



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Organización Industrial

DISEÑO DE UN KIT PARA LA ESCUELA LEAN

Autor:

Hernández Martín, José Ignacio

Tutores:

Gento Municio, Ángel Manuel

Pino Espinosa, Yésica

Departamento

Organización de Empresas y

Comercialización e

Investigación de Mercados

Valladolid, Julio 2024.

*A todas las personas que con sus aportaciones,
han hecho posible este trabajo.*

A todo el que me ha acompañado en esta etapa.

A mi familia, sobran las palabras.

**RESUMEN Y
PALABRAS CLAVE**

El presente trabajo consiste en el diseño y posterior materialización de un Kit para la Escuela Lean de la Universidad de Valladolid. El trabajo se orienta desde el Lean Manufacturing, empleando distintas herramientas de esta filosofía. En conjunto, se desarrollan de manera transversal, las áreas de diseño mecánico y fabricación mediante la técnica de impresión 3D.

Se analiza el proceso del que formará parte el Kit para entender las necesidades que existen y una vez definido un diseño óptimo de Kit, se procede a la implementación del modelo mediante el software Catia V5, que nos permite iterar en el proceso de modificación de las piezas para lograr solventar los problemas derivados en las limitaciones que se encuentran en la fabricación. Se buscan diferentes técnicas para la materialización del diseño creando prototipos, junto a un diseño final y funcional hecho mediante impresión 3D.

Palabras clave: Kit, Lean Manufacturing, diseño mecánico, impresión 3D, Catia V5.

The present work involves the design and subsequent materialisation of a Kit for the Escuela Lean of the University of Valladolid. The project is guided by Lean Manufacturing principles, employing various tools from this philosophy. In tandem, the fields of mechanical design and manufacturing are developed transversally using 3D printing technology.

The process in which the Kit will be used is analysed to understand existing needs. Once an optimal Kit design is defined, the model is implemented using Catia V5 software, which allows us to iterate through the modification process of the parts to resolve issues stemming from manufacturing limitations. Various techniques are explored to materialise the design, creating prototypes alongside a final, functional design made through 3D printing.

Key words: Kit, Lean Manufacturing, Mechanical design, 3D printing, Catia V5.

ÍNDICES

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1 MOTIVACIÓN	3
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 ALCANCE	4
1.4 ESTRUCTURA	5
CAPÍTULO 2. LEAN MANUFACTURING	7
2.1 DELIMITANTES DE LA PRODUCTIVIDAD. LAS TRES M	9
2.2 PRINCIPIOS LEAN	11
2.3 HERRAMIENTAS LEAN	12
2.3.1 LAS 5 ´S	13
2.3.2 SMED	15
2.3.3 TRABAJO ESTANDARIZADO	16
2.3.4 POKA YOKE	17
2.3.5 KAIZEN	18
2.4 INDICADORES LEAN	19
2.5 KITS	19
2.5.1 OPTIMIZAR LOS FLUJOS Y DESPLIEGUE DE LOS KITTING	20
2.5.2 FULL-KITTING EFICAZ	21
CAPÍTULO 3. ESCUELA LEAN. FLUJOS, KITS Y ESTANDARIZACIÓN	25
3.1 INTRODUCCIÓN A LA ESCUELA LEAN	27
3.1.1 PRODUCTOS FABRICADOS	27
3.2 FLUJOS	33
3.2.1 TERCERA PRODUCCIÓN	34
3.3 PROCESO DE EVOLUCIÓN DE UN KIT EN LA ESCUELA LEAN	36
3.4 ESTANDARIZACIÓN DE TRABAJOS CON KITS	41
CAPÍTULO 4. PROCESO DE DISEÑO	53
4.1 ESTADO DE LA TÉCNICA	55
4.2 DISEÑO INICIAL	56
4.2.1 DISEÑO 3D	56
4.2.2 IMPRESIÓN 3D	59
4.2.3 CORTE LÁSER	62
CAPÍTULO 5. PROCESO DE FABRICACIÓN	67
5.1 MODIFICACIÓN DEL DISEÑO Y AJUSTES	69

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

5.1.1 MODIFICACIÓN DEL DISEÑO 3D	69
5.1.2 PRIMERA IMPRESIÓN 3D	73
5.1.3 SEGUNDA IMPRESIÓN 3D	77
5.1.4 CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA - CNC	80
5.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y VALIDACIÓN	82
5.2.1 PRIMER MODELO, CORTE LÁSER EN MADERA	82
5.2.2 SEGUNDO MODELO, IMPRESIÓN 3D EN FABLAB	82
5.2.3 TERCER MODELO, IMPRESIÓN 3D EN EII	83
5.2.4 CUARTO MODELO, CNC EN FABLAB	83
5.2.5 MEJOR ALTERNATIVA POSIBLE	84
CAPÍTULO 6. ESTUDIO ECONÓMICO	85
6.1 INTRODUCCIÓN	87
6.1.1 JERARQUÍA DE UN PROYECTO DE DISEÑO DE UN KIT	87
6.2 FASES DE DESARROLLO	89
6.3 ESTUDIO ECONÓMICO	91
6.3.1 HORAS EFECTIVAS ANUALES Y TASAS HORARIAS DE PERSONAL	92
6.3.2 CÁLCULO DE LAS AMORTIZACIONES DEL EQUIPO EMPLEADO	93
6.3.3 COSTE DEL MATERIAL CONSUMIBLE	94
6.3.4 COSTES INDIRECTOS	95
6.3.5 HORAS DE PERSONAL EN CADA FASE DEL PROYECTO	95
6.3.6 COSTE DEL MATERIAL DE IMPRESIÓN	95
6.4 COSTES EN CADA FASE DEL PROYECTO	96
6.4.1 FASE 1. NECESIDAD DE CREACIÓN	96
6.4.2 FASE 2. PRESENTACIÓN Y DIFUSIÓN	96
6.4.3 FASE 3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	97
6.4.4 FASE 4. ANÁLISIS, BÚSQUEDA Y SELECCIÓN	97
6.4.5 FASE 5. DISEÑO Y FABRICACIÓN	98
6.5 CÁLCULO DEL COSTE TOTAL	98
6.6 CÁLCULO DEL COSTE UNITARIO DE LOS KITS	99
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES	101
7.1 CONCLUSIONES	103
7.2 FUTUROS DESARROLLOS	104
BIBLIOGRAFÍA	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Los 7 tipos de despilfarros. (Elaboración propia)	10
Ilustración 2. Casa Toyota (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2013)	13
Ilustración 3. 5´s. (Elaboración propia)	14
Ilustración 4. Ciclo Poka Yoke. (Elaboración propia)	17
Ilustración 5. Desplazamientos Kit. (Elaboración propia)	20
Ilustración 6. Compactibilidad de línea. (Elaboración propia)	21
Ilustración 7. Pick-up y Monovolumen. (López Díez, 2022)	28
Ilustración 8. Plano de detalle de monovolumen. (López Díez, 2022)	28
Ilustración 9. Puntos de control del coche. (López Díez, 2022)	28
Ilustración 10. Vista de un Solectrón. (Elaboración propia)	29
Ilustración 11. Logos Epsilon y Recyclean. (Elaboración propia)	29
Ilustración 12. Base de un Solectrón. (Elaboración propia)	30
Ilustración 13. Grupos de Sectores de un Solectrón. (Elaboración propia)	30
Ilustración 14. Sectores con orificios para Insertos. (Elaboración propia)	31
Ilustración 15. Insertos de un Solectrón. (Elaboración propia)	31
Ilustración 16. Tornillos de un Solectrón. (Elaboración propia)	32
Ilustración 17. Base del en otra disposición. (Elaboración propia)	32
Ilustración 18. Solectrón con dos capas de Sectores. (Elaboración propia)	33
Ilustración 19. Despiece de un Solectrón. (López Díez, 2022)	33
Ilustración 20. Único producto. (Elaboración propia)	34
Ilustración 21. Cuatro productos. (Elaboración propia)	34
Ilustración 22. Dieciséis productos. (Elaboración propia)	35
Ilustración 23. Doscientos cincuenta y seis productos (Elaboración propia)	35
Ilustración 24. Layout tercera producción. (Elaboración propia)	36
Ilustración 25. Gavetas de 6 uds. (Elaboración propia)	37
Ilustración 26. Primera idea Kit. (Elaboración propia)	37
Ilustración 27. Modificación primera idea Kit (Elaboración propia)	38
Ilustración 28. Segunda idea Kit. (Elaboración propia)	39
Ilustración 29. Modificación segunda idea Kit (Elaboración propia)	40
Ilustración 30. Conclusión idea Kit (Elaboración propia)	40
Ilustración 31. Kit desarrollado en Escuela Lean (Elaboración propia)	41
Ilustración 32. Operario de Kitting. (Elaboración propia)	42
Ilustración 33. Primer operario montaje. (Elaboración propia)	42
Ilustración 34. Paso del puesto 1 al 2. (Elaboración propia)	43
Ilustración 35. Segundo operario montaje. (Elaboración propia)	43
Ilustración 36. Segundo operario montaje. (Elaboración propia)	44
Ilustración 37. Paso del puesto 2 al 3. (Elaboración propia)	44
Ilustración 38. Tercer operario montaje. (Elaboración propia)	45
Ilustración 39. Paso del puesto 3 al 4. (Elaboración propia)	45
Ilustración 40. Cuarto operario montaje. (Elaboración propia)	46
Ilustración 41. Paso del puesto 4 al 5. (Elaboración propia)	46

Ilustración 42. Bandeja Solectrones terminados (Elaboración propia)	47
Ilustración 43. Llegada a reciclado. (Elaboración propia)	47
Ilustración 44. Primer operario reciclaje (Elaboración propia)	48
Ilustración 45. Segundo operario reciclaje (Elaboración propia)	48
Ilustración 46. Tercer operario reciclaje (Elaboración propia)	49
Ilustración 47. Tercer operario reciclaje (Elaboración propia)	49
Ilustración 48. Paso al último puesto. (Elaboración propia)	50
Ilustración 49. Cuarto operario reciclaje (Elaboración propia)	50
Ilustración 50. Cuarto operario reciclaje (Elaboración propia)	51
Ilustración 51. Cuarto operario reciclaje (Elaboración propia)	51
Ilustración 52. Kit primario. (Elaboración propia)	55
Ilustración 53. Primer diseño Catia (Elaboración propia)	57
Ilustración 54. Primer diseño Catia (Elaboración propia)	58
Ilustración 55. Primer diseño Catia (Elaboración propia)	59
Ilustración 56. Software UltiMaker (Elaboración propia)	60
Ilustración 57. Ajustes de impresión (Elaboración propia)	60
Ilustración 58. Condiciones de impresión (Elaboración propia)	61
Ilustración 59. Primera capa impresión (Elaboración propia)	61
Ilustración 60. Piezas impresión 3d (Elaboración propia)	62
Ilustración 61. Piezas primera impresión (Elaboración propia)	62
Ilustración 62. Archivos CAD corte láser (Elaboración propia)	63
Ilustración 63. Inicio del corte láser (Elaboración propia)	64
Ilustración 64. Corte añadiendo oxígeno (Elaboración propia)	64
Ilustración 65. Corte láser (Elaboración propia)	65
Ilustración 66. Bases con corte láser (Elaboración propia)	65
Ilustración 67. Primer Kit fabricado (Elaboración propia)	66
Ilustración 68. Flujo proceso de diseño (Elaboración propia)	69
Ilustración 69. Bases con corte de superficie lisa (Elaboración propia)	70
Ilustración 70. Detalle de corte de superficie lisa (Elaboración propia)	70
Ilustración 71. Bases con corte «cola de milano» (Elaboración propia)	71
Ilustración 72. Detalle de corte base Zona 1 (Elaboración propia)	71
Ilustración 73. Detalle de corte base Zona 2 (Elaboración propia)	72
Ilustración 74. Base con corte con forma de prisma (Elaboración propia)	73
Ilustración 75. Detalle de corte con forma de prisma (Elaboración propia)	73
Ilustración 76. Bambu Studio (Elaboración propia)	74
Ilustración 77. Bambu Studio (Elaboración propia)	74
Ilustración 78. Bambu Studio (Elaboración propia)	75
Ilustración 79. Impresión en Fablab (Elaboración propia)	75
Ilustración 80. Modelo 3D Fablab (Elaboración propia)	76
Ilustración 81. Modelo 3D Fablab (Elaboración propia)	76
Ilustración 82. Modelo 3D Fablab (Elaboración propia)	77
Ilustración 83. Diseño en Catia V5 (Elaboración propia)	78
Ilustración 84. Intento fallido impresión 3D (Elaboración propia)	79
Ilustración 85. Intento fallido impresión 3D (Elaboración propia)	79

Ilustración 86. Intento fallido impresión 3D (Elaboración propia)	79
Ilustración 87. Kit impresión 3D (Elaboración propia)	80
Ilustración 88. Fresado incompleto Fablab (Elaboración propia)	81
Ilustración 89. Jerarquía del proyecto. (Elaboración propia)	88
Ilustración 90. Diagrama de relaciones. (Elaboración propia)	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Días efectivos anuales.	92
Tabla 2. Semanas efectivas anuales.	92
Tabla 3. Costes de las personas contratadas.	93
Tabla 4. Costes equipo informático.	94
Tabla 5. Costes del equipo de impresión 3D.	94
Tabla 6. Costes de material consumible.	94
Tabla 7. Costes indirectos.	95
Tabla 8. Horas dedicadas al proyecto.	95
Tabla 9. Coste del material de impresión	95
Tabla 10. Costes Fase 1.	96
Tabla 11. Costes Fase 2.	97
Tabla 12. Costes Fase 3.	97
Tabla 13. Costes Fase 4.	98
Tabla 14. Costes Fase 5.	98
Tabla 15. Coste total del proyecto.	99
Tabla 16. Costes unitarios.	99

CAPÍTULO 1.
INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 MOTIVACIÓN

Una vez dispuesto a encarar el último curso del grado de Ingeniería en Organización Industrial, me surgió el interrogante de como enfocar el Trabajo de Fin de Grado. Tras sopesar distintas temáticas, vi que, en realidad, lo que verdaderamente me apasionaba era todo aquello relacionado con la optimización de procesos.

Después de estudiar distintas opciones y temas a desarrollar, el que se convirtió en el tutor de este trabajo, Ángel Manuel Gento Municio, me planteó una problemática que tenían en la Escuela Lean de la Universidad de Valladolid.

Visto que el trabajo para dar solución a este problema pasaba por la aplicación de herramientas del Lean Manufacturing y con ello, la optimización de procesos, decidí investigar un poco más al respecto. El resultado de este trabajo se enfocaba también desde la parte del diseño 3D, ya que, para conseguir realizar un Kit, que es el fin buscado, sería necesario un modelo tridimensional, que posteriormente se podría materializar con técnicas como la impresión 3D.

Por tanto, nos encontramos ante un trabajo transversal, en el cual, a parte de la filosofía Lean, cobra especial relevancia el uso de Software para diseño 3D y la utilización de la tecnología de impresión 3D. La creación de modelos con este tipo de Software siempre me ha llamado la atención y vi una oportunidad de poder realizar un trabajo apasionante uniendo estas ramas de la ingeniería.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo final de este trabajo es la obtención de un modelo de Kit válido para la Escuela Lean.

Para alcanzar este objetivo final, nos planteamos los siguientes retos:

- Exponer de manera sencilla, clara y accesible la necesidad del uso de los Kits cuando el proceso productivo, por sus circunstancias, lo requiera.

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

- Lograr desarrollar un prototipo adecuado para el Kit necesario en la formación impartida en la Escuela Lean.
- Crear un modelo 3D del diseño desarrollado y dotar a este de distintas adaptaciones y versiones según se requiera.
- Estudiar y entender el método de fabricación óptimo para el modelo desarrollado y buscar diversas alternativas a este.
- Materializar de forma eficaz el Kit desarrollado y así poder validar y probar de manera tangible su funcionamiento.
- Proponer mejoras y tecnologías alternativas para la materialización del Kit.

A lo largo de este trabajo se irá mostrando la consecución de todos estos objetivos.

1.3 ALCANCE

En este trabajo se pretende desarrollar el diseño de un Kit para la Escuela Lean y su posterior materialización con distintas tecnologías a las que se ha tenido acceso. Se tiene la limitación de que se está realizando un Trabajo Fin de Grado y por ello es por lo que el tiempo, recursos materiales y económicos son reducidos. Dada esta limitación se precisa de manera clara el alcance que va a tener el trabajo, es decir, el nivel de trabajo necesario para lograr la consecución de los objetivos y de esta manera conseguir que el trabajo se complete satisfactoriamente.

Tras hacer una reflexión de las metas a las que se pretende llegar con este trabajo se concluye que fijando la magnitud del alcance se lograría reducir los riesgos que puedan venir derivados de todo el proceso que se pretende seguir.

Una vez definidos y claros los objetivos de este trabajo se planifica la gestión de los recursos disponibles que serán necesarios para la consecución de estos, es por ello por lo que se ajusta el alcance en cuanto a la materialización del Kit a los medios y facilidades que nos brinda la Escuela de Ingenieros Industriales de Valladolid y la Fundación General de la Universidad de Valladolid.

Por tanto, el alcance es desarrollar el prototipo validado en 3D y preparar todos los archivos necesarios para su impresión y su uso en la Escuela Lean.

Como entregables de este trabajo se fijan, esta misma memoria, los distintos modelos en 3D del Kit desarrollado con el Software Catia V5 y por último los prototipos de las diferentes pruebas llevadas a cabo en la fabricación del Kit, así como un modelo final y funcional del Kit, desarrollado dentro de las limitaciones y con las tecnologías de las que disponemos.

1.4 ESTRUCTURA

El presente trabajo se divide en 7 capítulos y un apartado de bibliografía. Estos capítulos guardan el orden seguido en la realización del trabajo y se interrelacionan entre ellos, es por ello por lo que no puede entenderse un capítulo sin la comprensión de los anteriores. En cada capítulo se desarrollan distintos temas y la consecución de los objetivos marcados para este trabajo. El apartado de bibliografía es un apoyo a toda la documentación recogida en esta memoria y puede consultarse para entrar con mayor profundidad en alguno de los apartados.

Desglosando los diferentes capítulos y recogiendo el desarrollo de cada uno de ellos:

- **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.** En este capítulo, en el que nos encontramos, se desarrolla brevemente la motivación que ha llevado a realizar este trabajo, los objetivos que se fijan para el mismo, el alcance que se define para lograr de manera satisfactoria completarlo y la estructura que se le da al trabajo.
- **CAPÍTULO 2. LEAN MANUFACTURING.** En este segundo capítulo se explica la teoría necesaria para entender los procesos que se van a llevar a cabo y poder justificarlos. También se explican los principios de la filosofía Lean y las herramientas relevantes en el desarrollo que vamos a hacer. Se verá de igual modo el marco teórico referente a los Kits.
- **CAPÍTULO 3. ESCUELA LEAN, FLUJOS Y ESTANDARIZACIÓN.** Se hace una pequeña introducción a la Escuela Lean junto a los productos fabricados en la misma, los flujos que tienen lugar y como se consigue evolucionar un Kit en la metodología didáctica de la formación de la

Escuela, así como la estandarización del trabajo con los Kits. Con esto se justifica la necesidad del diseño del Kit.

- **CAPÍTULO 4. PROCESO DE DISEÑO.** Se expone el estado de la técnica del diseño del Kit a fabricar y se recoge toda la documentación referente al diseño inicial que se crea junto a su materialización con impresión 3D y la tecnología de corte láser.
- **CAPÍTULO 5. PROCESO DE FABRICACIÓN.** En este capítulo se introducen modificaciones del diseño inicial y se narra el proceso de impresión 3D del nuevo modelo con diferentes impresoras y la realización con la tecnología de control numérico por computadora. Se hace un análisis de las alternativas y una validación de estas y se define la mejor alternativa posible de diseño y fabricación para el Kit.
- **CAPÍTULO 6. ESTUDIO ECONÓMICO.** Se introduce la jerarquía de un proyecto de diseño de un Kit, así como sus fases de desarrollo para posteriormente hacer un estudio económico de las mismas y llegar a un coste total del proyecto en función de numerosos factores que se tienen en cuenta como las horas efectivas anuales y tasas horarias del personal, las amortizaciones del equipo empleado, el coste del material, etc.
- **CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES.** Se concluye el trabajo analizando las conclusiones obtenidas en el desarrollo y tras la finalización de este, y se introducen los futuros desarrollos que puede tener este trabajo realizado.
- **BIBLIOGRAFÍA.** Apartado donde se recoge toda la documentación empleada para el desarrollo de este trabajo.

CAPÍTULO 2.
LEAN MANUFACTURING

En este capítulo trataremos de abordar de forma teórica los principales conceptos necesarios para poner en contexto la justificación de este trabajo.

El Lean Manufacturing o manufactura esbelta, traducido al español, se puede definir como un modelo de gestión que tiene como principal objetivo maximizar el valor final que obtiene el cliente como usuario (Carreras, 2010), y esto encuadrado en un contexto de utilización mínima y necesaria de los recursos requeridos y siempre desde un enfoque de eliminación de desperfectos o desperdicios, siendo estos aquellos que no agregan valor al producto. Su misión es generar una cultura en la empresa entorno a esta filosofía (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2013).

El concepto Lean Manufacturing nace gracias a Toyota, concretamente gracias a un ejecutivo japonés de esta marca automovilística, *Taiichi Ohno* (1912-1990), el cual tuvo un gran enfoque en la eliminación de desperdicios. Otro de los personajes que podemos citar, en esta pequeña introducción al sistema Lean, es el que fue nombrado presidente de Toyota en 1967, Eiji Toyoda (Sala de Prensa Toyota, 2013), junto a Taiichi son considerados creadores del «Just in Time» (Socconini, 2019), que es lo que en Occidente se conoce bajo el nombre de Lean Manufacturing (Womack, Jones, & Roos, 2017) o Sistema de Producción Toyota, por sus siglas en inglés TPS. Estos enfocaron los recursos disponibles, como por ejemplo el talento humano (durante esos años en Japón la formación de la ciudadanía era bastante notable), en crear una mejora del flujo y la velocidad de sus procesos.

