.html>

64. Lernfabrik für Schlanke Produktion - iwb - Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.mw.tum.de/iwb/lernfabrik-schlanke-produktion/lernfabrik-fuer-schlanke-produktion/>
65. Lernfabrik für vernetzte Produktion (2020). Consultado en diciembre de 2020
<https://www.lvp-bayern.de/>
66. Lernfabrik für vernetzte Produktion: Dynamische Wertstromanalyse in Echtzeit - Fraunhofer IGCV. (2020). Consultado en diciembre de 2020
https://www.igcv.fraunhofer.de/de/presse_downloads/pressemitteilungen/dynamische_wertstromanalyse_lernfabrik_vernetzte_produktion.html
67. LIF : Lehrveranstaltungen. (2014). Consultado en diciembre de 2020
<https://institute.tuwien.ac.at/lif/lehrveranstaltungen/>
68. LMS - Laboratorio de sistemas de fabricación y automatización. Consultado en diciembre de 2020
<http://lms.mech.upatras.gr/>
69. Los 5 principios del modelo Lean. Consultado en octubre de 2020
<http://kailean.es/los-5-principios-del-modelo-lean-la-clave-del-exito/>
70. LPS Lernfabrik. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.lps.ruhr-uni-bochum.de/lernfabrik/>
71. Model Factory@SIMTech. (2020). Consultado en diciembre de 2020
<https://www.a-star.edu.sg/simtech/model-factory@simtech>
72. Model Factory@SIMTech Virtual Tour. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.theasys.io/viewer/CqzGaYA9FIO2DAE9D5kkkNYnhHLKw0/>
73. Om Lean lab – leanlab.no. Consultado en diciembre de 2020
<http://leanlab.no/om-lean-lab/>
74. Producción de productos electrónicos - FAPS - Instituto de automatización de fábricas y sistemas de producción. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.faps.fau.eu/research/research-sectors/electronics-production/>
75. Salazar, B. (2019) Andon: Control visual | Ingeniería Industrial Online. Consultado en noviembre de 2020
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/andon-control-visual/>
76. Salazar, B (2019) Mapa de Flujo de Valor (VSM) | Ingeniería Industrial Online. Consultado en noviembre de 2020
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/mapa-de-flujo-de-valor-vsm/>



77. Sistema Kanban y control de inventario Pull. - Manufactus (2020). Consultado en noviembre de 2020
<https://www.kanban-system.com/es/sistema-kanban-y-control-de-inventario-pull/>
78. *SmartFactory-KL*. (2020). Consultado en diciembre de 2020
<https://smartfactory.de/en/>
79. Smart Mini Factory Lab / Free University of Bozen-Bolzano. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.unibz.it/en/faculties/sciencetechnology/research/industrial-engineering-and-automation/mini-factory-lab/?acceptCookies=5fe2351a778af>
80. TPM: Mantenimiento Productivo Total - Lean Manufacturing 10. Consultado en octubre de 2020
<https://leanmanufacturing10.com/tpm-mantenimiento-productivo-total>
81. *Trainingscenter - Leonardo Group GmbH*. (2020). Consultado en diciembre de 2020
<https://www.leonardo-group.com/ueber-uns/ainingscenter/>
82. *Werk150*. Consultado en diciembre de 2020
<https://www.werk150.de/>