A diferencia de los sistemas que existían hasta el momento, se planteó una gestión orientada a procesos, por tanto, estamos hablando de que basándonos en esta filosofía que implantó Toyota, se creó una serie de principios entorno a los que se trabajaría, y aplicándolos a todos los procesos productivos (Womack, Jones, & Roos, 2017). El término esbelto o ágil nos quiere presentar que trabajando bajo este modelo debemos ser capaces de adaptarnos a las circunstancias cambiantes en el propio sector en el que se esté trabajando o incluso en los cambios debidos a la globalización en nuestro planeta. Así esta corporación logró consolidarse como una de las principales en el sector mundial del automóvil y cuyo sistema ha sido extrapolado con mucho éxito a toda clase de industria y sector, dando nombre a conceptos como el Lean Office, Lean Design o Lean Logistics entre otros.

2.1 DELIMITANTES DE LA PRODUCTIVIDAD. LAS TRES M

Los japoneses se dieron cuenta de que para aumentar la productividad de sus procesos debían de atacar la raíz del problema y gracias a esto identificaron los

siguientes delimitadores de la productividad, conocidos como las tres M por sus nombres en japones:

- **MUDA.** Esta es una palabra japonesa que significa «*despilfarro*». Lo que se pretende es acabar con los desperdicios, que pueden ser de diversos tipos, como los que encontramos en los 7 MUDAS (Ilustración 1): la sobreproducción, en el sobreinventario, en el transporte de materiales y herramientas, en los defectos durante el proceso productivo, en las esperas y colas o en los movimientos no óptimos del trabajador (Socconini, 2019).

Todos estos desperdicios son actividades que no están agregando valor al producto ni al proceso y por tanto han de ser eliminadas para así poder optimizar el uso de recursos que se están desaprovechando debido al «*muda*».

Lo que quiere el pensamiento Lean es trasladar este «*muda*» a una creación de valor por medio de un *feedback* (Jones & Womack, 2003).



Ilustración 1. Los 7 tipos de desperdicios. (Elaboración propia)

- **MURI.** Esta es una palabra japonesa que significa «*sobrecarga*». Esto nos limita la productividad ya que cuando un operario u otro tipo de recurso como las máquinas se sobrecargan empiezan a disminuir su capacidad al verse sobrepasadas. La sobrecarga genera una disminución de productividad por el cansancio de los operarios también. Toda asignación de actividad debe ser planteada de tal modo que sea cómoda para el recurso al que se le asigna, pero esta comodidad no debe de contener ni sobrecarga ni producir tiempos en

los que el recurso este ocioso, por tanto, se necesita hacer un estudio para encontrar el equilibrio.

- MURA. Esta es una palabra japonesa que significa «*variabilidad*». Todo lo que sea variable en un proceso está fuera de nuestro control y eso quiere decir que lo dejamos en función del azar. Como es comprensible esto no ayuda para nada a hacer un buen control de la producción y de la productividad del proceso. La variabilidad se introduce en el sistema cuando por ejemplo los materiales se reciben de forma desigual generando que haya que adaptar la producción y muy posiblemente esto genere una variación en los tiempos de fabricación de los productos finales afectando a todo el proceso productivo.

2.2 PRINCIPIOS LEAN

Tras la identificación de los delimitadores de productividad, para buscar la optimización de procesos que busca el Lean Manufacturing eliminando toda clase de desperdicios, sobrecargas y variabilidad, podemos articular la filosofía Lean en unos principios (Paniagua Gómez-Álvarez, 2024) que se enumeraran y explicaran a continuación:

- Identificación de valor. Se puede identificar el valor en la necesidad que la empresa quiere suplir al cliente. Tener actividades que no ayuden a introducir valor para solventar la necesidad no aportan nada al proceso y tienen que ser eliminadas. Esto será lo primero que deberemos de realizar y de manera exhaustiva para asegurarnos que los siguientes principios están basados en la realidad de nuestro sistema.
- Asignación del flujo de valor. Es un proceso sistemático de análisis, mejora y optimización del flujo de trabajo y el análisis va desde el pedido del cliente hasta la entrega final con el objetivo de eliminar desperdicios y agregar más valor al cliente.
- Creación de un flujo de trabajo continuo. Con este principio se pretende diseñar y optimizar un proceso de producción y así conseguir que los productos avancen sin sufrir grandes variaciones y de manera constante a través de toda la fabricación, consiguiendo así minimizar los tiempos de espera y buscando la eficiencia y la calidad del producto

final. Así conseguimos eliminar cuellos de botella e interrupciones al poder detectarlas con el principio anterior y eliminarlas.

- Creación de un sistema de trabajo específico. Una vez que los principios anteriores están claros habría que estandarizar la manera en la que se trabaja para así conseguir un flujo de trabajo estable. De manera general podríamos decir que se basa en la implantación de procesos y prácticas que se deben de seguir si se conoce una necesidad o demanda de los productos para que esta se supla correctamente.
- Mejora continua o kaizen por su nombre en japones. Este es el último de los principios y el que de manera especial creará aún más productividad en el tiempo. Hay que buscar un enfoque incremental de mejora involucrando a los empleados para que a través de unos métodos y herramientas seamos capaces de medir y evaluar índices y así poder ir mejorando el sistema conforme a la filosofía Lean de manera iterativa.

2.3 HERRAMIENTAS LEAN

Una vez conocidos estos principios nos encontramos con que es necesario disponer de una serie de herramientas para conseguir su puesta a punto, las herramientas con la que se trabaja en Lean están muy estandarizadas y es necesario que todos los trabajadores, al igual que pasa con los puntos definidos en el epígrafe anterior, estén muy concienciados de ello para así, con su colaboración, poder conseguir un punto de implantación muy bueno.

Las herramientas Lean se suelen representar en una «Casa del Sistema de Producción Toyota» como se representa en la Ilustración 2, en la que se pueden ver las diferentes partes, cimientos, pilares y techo. Encontramos en esta las diferentes herramientas en las que se basa la filosofía Lean.

En los siguientes subapartados se explican las principales herramientas Lean, que podemos encontrar en «Casa del Sistema de Producción Toyota», relevantes y de interés para el desarrollo de este trabajo.

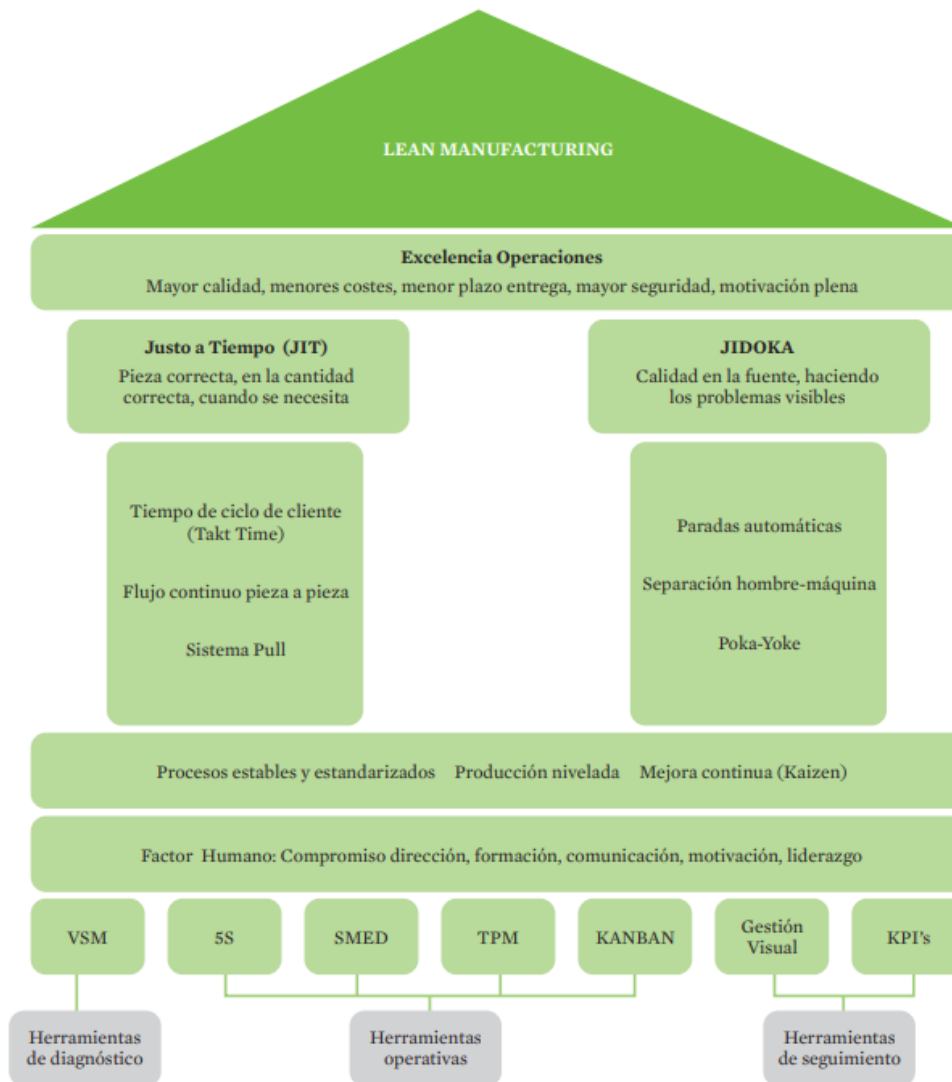


Ilustración 2. Casa Toyota (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2013)

2.3.1 LAS 5 ´S

Es una herramienta orientada a la calidad total y que está enmarcada dentro de la mejora continua o kaizen. La razón de su nombre son 5 palabras en japonés que empiezan por la letra «s» y son un ciclo ordenado como el que aparece representado en la Ilustración 3 que debe de repetirse cada vez que se necesite. Consiste en ir manteniendo un orden y una limpieza a lo largo de la realización de las actividades (Sacristán, 2005). Las 5 ´s son las que a continuación se nombran:

- Seiri o Separar. Consiste en clasificar, organizar y seleccionar todo lo que es útil y desechar todos los elementos de un puesto que no sean necesarios en el mismo. Con esta situación de organización se crearán

normas para trabajar y poder prolongar en el tiempo esta situación (Manzano Ramírez & Gisbert Soler, 2016).

- Seiton u Ordenar e Identificar. Tras la ordenación de todos los elementos que no hayamos desechado en la anterior fase, estos se identificarán para así poder tener cierta clasificación y disponerlos de tal modo que sean accesibles fácilmente. Es importante trabajar con la frase «un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar» (Sacristán, 2005).
- Seiso o Limpieza. Limpiar puestos de montaje, equipos y útiles y todas las áreas que influyan en la producción. Este punto no tiene la finalidad de hacer relucir las máquinas, está más enfocado a que el trabajador de un puesto sepa y tenga controlados los puntos más propensos a coger suciedad y así pueda mantenerlos limpios. Con esto se quiere tener los puestos de trabajo limpios.
- Seiketsu o Estandarizar. Para poder mantener en el tiempo todo lo que se ha conseguido con la limpieza y el orden, esta estandarización se emplea para establecer procedimientos cuya meta sea la de mantener con el tiempo la situación mejorada que hemos logrado.
- Shitsuke o Sistematizar y disciplina. Con el fin de seguir retroalimentando este proceso y tener una buena aplicación de este. Siempre es bueno autoanalizarse y detectar puntos de mejora para llevar a cabo una buena reafirmación de que estamos en el buen camino, o para mejorar aquello que nos lo está impidiendo, siempre con autonomía.



Ilustración 3. 5´s. (Elaboración propia)

Algunos de los efectos que tiene la aplicación de las 5´s se podrían enumerar de la siguiente manera (Sacristán, 2005):

- Fase de motivación. En esta fase el equipo conoce al detalle los puntos a mejorar y también plantea soluciones y planes de actuación para llevar a cabo su corrección, por tanto, el equipo muestra esa involucración e interés por la mejora futura.
- Fase de mejorar del equipo productivo. La limpieza y el orden llevan a las máquinas o útiles de producción a su estado óptimo para la fabricación, ya que se eliminan todo tipo de defectos, fallos y situaciones anómalas.
- Fase de mejora en el rendimiento de las personas. Un ambiente como el que se consigue con la correcta aplicación de las 5 S lleva a eliminar las averías y defectos en el sistema productivo gracias a la mejora en las habilidades técnicas y conocimientos del operador.

2.3.2 SMED

SMED o también Single Minute Exchange of Die (Cambios rápidos). Este sistema nace para poder ejecutar correctamente el Just in Time de Toyota, realmente se llama así por el cambio de troqueles que se introducirían en las presas en menos de un minuto para así ser rápidos en la producción y cambiar la producción a otro lote de piezas en tiempos mínimos. Actualmente esto se extrapola a cualquier cambio, ya que todos ellos deben de producirse en tiempos mínimos para poder adaptar fácilmente cualquier producción a la demanda requerida en tiempo real (Posada, 2007).

Si nos centramos en los principios de este sistema tal y como lo describe Shigeo Shingo, creador de este sistema, tenemos:

- Separación de las actividades internas y externas (Shingo, 2019). Aquí se pretende minimizar el tiempo de parada de las máquinas del sistema. Las actividades internas son aquellas en las que es necesario que la máquina esté inactiva para poderse realizar, mientras que las externas se pueden realizar mientras la máquina está trabajando. Interesa trasladar todas las actividades internas a externas para así minimizar, como ya hemos visto, el tiempo que transcurre con la máquina inactiva.
- Convertir actividades internas a externas (Shingo, 2019). Una vez separadas las actividades en estas dos categorías, hacer el estudio para trasladar las más posibles a externas. Se pretende lograr reducir el tiempo de configuración y preparación para que la máquina opere

el mayor tiempo posible sin las limitaciones de las actividades internas.

- Estandarización y mejora continua (Shingo, 2019). Hecho lo anterior es conveniente que se mantenga en el tiempo, para ello es necesario una estandarización de los procesos y la implicación de los trabajadores en querer llevar a cabo una mejora continua.
- Uso de técnicas y herramientas adecuadas (Shingo, 2019). Existen herramientas como la preparación simultánea al proceso de utillaje, dispositivos para hacer rápidamente el ajuste y usar componentes modulares.

Los pasos planteados por González Correa (2007) para la implantación de un sistema SMED son los siguientes:

1. Medir el tiempo que se tarda en hacer el cambio.
2. Identificar las actividades que se produzcan.
3. Identificar actividades que no aportan valor y se pueden eliminar.
4. Separar las actividades en Internas y Externas.
5. Eliminar todas aquellas actividades innecesarias.
6. Externalizar todas las actividades posibles.
7. Optimizar todo tipo de actividades.
8. Establecer el nuevo tiempo de cambio.

2.3.3 TRABAJO ESTANDARIZADO

En cualquier empresa que tenga varios trabajadores cada uno tendrá una manera de realizar su trabajo, una manera de afrontar los defectos, los procesos de mejora, la documentación y tantas cosas más. Es por ello por lo que es preciso poner en conocimiento de todos los trabajadores un proceso común, independientemente de la persona, para realizar de una misma manera cada una de las actividades que se llevan a cabo, es decir, conseguir la estandarización de las actividades y ya no solo en trabajadores del mismo turno o zona, llevar esta estandarización de los trabajos a todas las personas involucradas en un mismo proceso de una empresa.

Tiene numerosos beneficios (González Correa, 2007), ya que con ello conseguimos un correcto mantenimiento de la calidad, se reduce el coste del proceso al identificar fallos y tratarlos y trabajar siempre de la misma manera, también haciendo las cosas siempre del mismo modo y trabajando de la misma manera nos aseguramos cumplir con los plazos que se impongan y tener gran

puntualidad a la hora de realizar entregas, y por último, reducimos los riesgos derivados del propio proceso, minimizando los actos que no sean seguros.

Esta herramienta se tratará igualmente en apartados siguientes dada la importancia de la misma en la realización de este trabajo.

2.3.4 POKA YOKE

Esta herramienta Lean se basa principalmente en dos ideas fundamentales, la primera y con la que se pretende dar solución a los problemas sobrevenidos es la prevención de errores y la segunda, si no es posible prevenir, la detección de esos errores. Poka en japonés significa «a prueba de errores» y la palabra Yoke significa «prevención», como vemos, el significado en español del término nipón define perfectamente la idea. Para poner en práctica esta metodología deberíamos de seguir el ciclo que se ha elaborado en la Ilustración 4, y con ello se intentaría evitar errores en los procesos mediante la implantación de mecanismos, modos de trabajo o dispositivos, especialmente elaborados para evitarlos, este método también contempla que no seamos capaces de evitarlos y para ello también se centra en introducir herramientas y soluciones que nos permitan identificar los errores que se den en una etapa temprana del proceso y así evitar que se repita el problema o que pueda ocasionar uno mayor. Para conseguir todo esto existen algunas herramientas (Hirano, 1987) entre las que podemos destacar:

- Cerramientos de seguridad
- Marcado físico de una secuencia de montaje
- Sensores de presencia
- Métodos de kitting (entraremos en detalle más adelante)

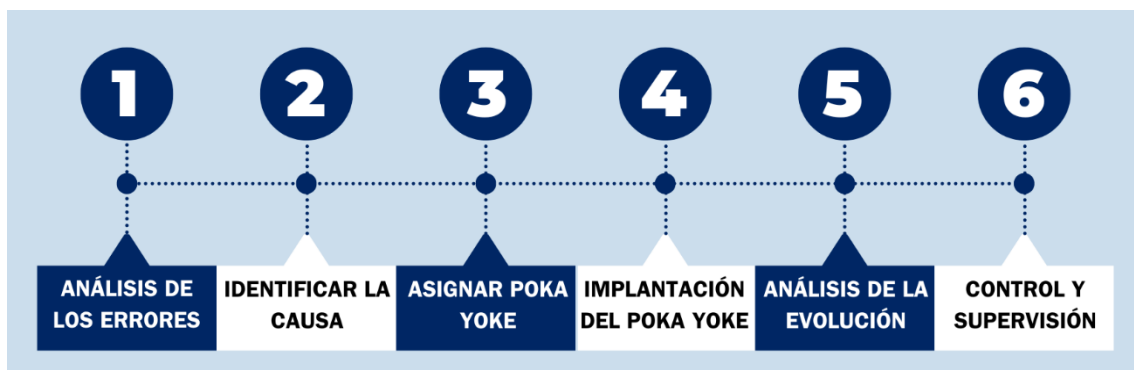


Ilustración 4. Ciclo Poka Yoke. (Elaboración propia)

Existen varios tipos de Poka Yoke según como sea su funcionamiento, y según los ejemplos mencionados arriba podemos distinguir entre Poka Yoke de advertencia

que funciona advirtiéndonos de que algo está mal, de que algo no está funcionando como debería como por ejemplo el sensor de presencia si este indica que hay algo que no debería de estar en esa posición, y el Poka Yoke de control que evita que se lleve a cabo una acción incorrecta. La metodología de kitting la podemos enmarcar en un tipo de control, ya que brinda al operario todos los recursos para evitar a toda costa que se lleve a cabo una acción de montaje incorrecta.

2.3.5 KAIZEN

Kaizen es una palabra japonesa que significa en español «mejora continua». Con esta herramienta lo que se pretende fundamentalmente es ir incrementando la productividad, la eficiencia, la calidad y mejorar aquellos parámetros que se quieran alcanzar en el sistema mediante pequeños cambios graduales e incrementales que no supongan un cambio drástico (Alukal & Manos, 2006). Así logramos la posibilidad de análisis del sistema en cuanto a si hay mejora o no al introducir estos cambios y tener un margen de maniobra por si hay que corregir algo y consecuentemente a esto se consigue una rápida acogida por parte del personal y su participación activa en proponer mejoras y avances en los procesos. Esta aplicación gradual hará que el sistema de introducción de mejoras continuas o Kaizen como lo venimos nombrando sea sostenible en el tiempo.

Por tanto, con lo definido podemos decir que la herramienta del Kaizen se basa en una serie de principios:

- Mejora continua. Haciendo retrospectivas y aplicando herramientas como el ciclo PDCA (Planificar-Ejecutar-Evaluar-Actuar) se consigue implementar pequeños ajustes que a largo plazo suponen una mejora sustancial del sistema.
- Enfoque gradual. De manera progresiva se trata de hacer cambios que nos lleven a esa mejora continua, pero siempre poco a poco para que sea sostenible y haya tiempo de adaptación y aprendizaje con los cambios introducidos.
- Reflexión diaria. Con el propósito de mejora, llevar a cabo este aprendizaje diario continuado para así ser más críticos y ver aprendizajes y reflexiones sobre cambios a mejor que se puedan implementar.

El Kaizen busca crear un cambio gradual en la empresa, este cambio está enfocado al sistema Lean, para ello nos plantea la introducción de KPI's o también conocidos como indicadores clave de rendimiento, que nos permitan evaluar el

desarrollo de los procesos y así analizar puntos de mejora, también se busca eliminar todo desperdicio posible y centrarse en aspectos que aporten valor (Helmold, 2020).

2. 4 INDICADORES LEAN

En este epígrafe se introducen unos indicadores de la metodología Lean que nos serán de utilidad y su comprensión nos acercará más la correcta aplicación del sistema Lean (Martín Vázquez, 2013).

- Tiempo Ciclo (C/T) – Ritmo con el que una pieza se procesa en un puesto.
- Tiempo de valor añadido (TVA) – Tiempo de transformación del producto por el que el cliente está dispuesto a pagar. (Siempre es mejorable por eliminación/reducción de despilfarros).
- Takt Time (TT) – Ritmo con el que el cliente nos demanda las piezas en el tiempo requerido (planificado) de fabricación.
- Lead-Time (L/T) – Tiempo que tarda un producto en recorrer todo el flujo de valor de fábrica.
- OEE o Eficiencia de los Equipos/Proceso – Piezas buenas fabricadas respecto a las que deberían haber sido fabricadas en condiciones óptimas en el tiempo requerido.
- Tasa de saturación (Ts) – Cociente entre la plantilla necesaria óptima por equipo (sumatorio de los tiempos productivos de cada puesto, dividido por el tiempo del cuello de botella), dividido por la plantilla real por equipo.

2.5 KITS

Un Kit lo podemos definir como un conjunto de componentes o piezas que estén almacenadas en el mismo espacio o conjunto y que se utilice individual o

colectivamente, pudiendo combinarse con otros Kits, para una operación o varias que se realizan sobre un producto (Brynzér & Johansson, 1995).

2.5.1 OPTIMIZAR LOS FLUJOS Y DESPLIEGUE DE LOS KITTING

Las razones para optar por los Kits nacen por la enorme cantidad de referencias que pueden existir en cada puesto de trabajo, haciendo de este impracticable en cuanto a eficiencia en tiempos y de proceso. Por tanto, los motivos para desplegar los Kits son:

- Ganar en productividad sobre la cadena. Con el Kit tendríamos las piezas necesarias a mano y esto se traduce en menor número de desplazamientos (Ilustración 5). También la concentración del operario estaría dispuesta hacía lo que está montando y no sobre que pieza debe de elegir y si este proceso de elección ha sido correcto.

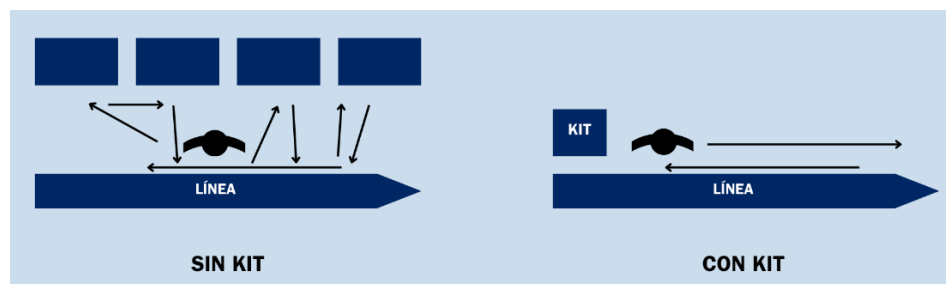


Ilustración 5. Desplazamientos Kit. (Elaboración propia)

- Ganar en compactibilidad de línea. Se puede hacer trabajar a mayor número de operarios sobre el mismo plano de trabajo por tanto el número de pasos de trabajo necesarios para una línea disminuyen y con esto conseguimos tener líneas de producción más cortas (Ilustración 6).
- Mejorar las condiciones de trabajo. Al tener menos piezas en la línea los bordes de la cadena están más despejados y por ende los operarios dejan de estar aislados.
- Ganar en flexibilidad de línea. Se pueden conseguir adaptaciones rápidas tanto al cambio de un nuevo modelo o producto como al cambio de una nueva cadencia de montaje.
- Ganar en calidad. Como el Kit contiene la pieza correcta se evitan así los riesgos de errores de los operarios en la línea. También los Kits se preparan con estantes que ayudan a la elección de piezas y esto evita

el posible error en la preparación del Kit por parte de la figura del preparador de Kits. Esto corresponde a una aplicación de la herramienta Lean Poka Yoke, vista anteriormente.

- Ganar en ergonomía. Puesto que se trabaja con las piezas buenas y los Kits se pueden adaptar a piezas pesadas u otras con cualquier tipo de inconveniencia.

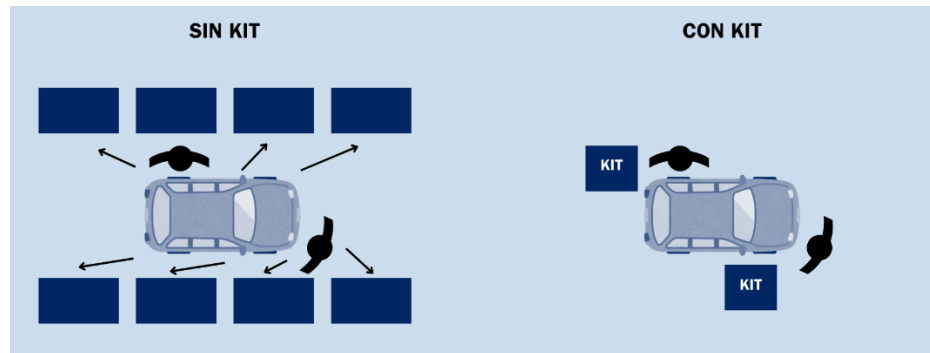


Ilustración 6. Compatibilidad de línea. (Elaboración propia)

2.5.2 FULL-KITTING EFICAZ

Con el Kit completo o más comúnmente conocido como Full-Kitting se sigue una estrategia de block allocation, así cada operario dispondrá en su puesto de todo lo necesario y no deberá de realizar desplazamiento alguno, lo único que se desplaza entre puestos de trabajo es el Kit (Fager, Hanson, Medbo, & Johansson, 2021).

Un Kit eficaz es aquel en el que todas las piezas del Kit son visibles, la colocación evita la pérdida o caída de alguna de las piezas, la colocación también guarda relación con el orden en el que se va a montar el producto, y está estandarizada, todas las piezas que corran algún tipo de peligro debido a su fragilidad están protegidas, el Kit está al alcance del operario que lo va a usar, y todas las piezas de este se encuentran al alcance de la mano. Combinando estos dos términos llegamos al Full-Kitting eficaz que será sobre el que trabajaremos más adelante.

Si analizamos como los kits se emplean en las industrias hoy en día, normalmente la preparación de estos se inicia en el departamento de control de producción, según lo que se demande para la producción. Antes de empezar a montar el kit, se comprueba que hay las piezas necesarias para cada uno, si no las hay se piden. Es muy raro que las empresas trabajen con kits aun con esta falta de

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

piezas, en un caso normal se esperaría a que las piezas llegaran para poder montar el kit al completo, pero hay algunas fábricas que sí son capaces de asimilar esta escasez (Vujosevic, Ramirez, Hausman-Cohen, & Venkataraman, 2012).

Una vez seleccionadas las piezas y montado el kit, este se envía a un área reservada fuera de línea donde esperará para posteriormente entrar en el proceso de producción. Los beneficios que nos da este modelo de trabajo incluyen (Vujosevic, Ramirez, Hausman-Cohen, & Venkataraman, 2012):

- Maximizar el tiempo de valor agregado de los operadores.
- Capacitar al operador de manera más sencilla, esto conlleva tener que incurrir en menos costes en el proceso de capacitación.
- Utilizar las máquinas el máximo tiempo posible, no existen paradas de la línea por la falta de piezas o para comprobar si están todas las necesarias.
- El trabajo en curso se reduce considerablemente.
- Los plazos de entrega son menores al crear un proceso más eficiente y rápido.
- Facilitar el montaje y evitar una sobre manipulación de las piezas que en algunos casos pueden ser sensibles.

No siempre se consigue una mejora sustancial con las ventajas que se han nombrado anteriormente, muchas veces el kit es necesario pero otras veces no, todo depende de la complejidad del proceso de producción. En las empresas con mucho volumen de productos y de piezas, los sistemas que regulan la producción ya sean los programas de planificación de requerimientos de material (MRP) u otros, no siempre son exactos.

Hay ciertas desventajas que provienen de una inexactitud en el conteo de las piezas debido a los sistemas de planificación. Como ejemplo, un MRP, muchas veces contempla el total de las piezas, no su desglose para el montaje de un kit. También los problemas pueden venir de los propios errores humanos que se puedan dar con la manipulación de las piezas para montar los kits. Las desventajas que nos encontramos son (Vujosevic, Ramirez, Hausman-Cohen, & Venkataraman, 2012), en función de la cantidad de piezas y componentes:

- No tener suficiente,
- Tener una cantidad mayor de la que vamos a necesitar,
- Insuficiencia de paquetes de estos componentes,
- Que parte de ellos estén defectuosos o incorrectos.

Estos problemas no llevan a que los propios kits, puedan estar incompletos. Con esto se provocará que el tiempo en el que la máquina o máquinas permanezcan paradas sea mayor y todo lo que conlleva, retraso de plazos de entrega, vuelta a un proceso ineficiente y más lento, etc.

CAPÍTULO 3.
ESCUELA LEAN. FLUJOS, KITS Y
ESTANDARIZACIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN A LA ESCUELA LEAN

Para seguir avanzando en este capítulo, ahora ya que se han explicado ciertos aspectos necesarios para la comprensión de este trabajo, nos centramos en la Escuela Lean.

La Escuela Lean es un laboratorio de la Universidad de Valladolid creado por una colaboración con una consultora, Renault-Consulting (Sánchez Nava, 2020).

En el año 2004, la que por entonces era la empresa Institut Renault empezó a cooperar con la Universidad de Valladolid en materia de formación a distintos niveles educativos y profesionales. Tras diez años del comienzo de esta colaboración se crea la Escuela Lean en la Universidad de Valladolid.

Primeramente, la Escuela Lean se sitúa en la sede Francisco Mendizábal de la Escuela de Ingenieros Industriales, y en 2024 se completó su traslado a la sede Paseo del Cauce de esta misma escuela. La inversión inicial, estimada en una cuantía entorno a los 400.000 euros, se materializó en un espacio que simula un pequeño entorno industrial donde los alumnos podrán aplicar la teoría dentro de este ambiente que potencia mucho el aprendizaje. Se trabaja con distintas metodologías entre las que destacamos, «I do, We do, You do» y «Learning by Doing».

La Escuela Lean es un ambiente formativo dedicado a la enseñanza de Lean con diferentes medios técnicos, y pedagógicos. El objetivo principal de la Escuela Lean es aumentar la competitividad de las organizaciones a través de la enseñanza del Lean Manufacturing.

Dentro de los programas lectivos encontramos que dado un entorno inicial los alumnos tendrán que ir adaptándolo a una metodología Lean que les permita optimizar al máximo los procesos que van a realizar y para alcanzar la excelencia en la comprensión y optimización de los procesos, los alumnos tendrán que ir rotando por los diferentes puestos de trabajo que existen, cronometrador, operario de línea, supervisor de línea y diversos técnicos.

3.1.1 PRODUCTOS FABRICADOS

En la Escuela Lean se llevan a cabo simulaciones de fabricación y montaje de dos productos diferenciados, el «Coche» y el «Solectrón». Con ambos productos se tienen diferentes objetivos didácticos, pero a grandes rasgos los estudiantes tendrán que aplicar herramientas Lean como las anteriormente explicadas para reducir todos los desperdicios posibles. El modo de proceder en estas simulaciones es que existe

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

un cliente que exige una demanda y un plazo para que se le suministre, esto se deberá de cumplir y para ello se deberá de optimizar al máximo el sistema.

Comencemos explicando la producción del coche, que se verá superficialmente a no ser objeto de estudio de este trabajo. Existen dos modelos de coche que se pueden producir: monovolumen y pickup. Cada modelo se puede producir en color verde o azul, y a su vez tiene dos variantes: normal y todoterreno. En la Ilustración 7 podemos observar estos coches, en la Ilustración 8 un plano de detalle y en la Ilustración 9 vemos los diferentes puntos de control del coche (López Díez, 2022).



Ilustración 7. Pick-up y Monovolumen. (López Díez, 2022)

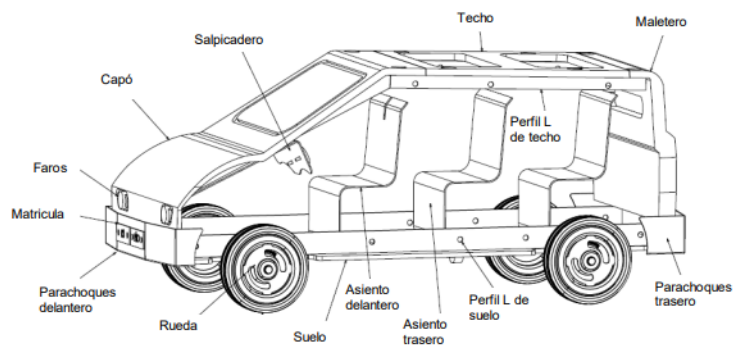


Ilustración 8. Plano de detalle de monovolumen. (López Díez, 2022)

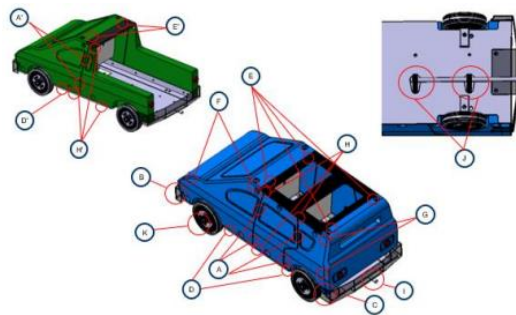


Ilustración 9. Puntos de control del coche. (López Díez, 2022)

Ahora pasamos a explicar el Solectrón (Ilustración 10), que es un producto que está formado por distintas piezas que se tendrán que ir acoplando según vaya pasando el producto por los puestos de montaje, este proceso se explicará con detenimiento más adelante.



Ilustración 10. Vista de un Solectrón. (Elaboración propia)

En la simulación de la Escuela Lean, existen dos empresas llamadas «Epsilon Manufacturing» (Ilustración 11) la cual está especializada en el diseño, fabricación y Recyclean (Ilustración 11) empresa encargada de desmontar y reciclar los componentes de los Solectrones.



Ilustración 11. Logos Epsilon y Recyclean. (Elaboración propia)

El producto que comercializan (Solectrón) está formado por las siguientes piezas que se enumeran:

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

- Base de aluminio. Es una pieza de aluminio que se aprecia en la Ilustración 12 y cuyas medidas (todas las medidas y las que aparezcan a lo largo de este trabajo están expresadas en milímetros), que necesitaremos para la fase de diseño, son: Diámetro grande de 120, cilindro con diámetro exterior de 60 e interior (tanto superior como inferior) de 50, y con una altura de 45.



Ilustración 12. Base de un Solectrón. (Elaboración propia)

- Sectores. Piezas que se montan en grupos de cuatro (Ilustración 13) y que se diferencian por colores. Dentro de un mismo grupo existen las piezas sector A, sector B, sector C y sector D, esta numeración estandariza la manera de montaje y asegura que todas las piezas encajen y se monten donde tiene que ir. Hay algunos grupos de cuatro piezas que disponen de unos orificios (Ilustración 14) donde se montarán las piezas que se explican a continuación.



Ilustración 13. Grupos de Sectores de un Solectrón. (Elaboración propia)



Ilustración 14. Sectores con orificios para Insertos. (Elaboración propia)

- Insertos. Piezas de hierro con ciertas formas geométricas (Ilustración 15) que pueden ser: prisma hexagonal, prisma rectangular, cilindro y prisma rectangular ovalado. Estos insertos se acoplan mediante unos tornillos a los sectores.



Ilustración 15. Insertos de un Solectrón. (Elaboración propia)

- Tornillos. Existen dos clases de tornillos, unos prisioneros que unen los insertos con los sectores y otros que unen los sectores con la base y entre si (Ilustración 16). Ambos se atornillan o desatornillan con el mismo tipo de desatornillador, para así facilitar el proceso.



Ilustración 16. Tornillos de un Solectrón. (Elaboración propia)

El montaje del Solectrón tiene dos posibles versiones en función de cómo se dispongan las bases, estas dos posibilidades las vemos en la Ilustración 12, anteriormente mostrada y en la Ilustración 17.



Ilustración 17. Base del en otra disposición. (Elaboración propia)

Aunque en las primeras simulaciones los colores de las capas se mantienen: verde – amarillo – azul – naranja, según avanza la formación se introducen nuevos colores en las capas y se permite alterar el orden inicial. Lo que nunca variará será la posición de los Sectores que llevan Insertos, estos siempre serán, empezando a numerar por el grupo unido a la base, el segundo grupo (Ilustración 18) y el cuarto que es el que queda a la vista (Ilustración 10).



Ilustración 18. Solectrón con dos capas de Sectores. (Elaboración propia)

Cada Solectrón por tanto y como se aprecia en la Ilustración 19 se compone de un total de 49 piezas.

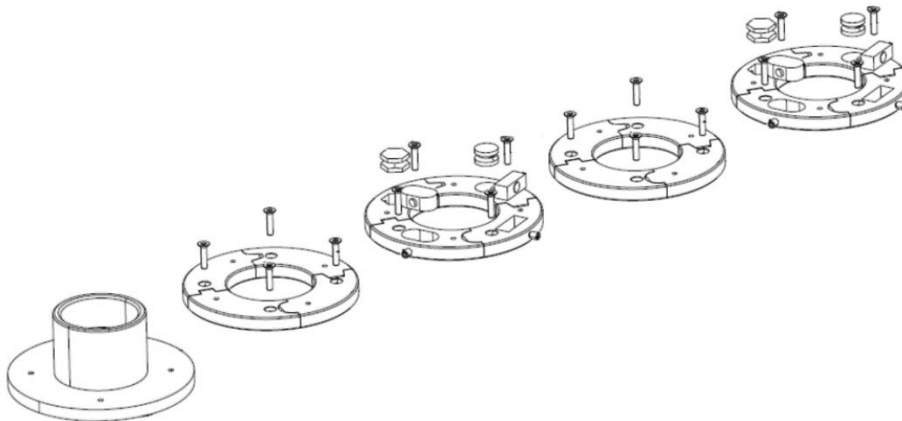


Ilustración 19. Despiece de un Solectrón. (López Díez, 2022)

3.2 FLUJOS

Una vez que conocemos lo que es la Escuela Lean y el producto en el que nosotros nos vamos a centrar, es interesante hacer un análisis de los flujos que tienen lugar en el proceso. Para ello analizaremos el proceso que llevan a cabo los alumnos en la formación que se imparte con el Solectrón.

La formación se desarrollará en tres sesiones de producción (Cabello, 2020) donde los alumnos, con ayuda de los docentes, irán definiendo diferentes configuraciones de Layout y de estandarización del trabajo, pasando por casos en los que ellos vean que es posible una mejora y así pueden hacer un análisis y posterior reflexión sobre cómo podrían implementar mejoras en el sistema. En este contexto se parte de una situación inicial que no corresponde a la óptima y se deberá evolucionar de acuerdo con las necesidades que les requiera el cliente (Pérez Beteta, 2006), procurando así implementar un sistema que siga las metodologías Lean para obtener mejorar unos parámetros que se medirán.

En este apartado nos centraremos en analizar la tercera producción de esta formación y así comprender un poco más la justificación de este trabajo.

3.2.1 TERCERA PRODUCCIÓN

Esta tercera producción es la que a nosotros nos interesa. En este punto de la formación se introduce en el sistema una nueva restricción y es que los Insertos deberán pasar por un proceso de lavado y una nueva variable que no se había tomado en cuenta anteriormente, los Sectores pueden tener distintos ordenes de montaje y por lo tanto distintas configuraciones, a parte se añaden nuevos colores a los Sectores. Nos encontramos que las referencias en cada puesto se multiplican, siendo necesarias muchas más gavetas, tantas que no sería posible tener un puesto de trabajo al alcance del operario. Vamos a analizar esto con mayor profundidad:

- Al tener un único producto (Ilustración 20) las referencias en el puesto varían de dos a seis.



Ilustración 20. Único producto. (Elaboración propia)

- Al poder cambiar el orden de los colores tendríamos cuatro posibles productos (Ilustración 21) y las referencias en el puesto serían de seis o doce.



Ilustración 21. Cuatro productos. (Elaboración propia)

CAPÍTULO 3. ESCUELA LEAN. FLUJOS, KITS Y ESTANDARIZACIÓN

- Al poder duplicar un color tendríamos dieciséis posibles productos (Ilustración 22) y las referencias en el puesto serían de seis o doce.

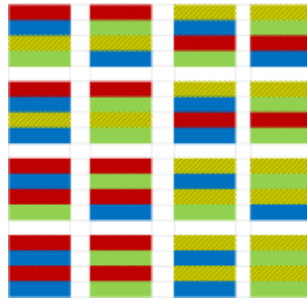


Ilustración 22. Dieciséis productos. (Elaboración propia)

- Al introducir cuatro nuevos colores de Insertos en esta tercera producción estaríamos hablando de que la diversidad de posibles productos aumentaría a doscientos cincuenta y seis (Ilustración 23) y las referencias en el puesto serían de doce a veinticuatro.

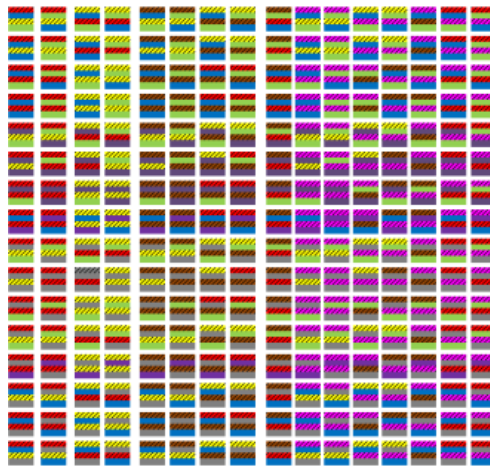


Ilustración 23. Doscientos cincuenta y seis productos (Elaboración propia)

Debido a esto y a que los Insertos se deberán introducir en la lavadora para que sean lavados, es inviable seguir con el modelo de producción que se manejaba hasta el momento y se introduce un concepto, el Kit, esto será objeto de estudio más en profundidad en otro apartado. También se cambia la disposición del Layout (Ilustración 24) y con todo ello se consigue optimizar al máximo todo el proceso.

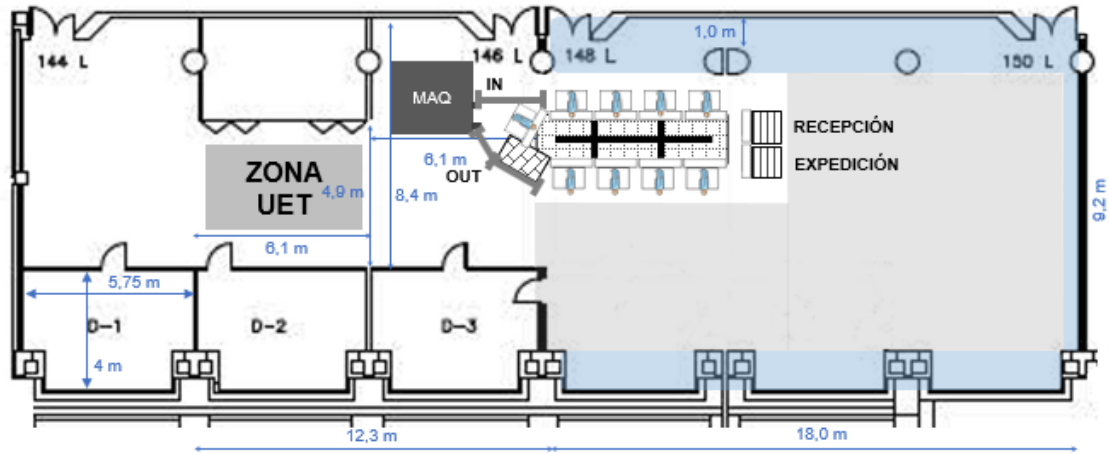


Ilustración 24. Layout tercera producción. (Elaboración propia)

3.3 PROCESO DE EVOLUCIÓN DE UN KIT EN LA ESCUELA LEAN

En la tercera producción, que como se comentó anteriormente, es en la que se introducen los Kits, se parte de las ideas que puedan tener los alumnos para elaborar el Kit, este proceso se va guiando con unas restricciones:

- El Kit debe de ser Full-Kitting eficaz.
- Debe de contener:
 - 16 piezas de colores
 - 1 base
 - 16 tornillos
 - 8 Insertos (2 de cada tipo)
- Las piezas de colores deben de ir en Gavetas.
- La etiqueta de la referencia marca el código de colores.
- Los Insertos deben de ser lavados al igual que las piezas de colores.

Primeramente, en este proceso de desarrollo de la versión final del Kit los alumnos clasifican las piezas de colores en 3 gavetas multireferencia de 6 piezas cada una. Al ver que esto no es óptimo ya que tienen espacio para almacenar un total de 18 piezas en esas 3 gavetas, están desaprovechando 2 espacios de

almacenaje de piezas de colores en cada Kit que montan. Esto se aprecia en la Ilustración 25.



Ilustración 25. Gavetas de 6 uds. (Elaboración propia)

Tras esta conclusión se propone un primer Kit (Ilustración 26) en el que las Gavetas tendrán espacio para almacenar 4 unidades de piezas de colores y las 4 Gavetas necesarias se colocarán apiladas, los Insertos y los tornillos se introducen en otra Gaveta y la base a parte y todo lo mencionado contenido en una caja.

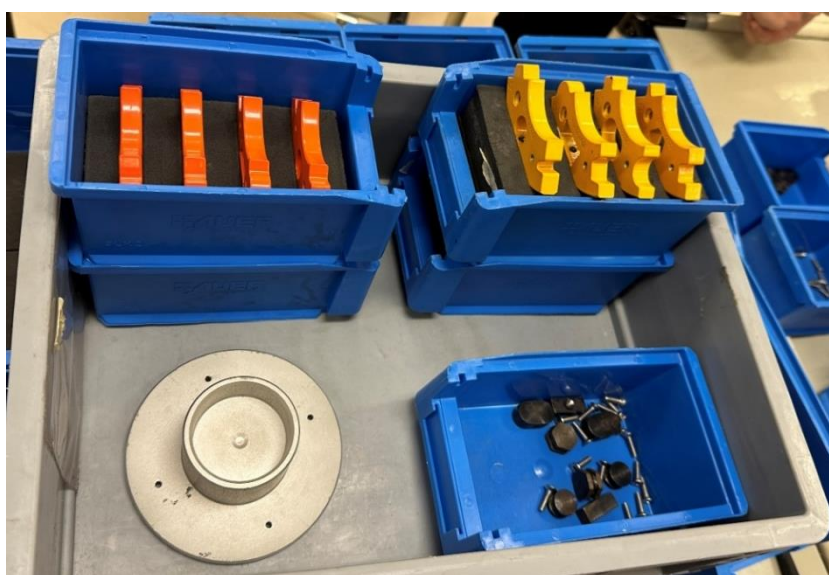


Ilustración 26. Primera idea Kit. (Elaboración propia)

Esta primera idea de Kit se introduce una nueva Gaveta para separar los Insertos de los tornillos y se modifica en cuanto a colocación, disponiendo los elementos como se muestran en la Ilustración 27.



Ilustración 27. Modificación primera idea Kit (Elaboración propia)

Las conclusiones de esta primera idea de Kit son que se va a necesitar una caja más grande porque estamos incumpliendo una de las premisas para hacer un Kit eficaz, no todas las piezas están visibles y en cada puesto de montaje se va a tener que estar extrayendo e introduciendo las Gavetas para poder acceder a las piezas.

Ahora los alumnos reciben la idea de ampliar el espacio que tienen disponible para cada Kit con algún soporte encima de la caja. Así consiguen poner las Gavetas de 4 piezas en línea, pero se encuentran con las dudas del posicionamiento de tornillos y de los Insertos, estos últimos, obligatoriamente deben de ir contenidos en una Gaveta o espacio de almacenamiento que permita su introducción en la lavadora del proceso ya que junto con las piezas de colores deben de ser lavados. Con ello nace la segunda idea de Kit (Ilustración 28).

Esta idea aun siendo incompleta en cuanto a tener un Kit real, con todos los elementos que se necesitan para montar el Solectrón, va dando ya una idea a los estudiantes de cómo tienen que ir evolucionando el Kit y, aunque esta configuración es muy mejorable porque se presentan múltiples problemas que se exponen a continuación, el modelo de Kit ya empieza a nacer.



Ilustración 28. Segunda idea Kit. (Elaboración propia)

A esta segunda idea le falta aún la colocación de los Insertos y de los tornillos, pero como vemos ya se ha solucionado los problemas que antes impedían que esto fuera un Kit eficaz.

Para los Insertos se utilizan unas bases de imán, gran idea, ya que así ocupan menos espacio que en una Gaveta, están más accesibles para el operario y este sistema se admite en la lavadora y se podrán lavar.

Para los tornillos se crea un nuevo espacio donde se colocarán y también se fijan las Gavetas por los laterales de la base para que no se caigan mientras se desplaza el Kit, asegurando así otro de los principios del Kit eficaz y se incluye una pequeña pieza debajo de ellas para proceder a su ligera inclinación y que tenga un acceso más fácil. Todas estas modificaciones las podemos observar en la Ilustración 29.

La conclusión que se saca de esta segunda idea de Kit es que tampoco es válido ya que esta disposición, soluciona problemas anteriores, pero no llega a la excelencia debido a que tener los tornillos y los Insertos colocados así no posibilita que exista una simultaneidad de movimientos del operario. Para ello se distribuyen y reparten mitad de las piezas en cada lado de la base tal y como se muestra en la Ilustración 30.

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

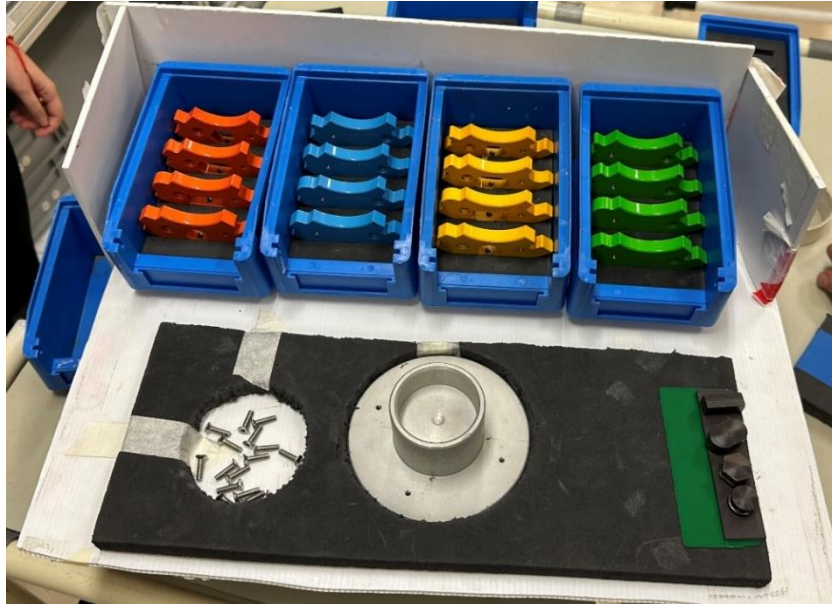


Ilustración 29. Modificación segunda idea Kit (Elaboración propia)

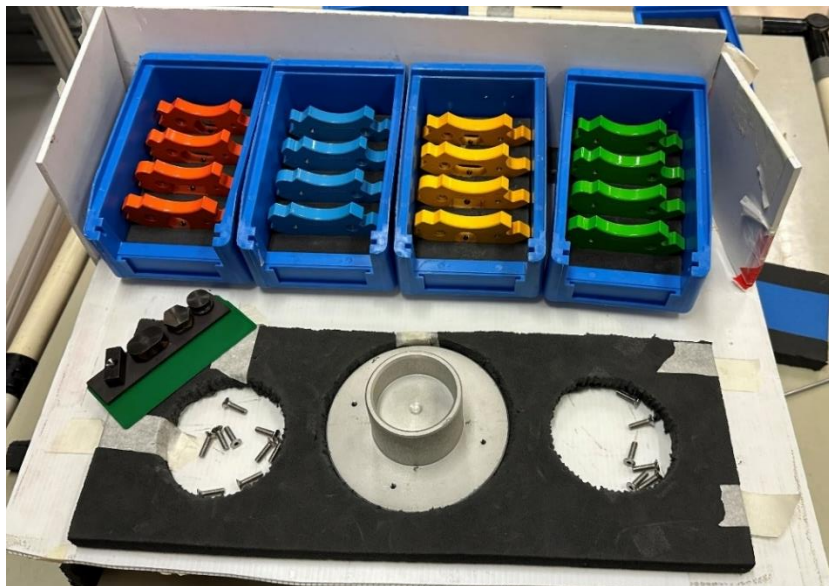


Ilustración 30. Conclusión idea Kit (Elaboración propia)

Así hemos llegado al Full-Kitting eficaz que se requiere para el montaje optimizado de un Solectron y el Kit que se usará en el desarrollo de la fabricación y reciclado será finalmente el que se muestra en la Ilustración 31 con el que se depuran varios detalles del Kit como la introducción del destornillador y los números para colocar las Gavetas en orden.

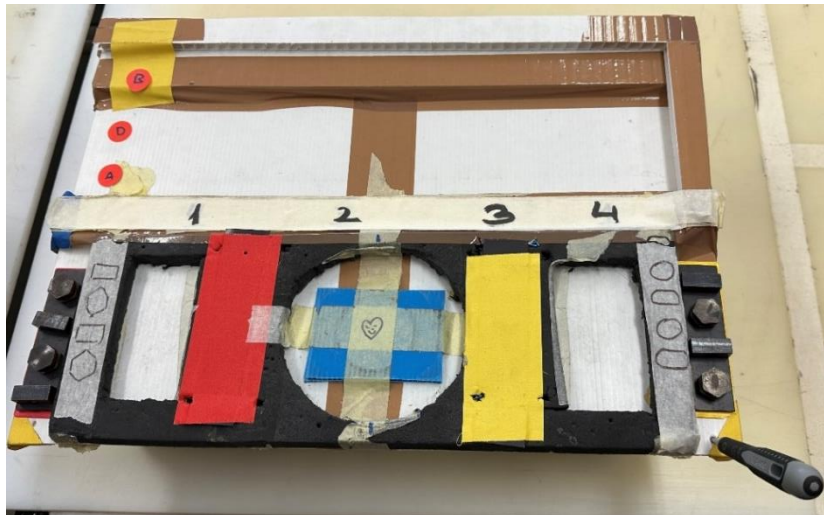


Ilustración 31. Kit desarrollado en Escuela Lean (Elaboración propia)

Con este Kit se trabajará a partir de ahora y se procederá a explicar cómo se estandarizan los trabajos en las dos líneas del proceso.

3.4 ESTANDARIZACIÓN DE TRABAJOS CON KITS

Es interesante, como se explicó anteriormente, que se ponga en conocimiento de todos los estudiantes, que participan en el proceso, un método común, para que así independientemente del alumno, se realicen de una misma manera cada una de las actividades que se llevan a cabo en los distintos puestos, es decir, conseguir la estandarización de las actividades.

Por ello en este epígrafe trataremos de explicar cómo se han estandarizado las tareas en cada puesto de trabajo con el Kit para evitar cuellos de botella u otros problemas que pudiera ocasionar el proceso. Esto se explicará paso a paso acompañando a un Solectrón durante toda su estancia tanto en las líneas de montaje como en la de reciclaje, su expedición como producto terminado y su lavado.

Comencemos por el puesto de Kitting, donde el operario asignado monta el Kit según la tarjeta de colores que le llegue (Ilustración 32).

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN



Ilustración 32. Operario de Kitting. (Elaboración propia)

Cuando el Kit está preparado pasa al primer puesto de la línea de montaje, en este puesto, el operario asignado se encargará de montar los Sectores A y B del primer nivel, estas dos piezas se corresponden con las más cercanas al operario en cada Gaveta. También montará los Sectores A y B del segundo nivel, estas piezas llevan dos Insertos que también montará, de esta manera la carga de trabajo se reparte mejor que en las primeras producciones y se eliminan los cuellos de botella. En la Ilustración 33 podemos ver el trabajo que realiza el primer operario, en este momento se dispondrá a montar el último Inserto que le corresponde.

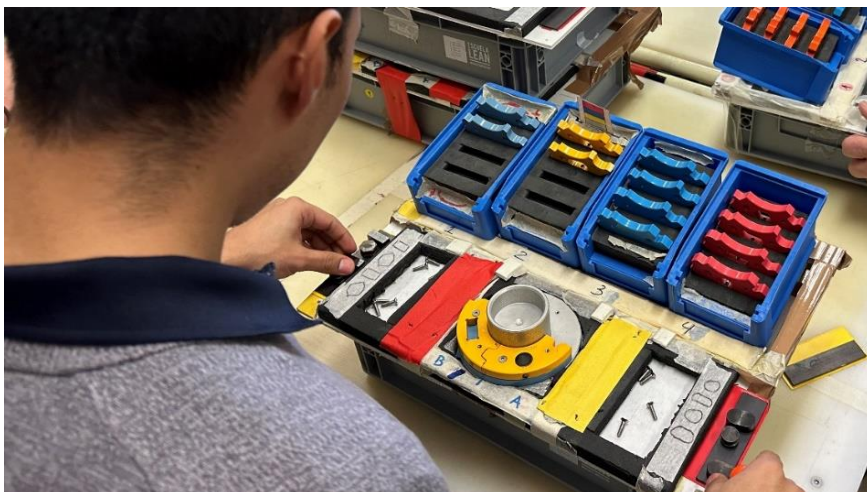


Ilustración 33. Primer operario montaje. (Elaboración propia)

CAPÍTULO 3. ESCUELA LEAN. FLUJOS, KITS Y ESTANDARIZACIÓN

Tras completar su trabajo, pasa el Kit al operario del puesto contiguo, es decir, el segundo operario. (Ilustración 34)



Ilustración 34. Paso del puesto 1 al 2. (Elaboración propia)

Una vez que el operario del segundo puesto tiene el Kit, comienza a trabajar con ello, montando los Sectores restantes del primer y segundo nivel, es decir, los Sectores C y D de sendos niveles (Ilustración 35). También monta los Insertos correspondientes al segundo nivel (Ilustración 36).

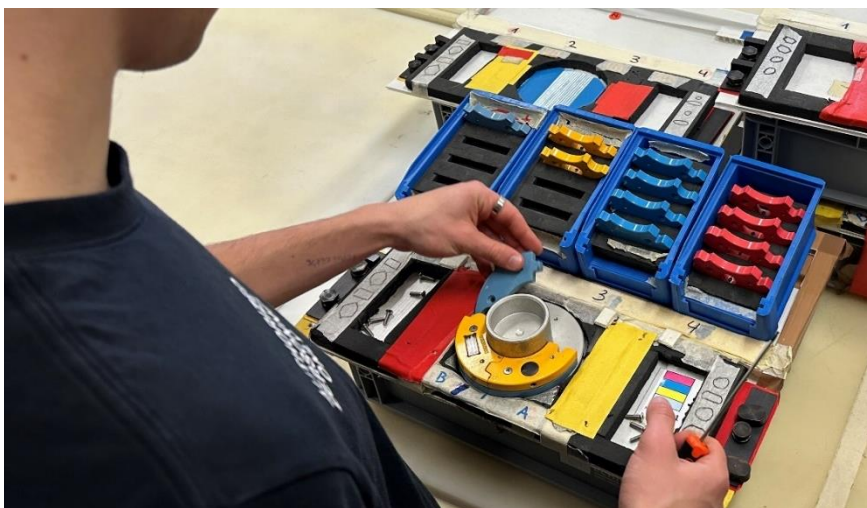


Ilustración 35. Segundo operario montaje. (Elaboración propia)



Ilustración 36. Segundo operario montaje. (Elaboración propia)

Tras finalizar su proceso, el segundo operario, pasa el Kit al tercero (Ilustración 37), este lo recibe con los dos primeros niveles montados y procede a hacer las mismas operaciones que el operario del primer puesto, pero con los Sectores de los niveles 3 y 4, es decir, monta los Sectores A y B de sendos niveles (Ilustración 38).

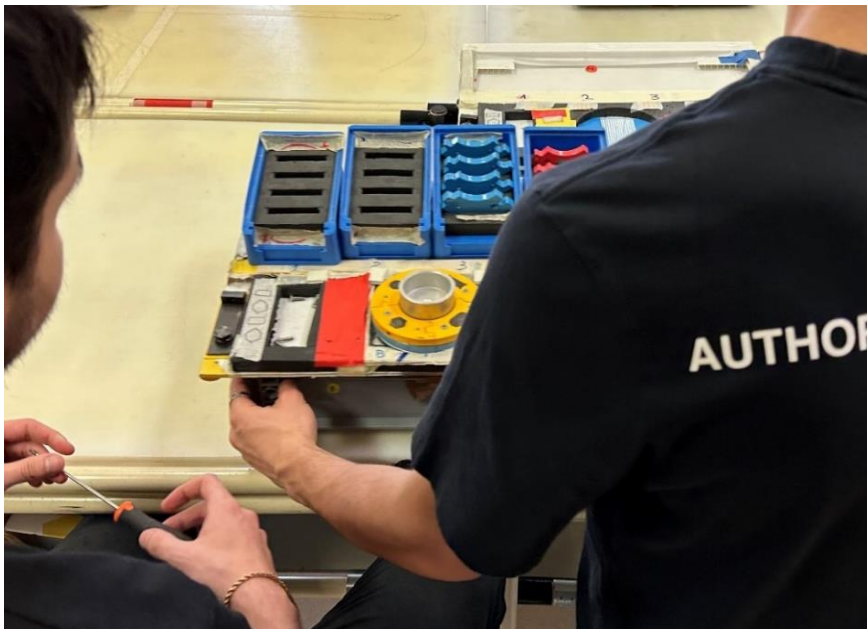


Ilustración 37. Paso del puesto 2 al 3. (Elaboración propia)

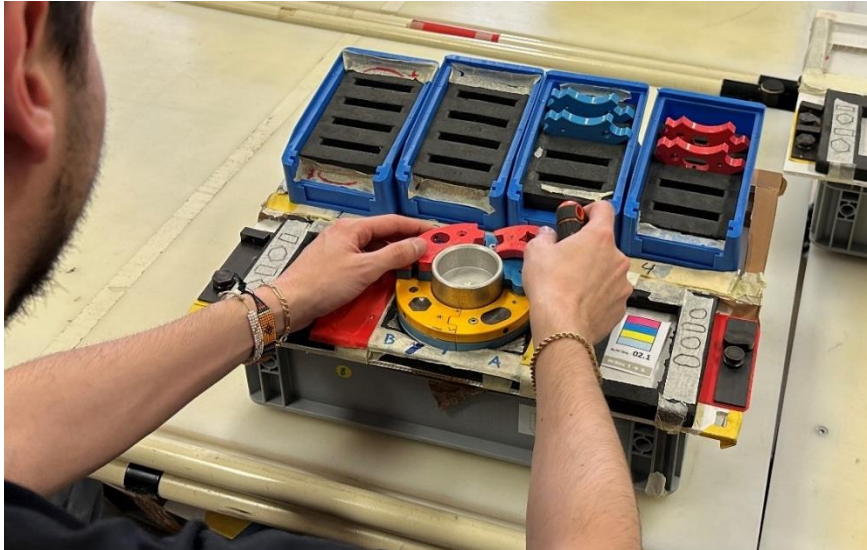


Ilustración 38. Tercer operario montaje. (Elaboración propia)

Tras montarlo, pasará el Kit al cuarto operario (Ilustración 39) que se encarga de hacer las operaciones análogas al puesto dos, pero en los niveles superiores (Ilustración 40). De este modo, cuando ha terminado de montarlo pasa el Kit con el Solectrón terminado al operario de logística que se encuentra en último lugar de la línea (Ilustración 41).

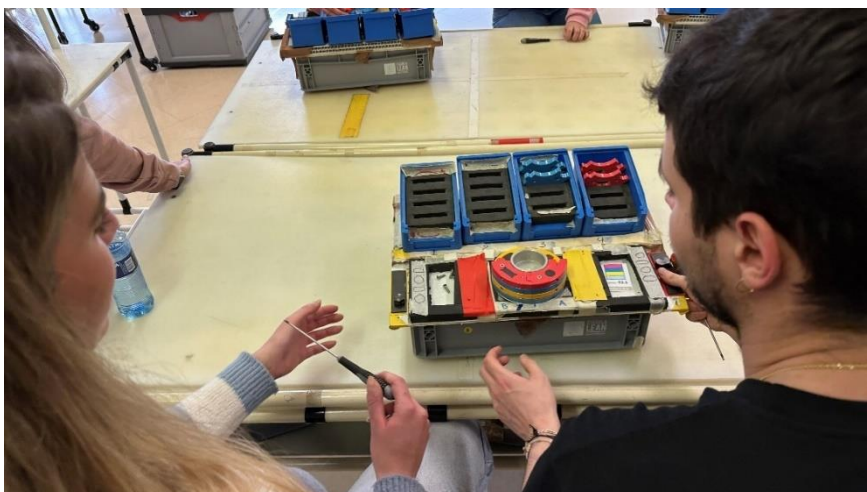


Ilustración 39. Paso del puesto 3 al 4. (Elaboración propia)

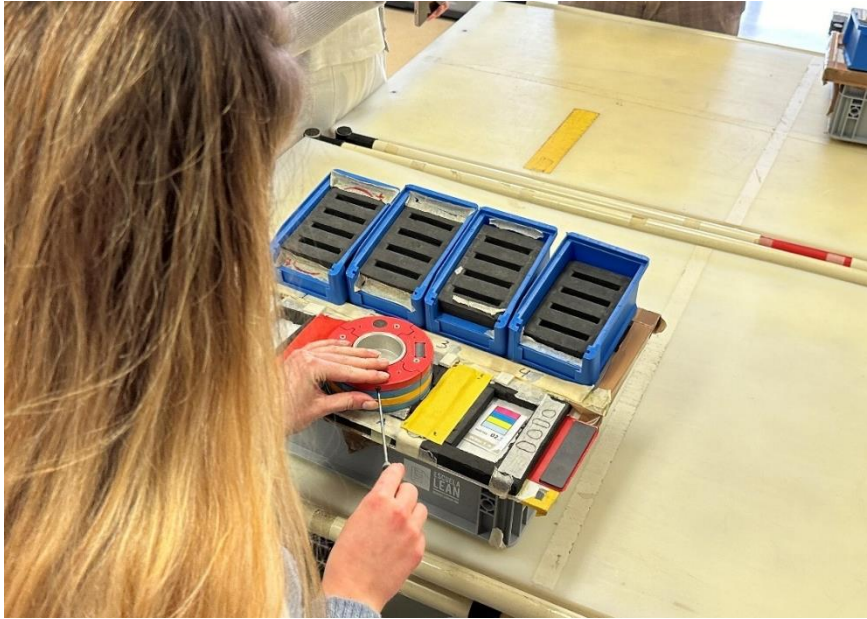


Ilustración 40. Cuarto operario montaje. (Elaboración propia)

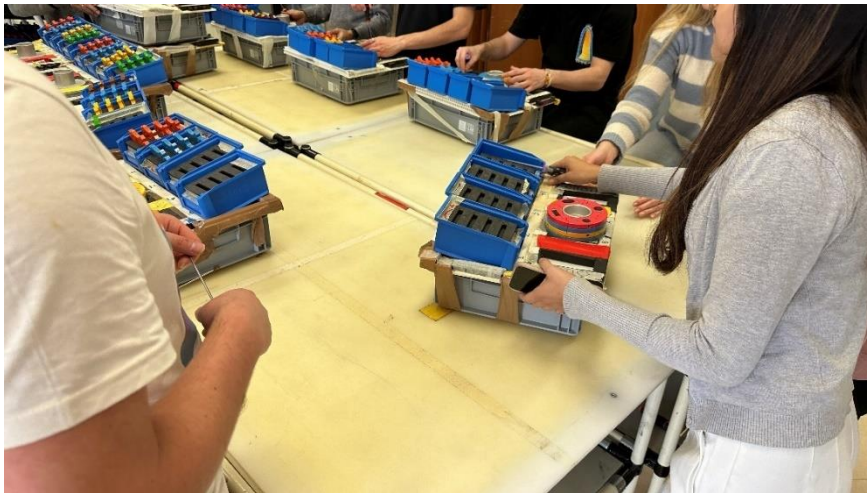


Ilustración 41. Paso del puesto 4 al 5. (Elaboración propia)

Cuando el operario de logística recibe el Kit con el Solectrón acabado, comprueba, como ya se explicó anteriormente, la calidad del montaje y procede a colocar el producto terminado en una bandeja donde esperará a que lleguen otros Solectrones para completar el lote y poder expedirlo (Ilustración 42).

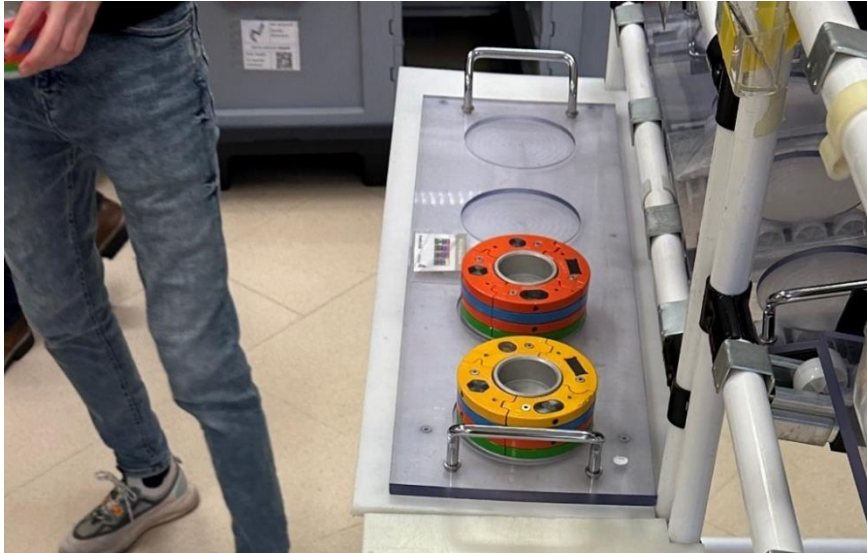


Ilustración 42. Bandeja Solectrones terminados (Elaboración propia)

Quando el lote está completo se hace la expedición de los Solectrones al cliente.

Ahora ya pasamos a la parte de reciclado del proceso, la cual comienza cuando se reciben los lotes del cliente para su reciclaje que se colocan también en bandejas y es el operario de logística el que las trasfiere al primer puesto de reciclaje (Ilustración 43).



Ilustración 43. Llegada a reciclado. (Elaboración propia)

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

Cuando el primer operario de reciclado recibe el Solectrón en su Kit (vacío) correspondiente procede a inspeccionar primeramente que el producto llegue en correcto estado para su reciclaje y comienza a desmontar. Para la línea de reciclaje, el nivelado de trabajo se hace algo distinto a la línea de montaje, este primer operario desmonta los Insertos de los Sectores del cuarto nivel y tres Sectores del mismo (Ilustración 44).



Ilustración 44. Primer operario reciclaje (Elaboración propia)

Posteriormente procede a pasar el Kit al siguiente puesto, segundo puesto de reciclaje, el cual desmonta el Sector del cuarto nivel que quedaba y los 4 Sectores del tercer nivel y un Inserto del segundo nivel, la situación final del segundo puesto de reciclaje a falta de desmontar el Inserto se puede ver en la Ilustración 45.

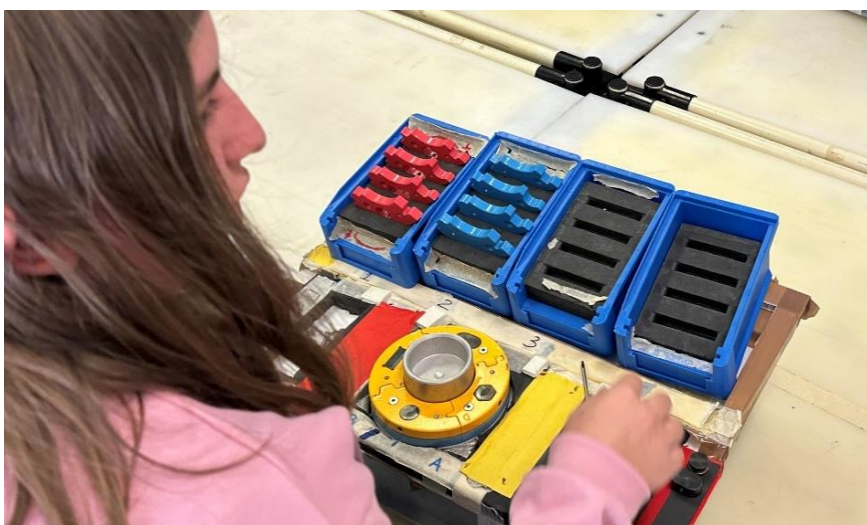


Ilustración 45. Segundo operario reciclaje (Elaboración propia)

CAPÍTULO 3. ESCUELA LEAN. FLUJOS, KITS Y ESTANDARIZACIÓN

Este operario pasa el Kit al tercer operario de reciclaje el cual lo recibe según se muestra en la Ilustración 46 y este desmontará los Insertos restantes y los Sectores del segundo nivel, para facilitar el trabajo al siguiente operario, siempre y cuando tenga tiempo, le ayudará desmontando un Sector más del primer nivel (Ilustración 47).



Ilustración 46. Tercer operario reciclaje (Elaboración propia)



Ilustración 47. Tercer operario reciclaje (Elaboración propia)

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

Tras esto, el Kit llega al cuarto y último operario de la línea de reciclaje (Ilustración 48) (apréciese que se ha reducido en uno los operarios en esta línea respecto a las primeras producciones), este operario desmonta los Sectores restantes (Ilustración 49) y procede a llevar a la lavadora la base del Solectrón (Ilustración 50) y las Gavetas y los Insertos (Ilustración 51).

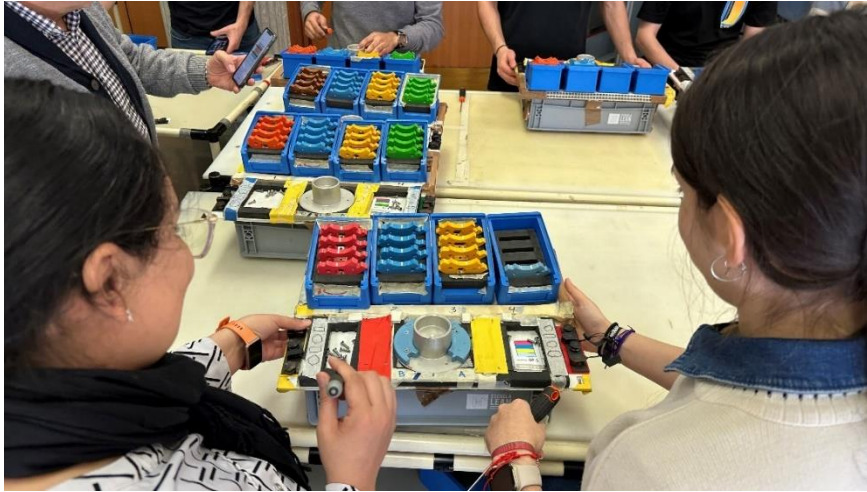


Ilustración 48. Paso al último puesto. (Elaboración propia)



Ilustración 49. Cuarto operario reciclaje (Elaboración propia)

CAPÍTULO 3. ESCUELA LEAN. FLUJOS, KITS Y ESTANDARIZACIÓN

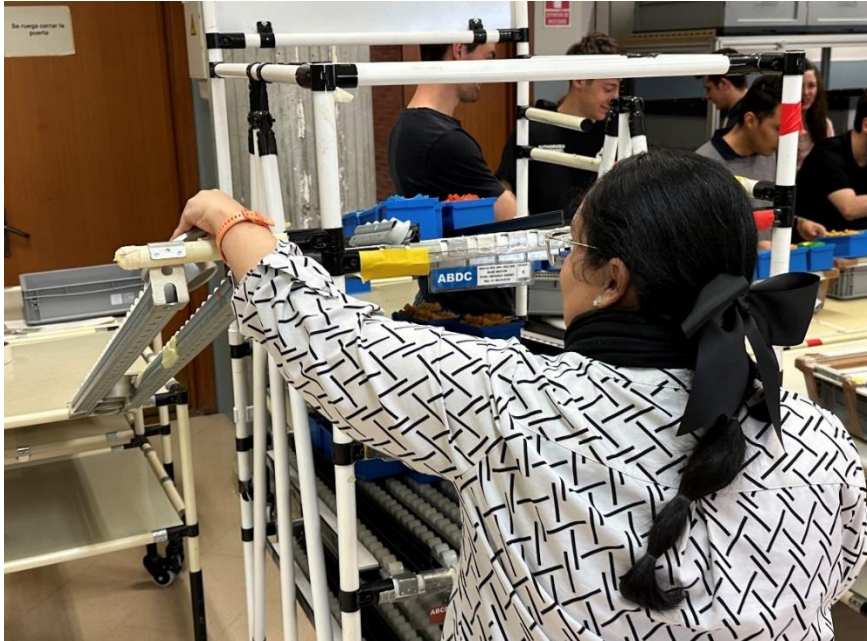


Ilustración 50. Cuarto operario reciclaje (Elaboración propia)



Ilustración 51. Cuarto operario reciclaje (Elaboración propia)

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

Con esto se acabaría el proceso de reciclado y volvería a repetirse el ciclo, así hemos visto como se ha estandarizado el proceso productivo del Solectrón haciendo uso de los Kits.

CAPÍTULO 4.
PROCESO DE DISEÑO

4.1 ESTADO DE LA TÉCNICA

Para comenzar este capítulo, en el que se tratará todo el diseño del Kit propuesto con motivo de este trabajo, será necesario primeramente analizar los Kits previos que existen y con los que actualmente se están trabajando.

Los Kits utilizados en la Escuela Lean ya se han podido ver en el desarrollo de las prácticas de los estudiantes, pero analizaremos en detalle el por qué se sigue esa distribución y daremos motivos para ver que el Kit final que se utiliza en las producciones es el óptimo y sobre el que trabajaremos intentando definir nuevamente los parámetros y haciéndolo más práctico y eficiente.

En la Ilustración 52 vemos una imagen del Kit desarrollado por los alumnos y el que, se propone como final después de todas las evoluciones de este que se llevan a cabo.

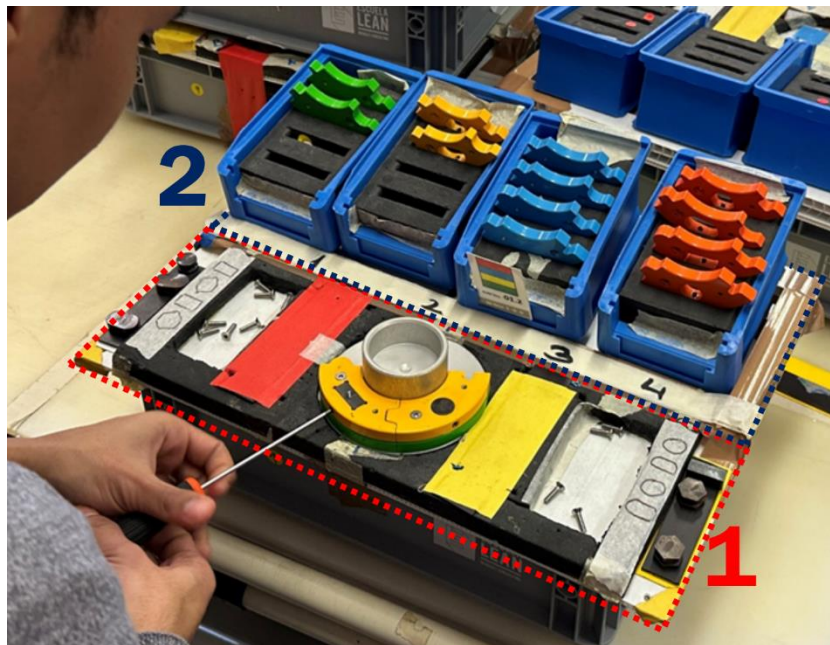


Ilustración 52. Kit primario. (Elaboración propia)

A este Kit del que estamos hablando lo podríamos considerar como el primario, desde el que se parte y el que se pretende analizar.

En el Kit presentado vemos como existe simetría, esto es un punto necesario ya que así y en concreto para el montaje y desmontaje del Solectrón, conseguimos simultaneidad de movimientos con ambas manos, esto le facilitará al operario su trabajo y lo podrá realizar en menor tiempo y con menor desgaste.

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

Se presenta una configuración en la que la base la podemos dividir en dos zonas, zona 1 y zona 2, tal y como se aprecia en la Ilustración 52, la zona 1 corresponde a la mitad del Kit más cercana al operario y la zona 2 del Kit a la más alejada y donde se situaran las Gavetas.

La configuración corresponde al principio de tener todo accesible y a la vista en este Kit eficaz, pero debemos de añadir que los elementos más alejados del operario (hablamos de la zona 2) son aquellos con los que se han de realizar menos movimientos, así conseguimos optimizar al máximo el proceso de montaje con el Kit.

Analizando la zona 1 tenemos: en la zona media, el Solectrón que se coloca sobre una hendidura con diámetro suficiente como para permitir que la base pueda girar, permitiendo al operario hacer las operaciones de manera sencilla; a ambos lados del Solectrón nos encontramos con los huecos que se reservan para situar los tornillos; más en los extremos tenemos unas placas de imán que sirven como espacio para situar los Insertos y evitar que se muevan y así poder meterlos en la lavadora, como se explicó en un epígrafe anterior.

La zona 2 se utilizará para posicionar las 4 Gavetas con los respectivos Sectores, también en esta zona existe una numeración del 1 al 4 marcando la posición de las Gavetas, con esto se consigue que se coloquen los sectores en el orden en el que se van a montar en el Solectrón, siendo el 1 para el primer nivel y el 4 para el último nivel que se monta.

Esta es la versión más desarrollada y a partir de ella se procederá a crear un modelo.

4.2 DISEÑO INICIAL

Al conocer los requerimientos del Kit que se nos marcaban en la producción, como ya se expuso, y teniendo en cuenta las necesidades y objetivos a cumplir se realiza un primer diseño.

4.2.1 DISEÑO 3D

El primer diseño se realiza con un programa llamado CATIA V5 que es un programa de Diseño Integral, que fue desarrollado por la empresa Dassault. Este programa cuenta con distintos módulos que disponen de distintas herramientas y

funcionalidades para trabajar con archivos de diseño, cálculo de estructuras, mecanizado, gestión del conocimiento y gestión del producto. El módulo de modelado sólido proporciona todas las herramientas para la creación de piezas y debido a las formas simples que se pretenden crear para el diseño del Kit, será el que se use principalmente. Este módulo se relaciona con el módulo de ensamblajes, el cual utilizaremos para unir en un producto final todas las piezas que se diseñen por separado en el módulo de modelado sólido.

Partiendo de las especificaciones se crean como vemos en la Ilustración 53 las zonas 1 y 2 de las que hablamos anteriormente en nuestro modelo primario del que partiríamos para realizar este diseño. Estas piezas las llamaremos base de la zona 1 y base de la zona 2.

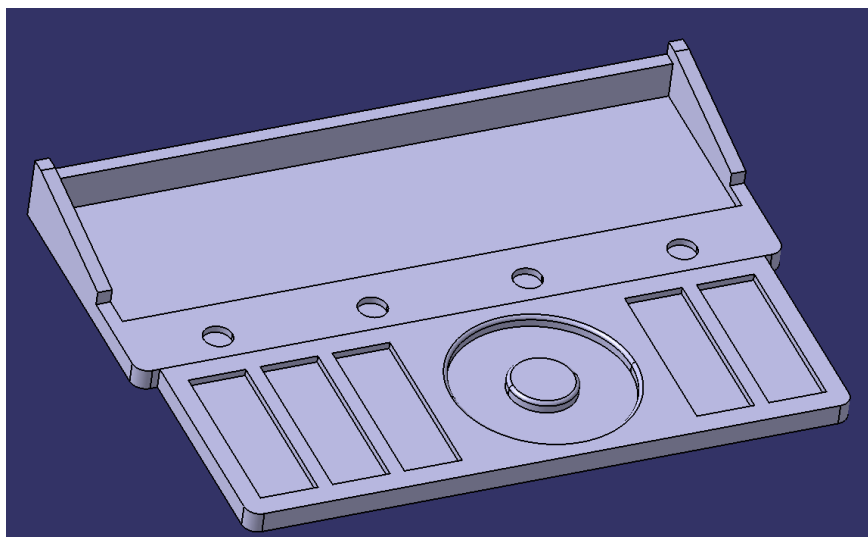


Ilustración 53. Primer diseño Catia (Elaboración propia)

Podemos ver como se introducen en la zona 1 las hendiduras correspondientes al Solectrón, de forma circular y con un saliente con la misma forma, pero menor diámetro, en el interior, ya que como se introdujo en el capítulo anterior, el Solectrón puede colocarse de dos modos, con esta forma circular que hemos creado, permitimos las dos maneras de colocación. Se crean los huecos que corresponden a las piezas que contendrán los tornillos e Insertos, tienen las mismas medidas para que las piezas sean intercambiables en posiciones, también al lado izquierdo de la vista se crea otra hendidura extra para la colocación de la tarjeta informativa del orden de montaje de ese Solectrón en concreto. Se crean de este modo las hendiduras, tres a un lado del espacio que corresponde al Solectrón y dos al otro lado. Se ha elegido que el grupo de tres esté a la izquierda de manera aleatoria ya que esto no influye en el modo de trabajo del operario, simplemente se desplaza

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

para su derecha el hueco del Solectrón y las cuatro hendiduras sobre las que trabajará, y tendrá la tarjeta informativa del orden de montaje en la hendidura del extremo izquierdo. Sea así o con dos hendiduras en el lado izquierdo y tres en el derecho del hueco del Solectrón, todo el proceso de montaje debe de realizarse con la misma configuración en los distintos kits, para facilitar y estandarizar el trabajo de los operarios. Nosotros hemos elegido trabajar y mantener en nuestro diseño la configuración que se aprecia en la Ilustración 53. Por tanto, gracias a los tamaños iguales de las hendiduras, nuestro Kit es modular y como veremos más adelante, se puedan colocar las diferentes piezas que se acoplan a esta zona en diferentes órdenes y posiciones.

En la zona 2 también se crean unas hendiduras circulares, de igual tamaño entre ellas, que sirven para colocar los números que indicaran el orden de las capas de los Sectores montados sobre la base del Solectrón. Estas formas circulares se crean de modo que sean del mismo tamaño para permitir nuevamente la intercambiabilidad de las piezas que se colocan en estos huecos. La forma circular es debido a la versatilidad que esta da frente a una pieza cuadrada en esta zona del Kit.

En la Ilustración 54 podemos ver las piezas circulares introducidas en las hendiduras pensadas para ellas, se aprecia también los números en cada pieza. La parte de detrás de esta zona 2 se crea con la forma que vemos en la Ilustración 54 para así permitir que la colocación de las Gavetas se realice con una ligera inclinación para facilitar el acceso, visual y de trabajo, a las mismas y permitir que el operario pueda trabajar con mayor facilidad y rapidez.

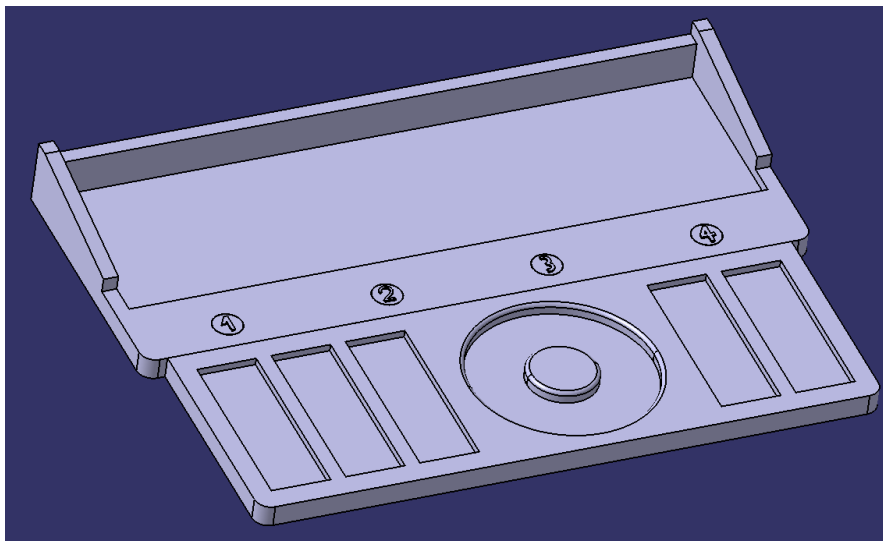


Ilustración 54. Primer diseño Catia (Elaboración propia)

Y ya en la Ilustración 55 mostramos todos los módulos tanto acoplados al Kit como los posibles intercambiables para las distintas configuraciones de Insertos.

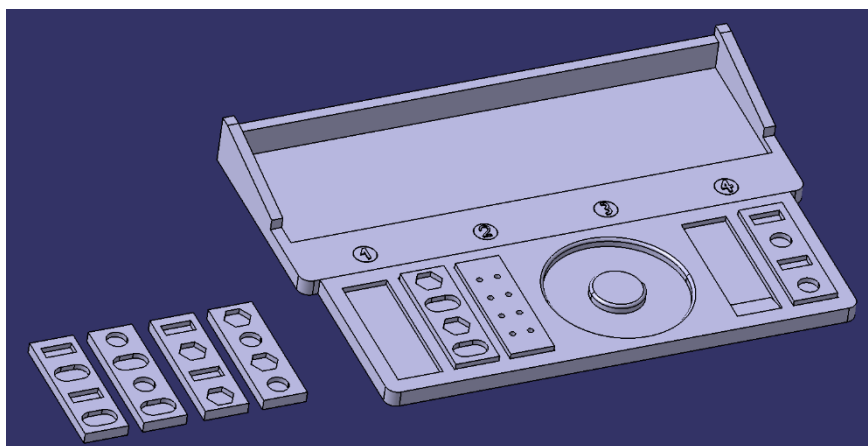


Ilustración 55. Primer diseño Catia (Elaboración propia)

Esta última Ilustración nombrada corresponde al diseño final ensamblado con las distintas piezas que lo forman, tenemos 6 piezas distintas para las posibles configuraciones de Insertos colocados dos a dos en cada pieza para así optimizar el montaje, estas piezas tienen unos huecos donde irán acoplados los Insertos, evitando que se caigan, guardando un orden y una configuración estandarizada y permitiendo para este proceso la introducción final en el proceso de lavado. También existen dos modelos posibles para la colocación de los tornillos que se usarán para fijar los Sectores, en la hendidura izquierda contigua al hueco correspondiente al Solectrón vemos una configuración de una pieza en la que se introducen 8 tornillos de manera vertical y con la cabeza en la parte superior, así los tendría organizados el operario de tal modo que colocando dos piezas de este modelo a cada lado le sería sencillo acceder con cada mano a los diferentes tornillos que necesitará con simultaneidad de movimientos. La otra configuración que se plantea posible también es la colocada a la derecha de la hendidura del Solectrón en esta misma Ilustración, consiste en una pequeña rampa que se acopla de la manera en la que es mostrada, facilitando así en acceso a los tornillos que se colocarían en la hendidura tal y como se hacía en el Kit primario, pero facilitando su extracción. Teniendo ya este modelo se procede a validarlo en cuanto a fabricabilidad se refiere.

4.2.2 IMPRESIÓN 3D

Tras finalizar el diseño que acabamos de presentar, pedimos opinión y comprobamos con expertos acerca de la fabricabilidad del modelo. En un principio no debería de existir ninguna pega para su implementación material y se procede a realizar el primer modelo físico. Para ello optamos por una tecnología que en un primer momento se nos presentó como la ideal, impresión 3D.

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

Nos encontramos la limitación primera de que las impresoras, basadas en la tecnología mencionada, de las que disponemos en la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid tienen una cama (base sobre la que la impresora realiza el modelo y por tanto limitante en las dimensiones x e y) que no es suficiente como para realizar al completo y con las medidas de las piezas que inicialmente hemos pensado para el diseño del Kit. Es por ello por lo que optamos por la tecnología de impresión 3D para las piezas pequeñas y se cambia la tecnología para las dos bases que nos dan problemas por sus medidas. Para estas bases utilizaremos la tecnología de corte láser en madera (material que no es óptimo para la función que se le dará al Kit) que sí que admite las medidas con las que se quiere fabricar.

Las piezas, que se introducirán en las distintas bases de las zonas, sí son posibles por tamaño imprimirlas y a continuación se narra el proceso.

Primeramente, las piezas se exportan del programa que estamos usando en formato STL para que la impresora 3D pueda reconocer la pieza. Estos ficheros se introducen en un Software llamado UltiMaker y ahí se colocan en la posición en la que se imprimirán y se le da los valores para las condiciones de impresión, estas cosas las vemos respectivamente en las Ilustraciones 56 y 57.

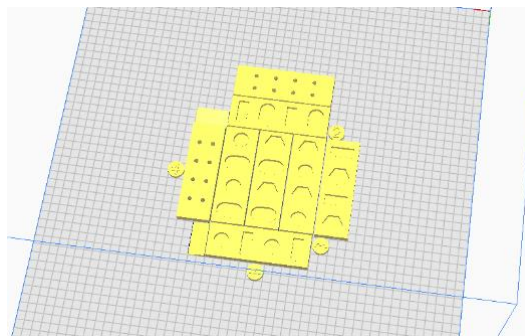


Ilustración 56. Software UltiMaker (Elaboración propia)

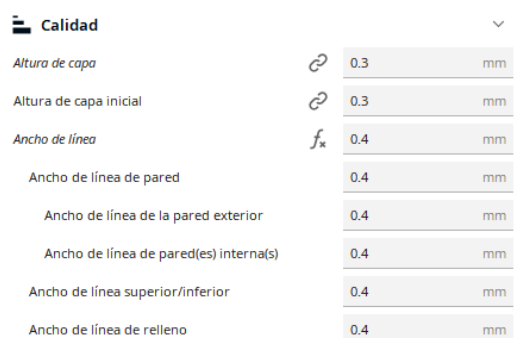


Ilustración 57. Ajustes de impresión (Elaboración propia)

Cabe mencionar que el material plástico que se utilizará para la impresión es PLA y comercialmente para su uso en impresión 3D se vende en bobinas. Este material debe de ser sometido a unas condiciones térmicas para que se pueda usar para la impresión. Las condiciones de esta impresión son como se ven en la Ilustración 58.

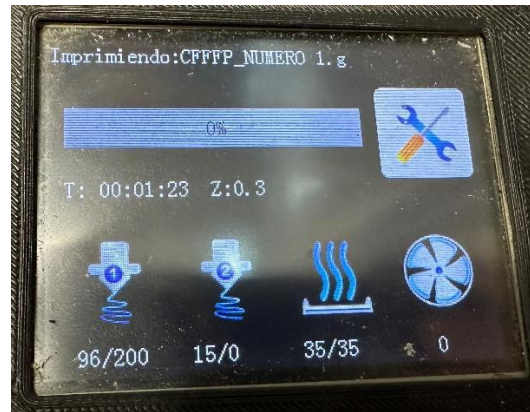


Ilustración 58. Condiciones de impresión (Elaboración propia)

La boquilla por la que saldrá el material deberá estar a 200 °C. La cama, que es la superficie sobre la que se imprime, tiene que estar a 35 °C, y alcanzadas estas temperaturas se procede a imprimir nuestras piezas.

El proceso por tanto está preparado para empezar. La impresión 3D funciona por adición de material en capas, así vemos en la Ilustración 59 la primera capa que se da de material sobre la cama y en la Ilustración 60 vemos cuando el proceso de impresión va más avanzado y ya se han dado más capas, se aprecia como las piezas van tomando forma.

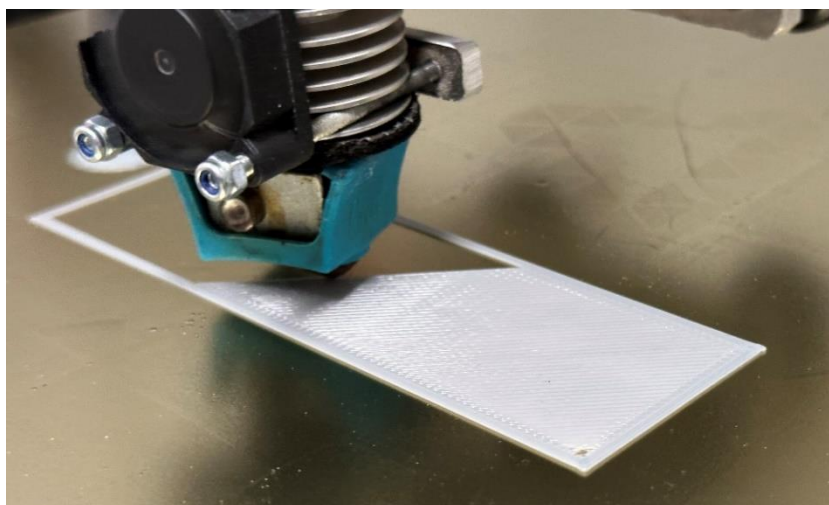


Ilustración 59. Primera capa impresión (Elaboración propia)

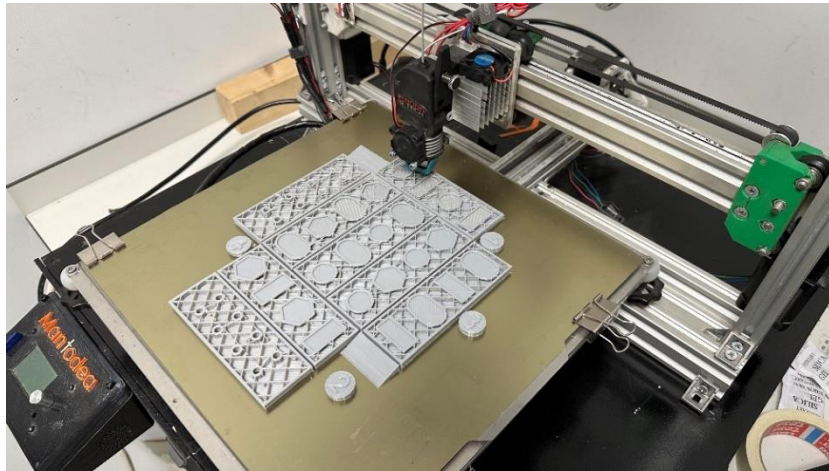


Ilustración 60. Piezas impresión 3d (Elaboración propia)

Tras finalizar esta impresión las piezas quedarían tal y como se muestran en la Ilustración 61.

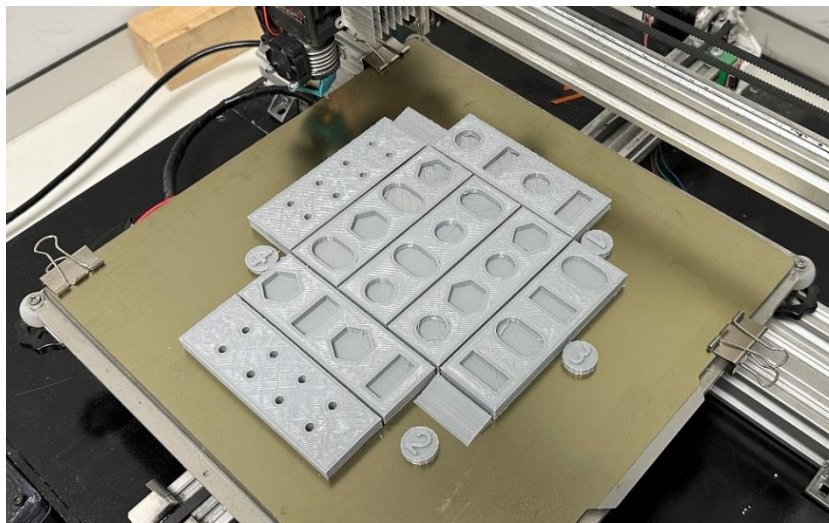


Ilustración 61. Piezas primera impresión (Elaboración propia)

4.2.3 CORTE LÁSER

Para las bases de la zona 1 y la zona 2, como ya se ha comentado, debido a sus medidas no se pueden imprimir con los medios de los que disponemos, es por ello por lo que la solución que se da es fabricarlo con corte laser en madera y así comprobar de manera provisional que el modelo es correcto.

Para la tecnología del corte láser deberemos de saber que su funcionamiento se basa en la concentración de una fuente de luz de alta potencia sobre la superficie que vamos a cortar, de esta manera podemos cortar superficies planas a nuestro gusto. Esta es la solución que hemos dado a nuestro problema de no poder imprimir las bases de las zonas 1 y 2, ya que son superficies planas. Para conseguir las formas deseadas de las hendiduras que existen y demás formas se realiza el proceso mediante sucesivos cortes con láser y después se procede a pegar un corte sobre otro para así conseguir el resultado que queremos. Vayamos por partes viendo el proceso para poder entenderlo de mejor manera.

Para poder comenzar es necesario disponer de archivos con extensión CAD, estos archivos se exportan nuevamente de la aplicación Catia con la que hemos estado trabajando. Son archivos de las piezas a las que nos estamos refiriendo. Se hacen secciones las cuales cortaremos en el material para después pegarlas una encima de otra y así tener realizada nuestra pieza. Dado que, llegados a este punto, sabemos que este diseño se convertirá en un prototipo al no disponer de la tecnología adecuada para la realización del Kit de una manera eficaz y de una forma más industrializada, el material elegido será madera por su bajo coste.

Los archivos CAD los importamos al Software de la cortadora láser para que realice los cortes según se ha diseñado, es decir, el laser o haz de luz pasará por los trazos de nuestros archivos CAD. Esto lo podemos ver en la Ilustración 62. En ese caso se corresponde a las piezas que compondrán la base de la zona 2.

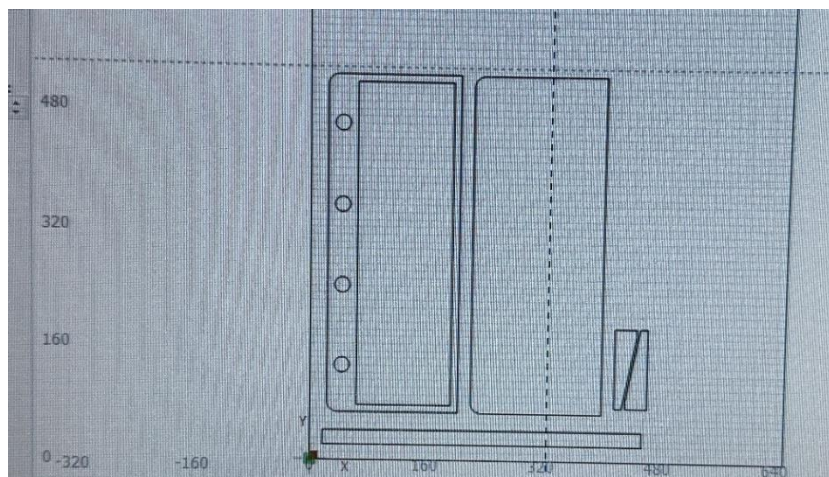


Ilustración 62. Archivos CAD corte láser (Elaboración propia)

Una vez que el Software compila nuestro diseño comienza a cortar la máquina de manera muy precisa como se aprecia en la Ilustración 63.

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

Tras poner en funcionamiento la máquina, notamos que debido al material usado, y su pequeño grosor, el haz de luz está quemando en cierto modo la madera, es por ello por lo que se introduce un chorro de oxígeno a presión justo al lado del láser. Con esta corrección pretendemos que el láser reciba más oxígeno para poder cortar más, evitar que la lente del láser se ensucie y enfriar también en cierto modo la zona de corte. Esto último al ser madera evitará ese quemado del que estamos hablando y que vemos en la Ilustración 64, se aprecia claramente como cambia el corte al introducir el oxígeno a presión. Si el material cortado fuera plástico, el enfriamiento de la zona de corte ayudaría a que las superficies cortadas no se volvieran a unir instantáneamente debido al derretimiento de material que se produciría si la temperatura fuera muy elevada en la zona próxima al haz de luz.

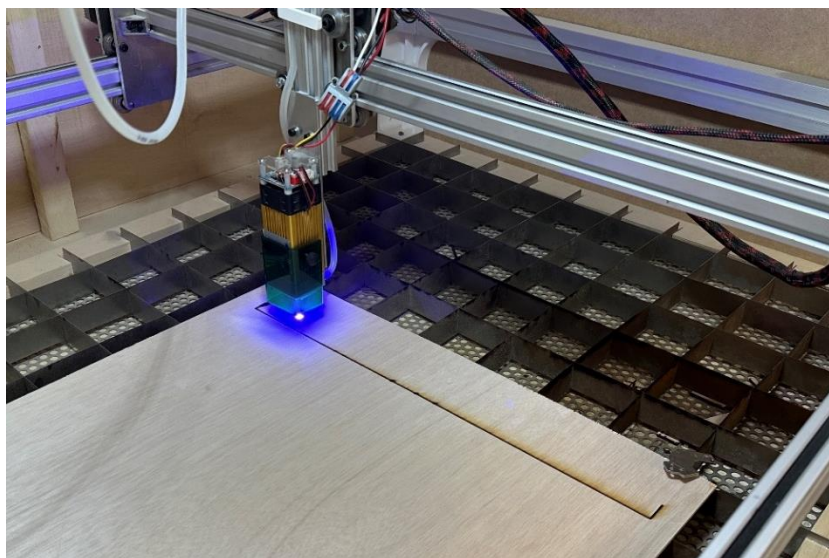


Ilustración 63. Inicio del corte láser (Elaboración propia)

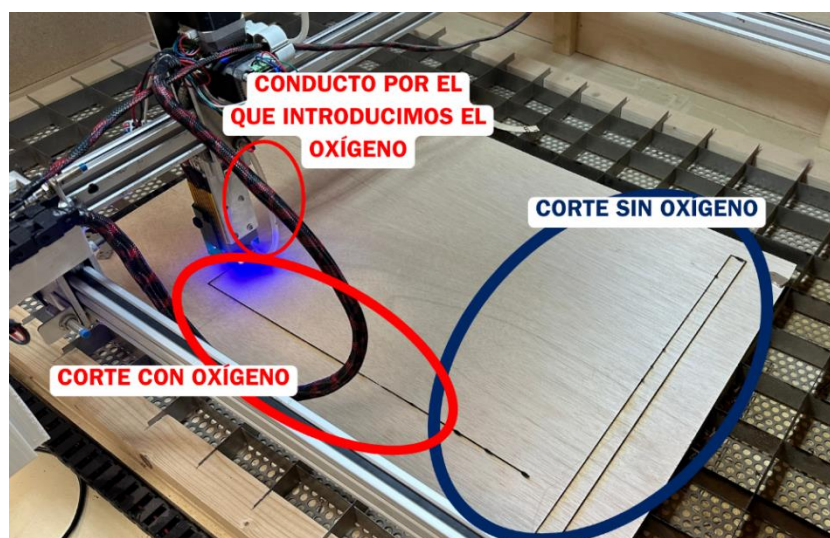


Ilustración 64. Corte añadiendo oxígeno (Elaboración propia)

Podemos ver el corte más avanzado en la Ilustración 65. Tras tener todos los cortes hechos, se procede a pegar las partes.

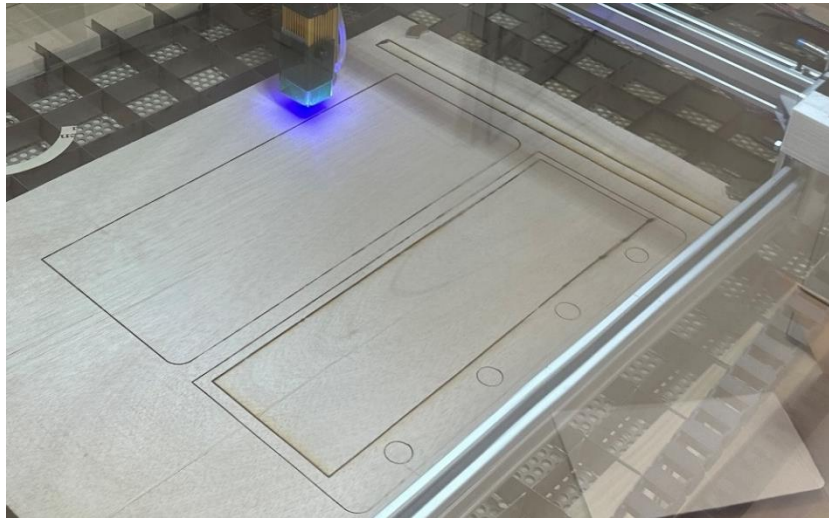


Ilustración 65. Corte láser (Elaboración propia)

Al pegar las partes obtenemos las bases de las zonas 1 y 2 que se muestran finalizadas en la Ilustración 66, de este modo ya tendríamos nuestro primer diseño totalmente fabricado y el que posteriormente se analizará para continuar con nuestro proceso de diseño. En la Ilustración 67 se muestra el modelo del Kit fabricado con las correspondientes partes realizadas por las distintas tecnologías de las que hemos hablado.



Ilustración 66. Bases con corte láser (Elaboración propia)

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

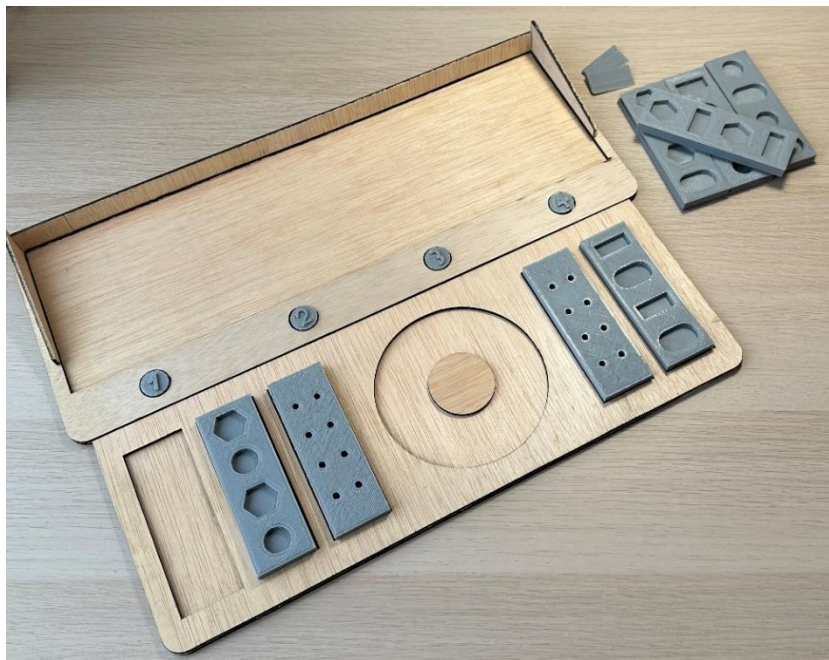


Ilustración 67. Primer Kit fabricado (Elaboración propia)

Este primer Kit fabricado no cumple con los requerimientos y objetivos que teníamos marcados, pero vemos como sí se consigue materializar y tenemos de este modo nuestro diseño inicial de manera tangible para analizarlo.

CAPÍTULO 5.
PROCESO DE FABRICACIÓN

5.1 MODIFICACIÓN DEL DISEÑO Y AJUSTES

5.1.1 MODIFICACIÓN DEL DISEÑO 3D

El primer diseño pasa un proceso de validación primaria tras el cual se opta por introducir mejoras y modificar el diseño, mínimamente en algunas medidas y también por las cuestiones técnicas limitantes en cuanto a longitud para su impresión en 3D. Para ver este flujo de validación y comprender un poco más el proceso de diseño nos podemos fijar en la Ilustración 68, que representa el flujo que se sigue para el diseño y modificaciones del Kit.



Ilustración 68. Flujo proceso de diseño (Elaboración propia)

El problema en este primer diseño viene de las limitaciones técnicas que nos hemos encontrado en la materialización del diseño inicial. Las impresoras 3D de las que disponemos en la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid tienen una cama que no es suficiente como para realizar al completo las bases de las Zonas 1 y 2 como ya se comentó. Es por ello por lo que optamos por la modificación del diseño inicial, para que, en una cama cuadrada de 25 centímetros de lado, podamos imprimir por partes el modelo al completo.

Para conseguir que el modelo sea igualmente funcional se opta por hacer divisiones en las bases de las zonas, esto es lo que nos da el problema ya que las otras piezas para los tornillos y para introducir los Insertos ya se ha visto cómo es posible su materialización tal y como se plantearon en un principio.

Creando en cada base un corte para dividir las bases en dos conseguimos vencer la limitación impuesta por la cama de las impresoras de las que disponemos.

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

Ahora bien, la unión que debemos realizar para estas piezas tienes que permitirnos la correcta funcionalidad del kit y ser lo suficientemente robustas como para funcionar bajo las condiciones a las que van a ser sometidas. Las distintas posibilidades que nos encontramos aquí son muchas, pero buscando la sencillez y también teniendo en cuenta la fabricabilidad de las piezas se opta por hacer distintas versiones de estas.

La primera versión que se realiza y por ser la más simple de todas es la de realizar un corte en la mitad de cada base con una superficie lisa. Véase en las Ilustraciones 69 y 70 del diseño realizado en la misma aplicación que se usó en el diseño inicial y que se usará en todas las modificaciones que se hagan sobre el diseño en este trabajo.

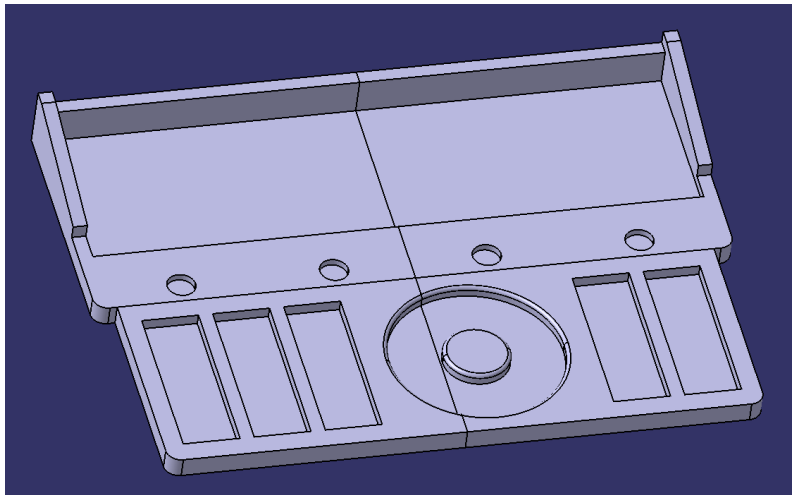


Ilustración 69. Bases con corte de superficie lisa (Elaboración propia)

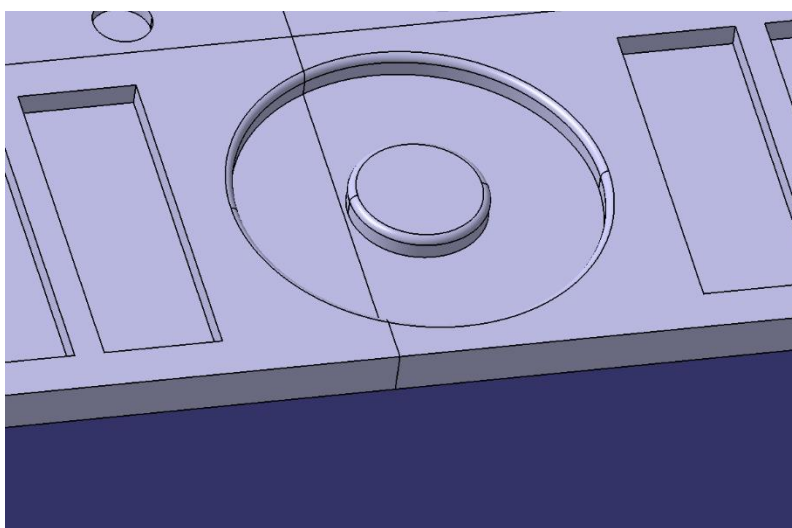


Ilustración 70. Detalle de corte de superficie lisa (Elaboración propia)

Esta opción es válida y cumple con todos los requisitos, pero debido a que la superficie de corte se deberá unir con algún tipo de pegamento nos interesa que la superficie sobre la que se va a sustentar la unión con pegamento sea mayor para así conseguir más rigidez y evitar cualquier tipo de rotura por la unión una vez se peguen las piezas.

Se piensa en introducir elementos de unión en relieve en ese corte con superficie lisa, así se ampliará la superficie de contacto entre las dos piezas que componen la base.

Creamos otra modificación con una unión en «cola de milano». Esta unión de por sí no necesitaría pegamento para permanecer unido y nos daría la ventaja de ser desmontable, pero al no tener tampoco necesidad de hacer la pieza desmontable esta unión junto a un refuerzo con pegamento hará que esta versión sea más robusta que la anterior. Véase en las Ilustraciones 71, 72 y 73.

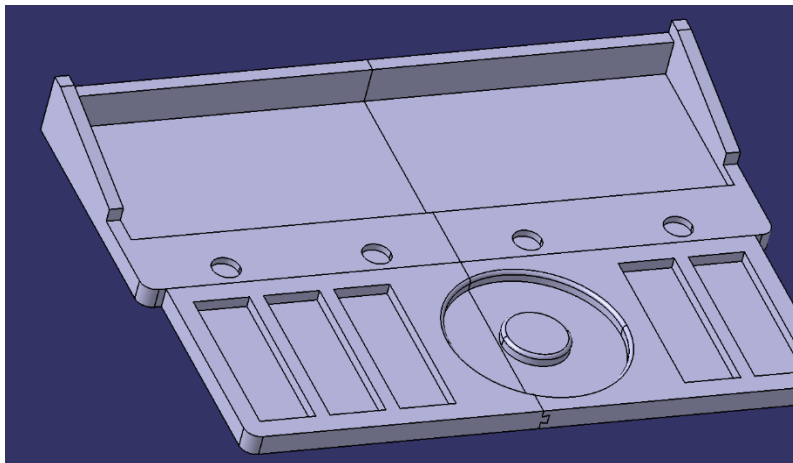


Ilustración 71. Bases con corte «cola de milano» (Elaboración propia)

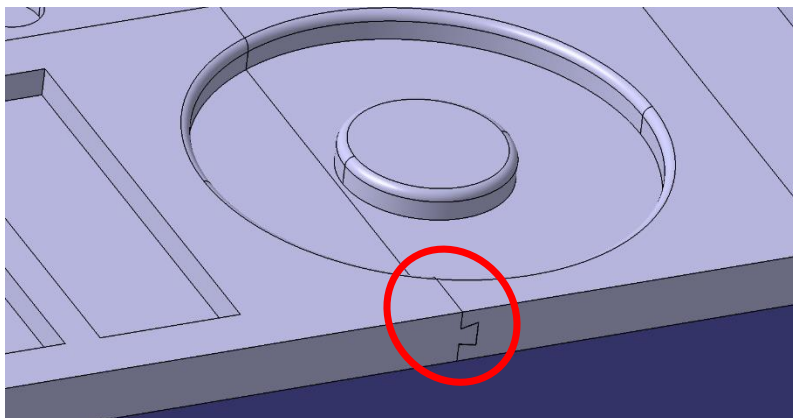


Ilustración 72. Detalle de corte base Zona 1 (Elaboración propia)

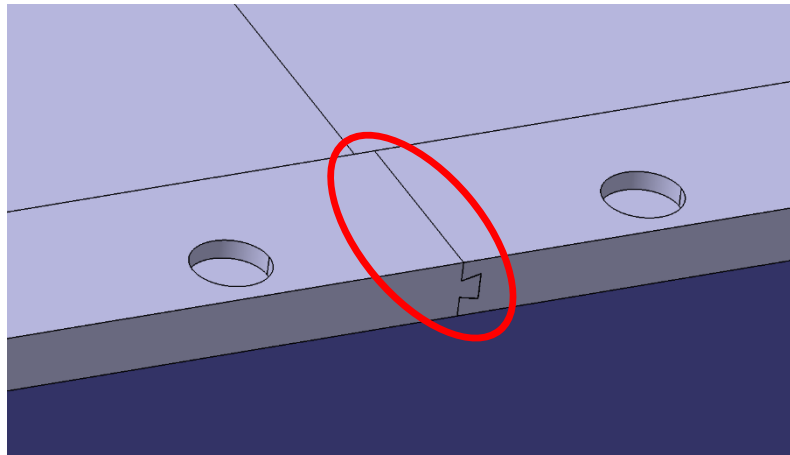


Ilustración 73. Detalle de corte base Zona 2 (Elaboración propia)

La Ilustración 71 corresponde con una vista general de las bases con el corte introducido.

La Ilustración 72 corresponde con una vista cercana a la base de la Zona 1 en la que se puede apreciar con mayor detalle cómo es la forma del corte con «cola de milano». Por motivos físicos del diseño de la propia pieza sólo se podrá implementar esta unión en la zona marcada en la propia Ilustración, el resto es superficie lisa de corte ya que, si no fuera así, no se podría deslizar la pieza horizontalmente para conseguir encajar la unión.

La Ilustración 73 corresponde con una vista cercana a la base de la Zona 2 en la que se puede apreciar también como en esta otra base se lleva a cabo este corte de igual manera, siendo la zona marcada, la zona en la que se introduce esta forma de corte, el resto es superficie de corte lisa.

Llegados a este punto se realiza otra versión, en la que se toma de referencia la anterior que hemos descrito y se modifica únicamente la superficie de unión de la base de la Zona 1. Como se ha visto, por limitaciones físicas, esta pieza sólo podía tener una única zona bastante reducida con unión en «cola de milano», es por ello por lo que se modifica y se introducen dos uniones en las que las uniones salientes y entrantes tendrán forma de prisma. De esta manera la superficie en contacto de la unión es mayor. Para fijar esta unión sí es necesario el pegamento para restringir su movimiento. Vemos gráficamente en las Ilustraciones 74 y 75 como es el diseño de esta unión.

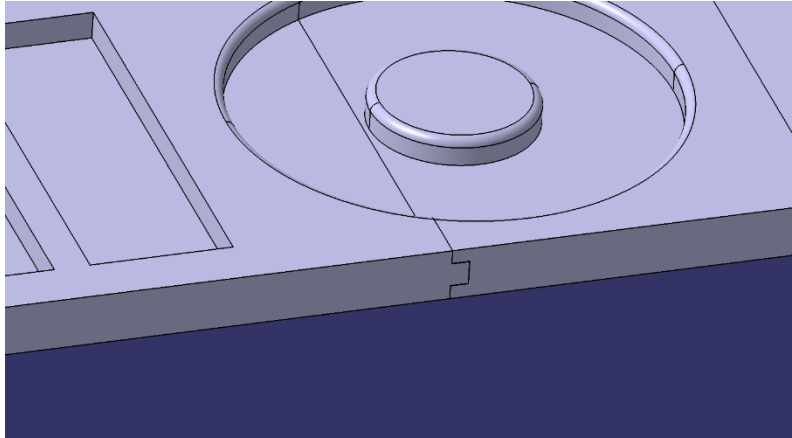


Ilustración 74. Base con corte con forma de prisma (Elaboración propia)

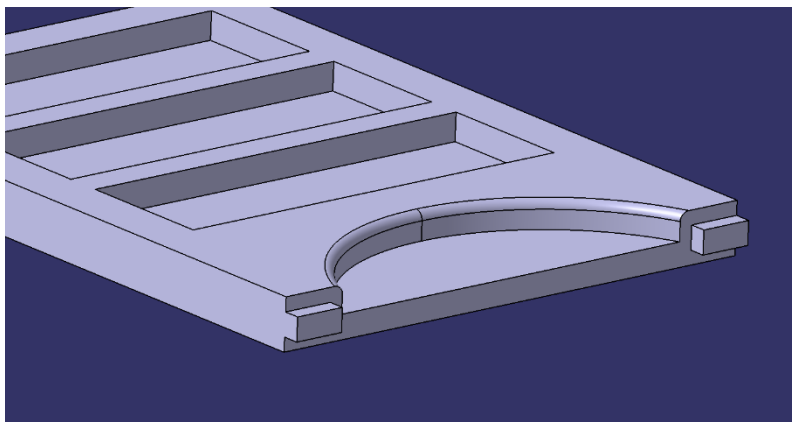


Ilustración 75. Detalle de corte con forma de prisma (Elaboración propia)

Con estas modificaciones se tienen ya las versiones que pueden realizarse con impresión 3D dentro de las limitaciones con las que nos hemos encontrado.

5.1.2 PRIMERA IMPRESIÓN 3D

Tras tener los diseños de las distintas versiones listos, elegimos como el más viable y el mejor el último que se describió en el epígrafe anterior, la versión que lleva unión de «cola de milano» en la base de la Zona 2 y la unión con forma de prisma en la base de la Zona 1.

Esta impresión no se realizó con las mismas impresoras con las que realizamos, en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, las piezas del diseño inicial. La impresión 3D se llevó a cabo en el Fablab de la Universidad de Valladolid, ubicado en el Campus Miguel Delibes de esta misma universidad. Se opta por la impresión en sus instalaciones y con sus máquinas de impresión ya que al haber depurado el modelo inicial y querer que esta impresión

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

sea la versión final del kit, la calidad que nos ofrece el Fablab en las piezas finales es más que superior.

De nuevo la impresión se realiza a partir de archivos en formato STL para que la impresora 3D pueda reconocer la pieza. Se usó esta vez el Software llamado Bambu Studio donde se han laminado las piezas para pasar a la impresión. Vemos las piezas en el Software mencionado en las Ilustraciones 76, 77 y 78. Como dato reseñable, se usa una altura de capa de 0,2 milímetros, esta altura será común para las cinco impresiones que se realizaron, ya que nuevamente la cama de las impresoras es de forma cuadrada de 25 centímetros de lado y es necesario realizar las piezas en cinco impresiones distintas.

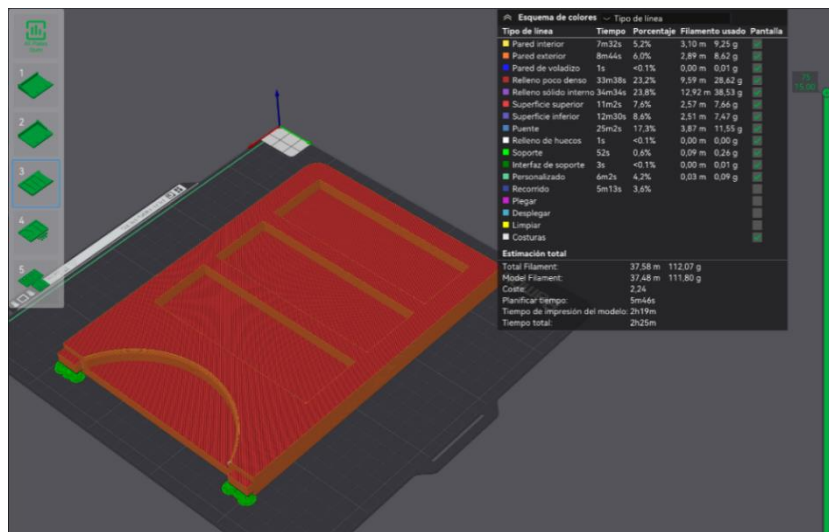


Ilustración 76. Bambu Studio (Elaboración propia)

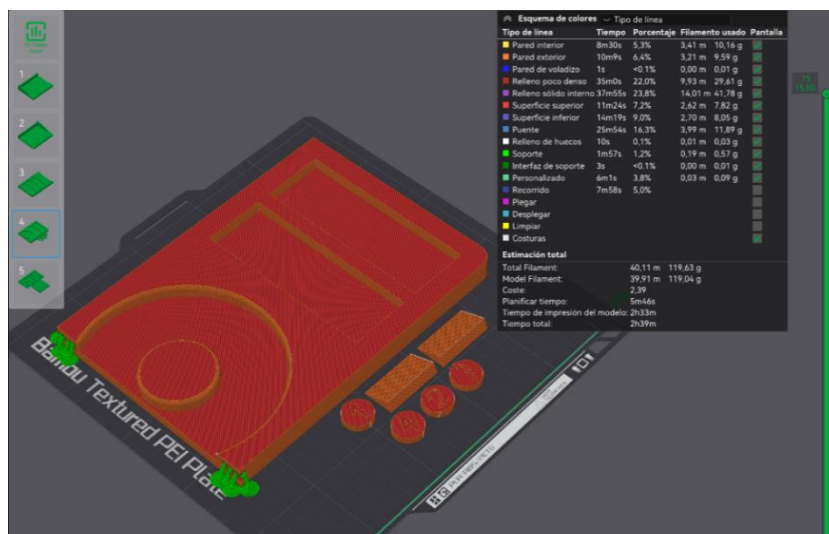


Ilustración 77. Bambu Studio (Elaboración propia)

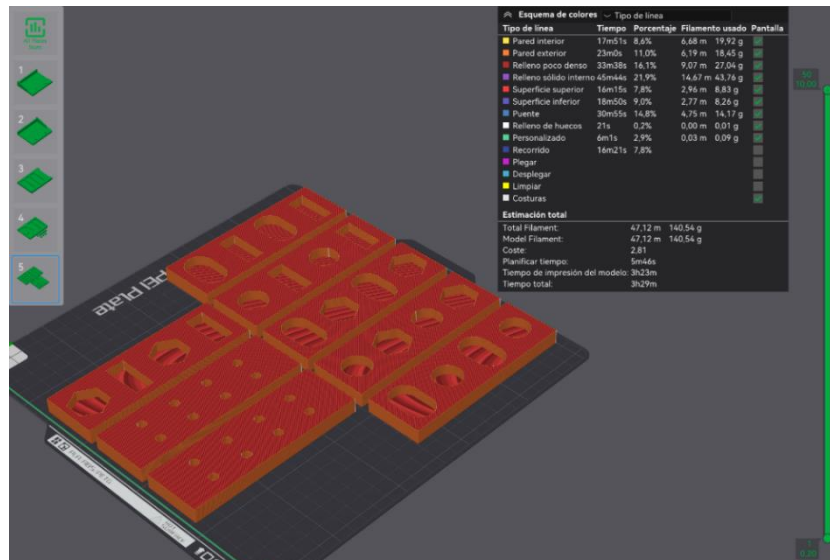


Ilustración 78. Bambu Studio (Elaboración propia)

Analizando los datos sabemos que, para obtener este modelo, tendremos que emplear en la impresión un total de 684,30 gramos de filamento PLA el cual es reciclado, ya que queremos alinear el proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenibles. Este material reciclado tiene un coste de 0,02 €/g, por lo que incurrimos en un coste de 13,686 €. También como se aprecia en las Ilustraciones 76, 77 y 78 podemos conocer otros datos de cada impresión, por ejemplo, el tiempo que tardará en realizarse el coste de cada impresión y el material gastado en cada impresión entre otros valores.

Comenzado la impresión es simplemente dejar funcionar a las máquinas y esperar el tiempo marcado para obtener el resultado. En la Ilustración 79 vemos como trabaja una impresora del FabLab y la estructura interna de la pieza, ya que no es maciza.



Ilustración 79. Impresión en Fablab (Elaboración propia)

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

En las Ilustraciones 80, 81 y 82 se puede ver el modelo ya impreso y funcional.



Ilustración 80. Modelo 3D Fablab (Elaboración propia)



Ilustración 81. Modelo 3D Fablab (Elaboración propia)



Ilustración 82. Modelo 3D Fablab (Elaboración propia)

5.1.3 SEGUNDA IMPRESIÓN 3D

Una vez teniendo la versión impresa en Fablab, planteamos la opción de intentar buscar una impresora que tenga la capacidad suficiente como para llevar a cabo el proyecto de una sola impresión. Estamos hablando de una impresora de grandes dimensiones y que al menos sea el doble de grande de la que hemos estado utilizando en las anteriores impresiones. En el momento en el que se realiza este trabajo se consigue utilizar una impresora recién instalada y montada por la Escuela de Ingenieros Industriales de la Universidad de Valladolid.

La impresora a la que nos referimos cuenta con una cama, es decir, la superficie útil sobre la que se puede realizar la impresión, cuadrada de 50 centímetros de lado. Es una máquina de importantes dimensiones que es adecuada para realizar el proyecto tal y como se diseñó en Catia sin tener las limitaciones de tamaño.

Dado que esta máquina es de reciente montaje en la Escuela y no es un producto de alguna marca, no tiene un Software específico para ella, se usará UltiMaker tal y como en la primera impresión realizada en las instalaciones de la Escuela. Los parámetros para esta impresora aún no están del todo definidos y es un proceso de prueba y error dar con los precisos.

A continuación, veremos algunos de los problemas que han surgido durante esta impresión.

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

Al querer imprimir toda la pieza según la Ilustración 83, nos damos cuenta de que lo más probable es que no se pueda llevar a cabo así tal y como se muestra.

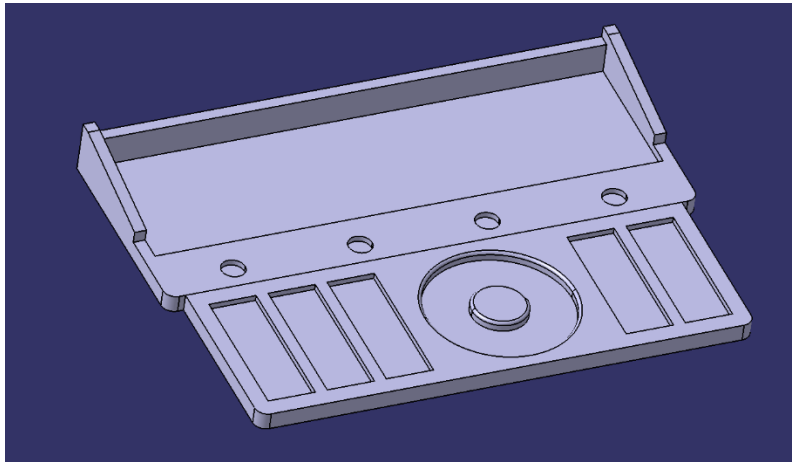


Ilustración 83. Diseño en Catia V5 (Elaboración propia)

La limitación aquí nos la da el tamaño de la pieza completa. Al tener una superficie tan grande, y realizarse con impresión 3D, lo más probable es que mientras se lleva a cabo la impresión, la pieza se desprege de la cama. El PLA, material del que ya hemos hablado, sale de la boquilla de la impresora a una temperatura de 200 °C, temperatura en la que el material se encuentra fundido, a medida que se va imprimiendo, el material que se ha depositado ya, creando la figura del archivo STL, se va solidificando y por tanto se comprime. Existen unos esfuerzos de compresión en la base de la pieza que se pretende realizar debido a esta solidificación del material. Estos esfuerzos son insignificantes en piezas de menor tamaño ya que calentando la cama de la impresora a 35 °C se consigue disminuir su efecto. En una pieza de tal superficie de contacto con la cama, como es la que se ha diseñado, lo más probable es que los esfuerzos sean tan grandes que no nos permitan realizar correctamente la impresión.

Para solucionar este posible problema se opta por imprimir la base de la Zona1 y la base de la Zona 2 por separado en vez de ser todo un mismo conjunto.

Esta medida tampoco solucionó del todo el problema. Tras 3 intentos fallidos debidos al problema que hemos comentado, fuimos regulando la temperatura de la cama hasta dar con la óptima para esta pieza y ya en el cuarto intento poder imprimir sin ningún tipo de problema de despegue de la cama.

Se muestra en la Ilustración 84 como en el primer intento, los esfuerzos fueron tales que acabaron rasgando el PLA ya solidificado.

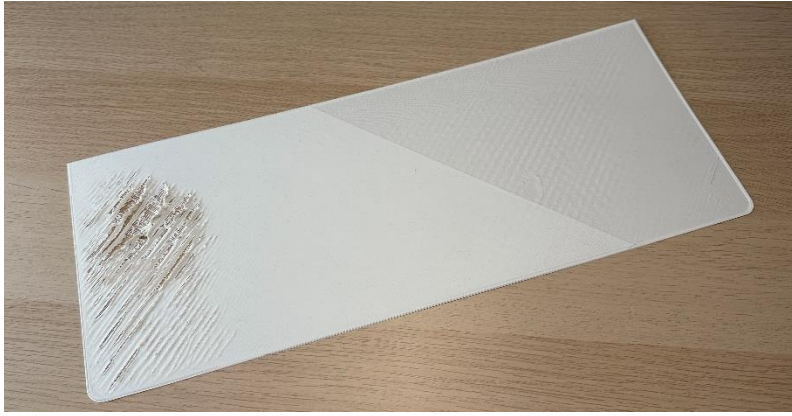


Ilustración 84. Intento fallido impresión 3D (Elaboración propia)

Se muestra también en la Ilustración 85 el segundo intento, que al regular la temperatura no llegó a rasgar, pero si se despegó claramente.



Ilustración 85. Intento fallido impresión 3D (Elaboración propia)

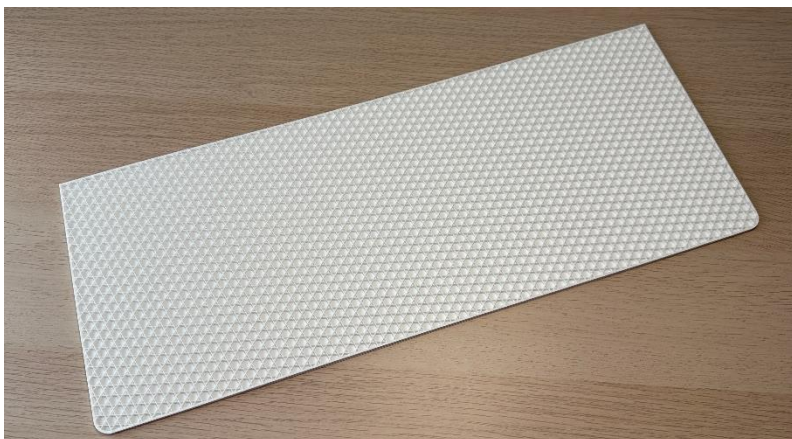


Ilustración 86. Intento fallido impresión 3D (Elaboración propia)

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

Y en el último intento fallido el nivel de consecución fue mayor pero nuevamente se despegó cuando estaba solidificando la estructura interna (Ilustración 86).

Cuando ya se consiguió imprimir, las piezas resultantes de las bases no tendrían unión como nos pasaba en las anteriores. Se ve en la Ilustración 87 como esto se consigue, pero también se aprecia como las piezas no son funcionales. No es un error en el diseño ni en el archivo STL, esto se debe a un error del Software de impresión que simplemente hizo que las piezas salieran de este modo.



Ilustración 87. Kit impresión 3D (Elaboración propia)

Aún sin ser funcionales se demuestra como con la tecnología y los parámetros adecuados se puede conseguir la materialización del kit de una sola pieza.

5.1.4 CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA - CNC

Tras las impresiones en 3D, y viendo factible poder realizar el modelo de una sola pieza, pensamos como podríamos conseguir esto de una manera más robusta. La solución reside en otra tecnología, el Control Numérico por ordenador (CNC), esta tecnología se conoce comúnmente como fresado.

Nos encontramos ante una buena opción para realizar nuestro kit, ya que las formas de las bases y de las piezas permiten a la tecnología CNC poder realizar las formas necesarias e incluso para recortar los exteriores de las piezas.

En las instalaciones del Fablab de la Universidad de Valladolid se dispone de esta tecnología, es por ello por lo que se pretende materializar, el kit con estos medios y en estas dependencias. Los archivos necesarios son los mismos que se utilizaron para la última impresión en 3D realizada en la Escuela de Ingenierías Industriales, ya que las bases se ejecutaran de una sola pieza cada una. Esta vez el material sobre el que se realizará el fresado será metacrilato.

Nuevamente aparece el problema de las limitaciones técnicas de las máquinas para poder realizar el modelo.

La fresadora del Fablab no consigue eliminar el suficiente material, es decir, no llega a fresar a la profundidad necesaria para nuestra pieza.

En la Ilustración 88 vemos como ocurre esto que venimos mencionando.

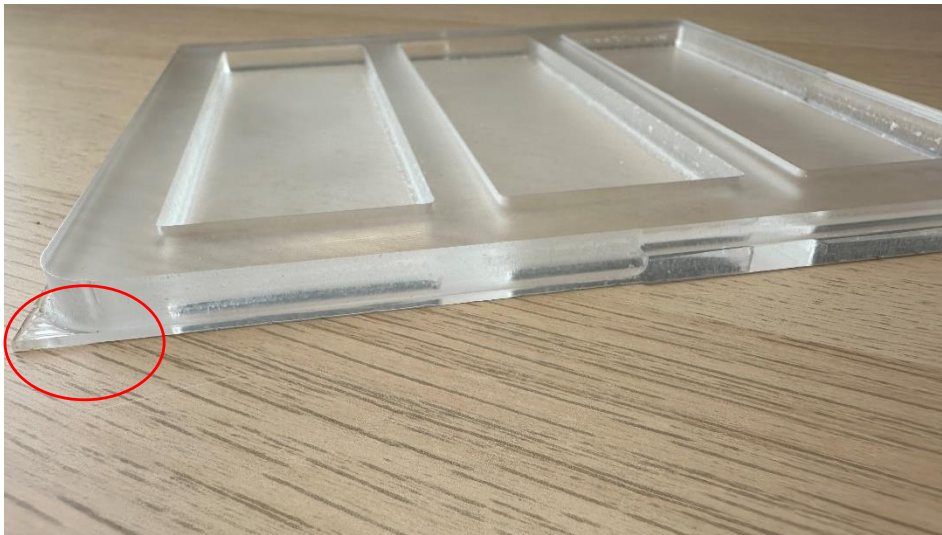


Ilustración 88. Fresado incompleto Fablab (Elaboración propia)

Si se puede realizar los huecos interiores, pero no podemos llegar a la profundidad necesaria para delimitar el exterior de la pieza.

Para dar solución a este problema se plantea usar en conjunto con el CNC una tecnología ya usada en el desarrollo de este trabajo, el corte láser. Tampoco conseguimos nuestro objetivo ya que las diferentes máquinas de corte láser de las que disponemos en la Escuela y en Fablab no son válidas, el láser de ambas no tiene

la suficiente potencia como para profundizar y cortar la lámina de 1 centímetro de metacrilato que estamos usando.

Es por ello por lo que tras hacer la prueba se concluye que con la tecnología que tenemos al alcance no se puede ejecutar el kit de esta forma.

En este capítulo trataremos de abordar la validez de todos los modelos descritos con anterioridad y de qué manera sería posible crear un modelo válido en caso de que este, en un principio, no lo fuera. Así mismo se concluirá con la mejor alternativa posible de kit.

5.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y VALIDACIÓN

5.2.1 PRIMER MODELO, CORTE LÁSER EN MADERA

Como ya se ha visto, este primer modelo se crea, debido a una primera limitación que nos encontramos y se usará para corregir medidas o introducir cambios en el diseño con los siguientes modelos. Este primer modelo no deja de ser una especie de prototipo sobre el que se basó el rediseño de ajuste que se llevó a cabo para poder vencer las limitaciones técnicas de las impresoras 3D.

Como alternativa válida, lo tenemos que rechazar, ya que se cambian posteriormente medidas ya que se ve que no concuerda del todo con el propósito que se le quiere dar dentro de la sostenibilidad, al sobrar bastante material que no tiene ninguna funcionalidad. También lo rechazamos por el material empleado, madera, este es un material que no es adecuado para el uso que se le va a dar al kit, podría sufrir arañazos, golpes e incluso roturas en medio de una producción en la Escuela Lean y también su deterioro sería muy rápido.

Queda por tanto descartado el modelo como válido para la Escuela Lean por los motivos expuestos. Aun así, nos sirve en este trabajo de referencia inicial sobre el cual basar los siguientes modelos.

5.2.2 SEGUNDO MODELO, IMPRESIÓN 3D EN FABLAB

Este modelo, a diferencia del anterior, tanto por material, dureza, resistencia y durabilidad es óptimo para el uso que se le va a dar. El diseño del modelo es totalmente adecuado para su uso, minimizando el empleo de material para su fabricación y empleando PLA reciclado y por tanto alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. El modelo se ha puesto a prueba en el montaje y desmontaje completo de un Solectrón y da el resultado óptimo que se esperaba del kit. Si bien

es cierto que el material plástico PLA no es el más resistente, es una muy buena opción a medio largo plazo para la Escuela Lean.

Un punto que juega a su favor sería el precio unitario reducido que tiene un kit y el tiempo estimado de fabricación, que no es para nada desorbitado.

Como punto en contra tenemos que al ser un modelo que se conforma por la unión de dos piezas por cada base, puede ser algo más propenso a la rotura a largo plazo en la zona de unión de las bases, aun así, asegurando bien esta unión con pegamento adecuado no debería de existir mayor problema.

Con todo lo que se expone, hemos de concluir que este modelo sí es una buena opción como modelo final de kit para la Escuela Lean.

5.2.3 TERCER MODELO, IMPRESIÓN 3D EN EII

En esta opción no tenemos un modelo funcional ya que como se comentó, por problemas de Software las piezas de las bases no salieron tal y como debían. Es un gran avance respecto al segundo modelo que hemos tratado ya que eliminamos su punto en contra al imprimir de una sola pieza cada base.

Por tanto, con la tecnología adecuada y regulando bien los parámetros de la máquina esta opción es muy buena. No podemos dar por válido este modelo ya que no cumple con la funcionalidad que debe tener, pero se abre una línea de trabajo tras comprobar que efectivamente se puede conseguir un modelo así con unas máquinas de cierto tamaño y un Software adecuado.

5.2.4 CUARTO MODELO, CNC EN FABLAB

Este modelo, al igual que el anterior analizado, no es funcional, ya que con la tecnología disponible no se consigue materializar del todo el producto.

Esta opción se realiza en metacrilato, un material con mejores prestaciones, para nuestro propósito, que el PLA utilizado en los modelos anteriores al ser más resistente y tener mayor durabilidad. Se puede realizar como ya se ha visto con los mismos archivos STL de diseño que la anterior alternativa, con esto quiero decir que el diseño es válido para realizarse con distintas tecnologías y de los vistos es el óptimo ya que cada base, como volvemos a recalcar, está conformada por una única pieza.

Este modelo no se puede ejecutar debido a las limitaciones técnicas de las máquinas disponibles, pero sí se comprueba que con la tecnología adecuada y capaz es totalmente materializable y una muy buena opción gracias al material con el que se produciría, por tanto, se abre una línea futura de trabajo en este diseño y con esta tecnología nuevamente.

5.2.5 MEJOR ALTERNATIVA POSIBLE

Como mejor alternativa posible, en cuanto al diseño creado con Catia V5 es el correspondiente al del tercer y cuarto modelo, en cuanto a la tecnología empleada en su fabricación, la óptima, por prestaciones sería el uso de Control Numérico por Computadora para dar la forma al kit según el diseño presentado en una lámina de metacrilato de 15 centímetros de espesor. Esta última elección se hace sin tener en cuenta criterios económicos, simplemente por criterios funcionales.

Si incluimos en la elección de la alternativa un criterio económico, la opción de impresión 3D que se expone en el tercer modelo sería la más recomendable ya que estamos hablando que el precio de este sería, en base a una estimación, la quinta parte del precio unitario del modelo producido con CNC en metacrilato. Claramente el precio es una variable que juega un papel fundamental en la elección de un modelo u otro, más si cabe cuando las prestaciones no difieren en gran medida, es por ello que la mejor alternativa posible es la que se crea con el diseño y la tecnología empleada en el tercer modelo, es decir, usando el diseño en el que las bases se conforman de una sola pieza y tecnología de impresión en 3D con PLA reciclado.

CAPÍTULO 6.
ESTUDIO ECONÓMICO

6.1 INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como objetivo la fabricación de un Kit para la Escuela Lean, pasando por todo el proceso de diseño del Kit. Este Kit será funcional ya que se empleará en las formaciones impartidas por dicha Escuela.

Se trata, por tanto, de un proyecto de diseño y fabricación de un Kit y al evaluar los costes de desarrollo, no tendremos que considerar los costes de alquiler de superficies, consideraremos primeramente las horas de diseño, el coste de los materiales empleados para la fabricación del Kit, la maquinaria utilizada, y la realización de cada una de las fases sobre las que se basa el proyecto. En este proyecto, el coste material no supondrá gran cuantía ya que el grueso de este está en su fase de diseño y adecuación.

En la gestión de este proyecto, se ha puesto especial interés en cuestiones relativas a la optimización de procesos, basándonos en herramientas Lean, para diseñar un Kit adecuado al proceso en el que se va a emplear. Algunos de los aspectos más importantes para nuestro proyecto son la gestión de este y el presupuesto.

En este epígrafe se expondrán las ideas fundamentales de la gestión del proyecto, con una breve exposición del personal involucrado en el desarrollo del diseño y estudio.

6.1.1 JERARQUÍA DE UN PROYECTO DE DISEÑO DE UN KIT

Asignaremos diferentes roles a las personas que están involucradas en nuestro proyecto de la siguiente manera:

- Director de proyecto.
- Responsable del diseño.
- Responsable de la fabricación.
- Administrativo.

Estas personas interactúan entre sí y se establece unas relaciones de mando para conseguir una buena gestión del proyecto, estas relaciones lo podemos ver en la Ilustración 89.

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

Pasaremos a describir las funciones asignadas a cada miembro del equipo.

El director del proyecto es el encargado de elaborar los fundamentos del proyecto y sentar las bases correspondientes del mismo. Se encarga de hacer la planificación del desarrollo y también de crear un presupuesto para nuestro proyecto. También es la persona que aprueba todos los pasos que se van dando y es necesaria su autorización para llevar a cabo nuevas medidas o correcciones. Hace las funciones de contacto entre los diferentes miembros del proyecto, crea una comunicación fluida para que el proyecto llegue a buen término.

El responsable de diseño es el encargado de, con programas informáticos, crear el diseño del Kit e introducir las mejoras y correcciones que se tengan que realizar previa autorización del director del proyecto. Este se encarga de crear los archivos que posteriormente se utilizan en la fabricación.

El responsable de fabricación tiene las funciones de fabricar el producto a partir del diseño realizado por el responsable de diseño, asegurar que la fabricación se está realizando de acuerdo con el diseño, hacer las comprobaciones de calidad del producto una vez materializado y comunicar al director del proyecto los posibles cambio o mejoras del diseño que llevarían a un producto final.

El Administrativo es el encargado de realizar toda la documentación necesaria para el proyecto e ir recopilando y almacenando toda la información acerca del mismo. Como tarea principal se le asigna la realización de la memoria del proyecto.

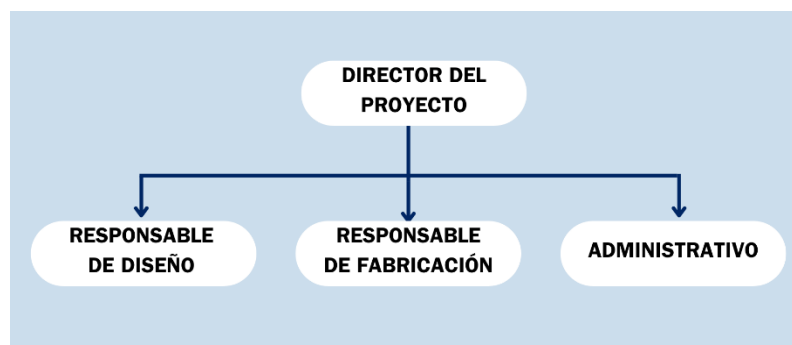


Ilustración 89. Jerarquía del proyecto. (Elaboración propia)

6.2 FASES DE DESARROLLO

En este proyecto tenemos distintas fases con sus particularidades propias. Es un proyecto que parte de unas necesidades que se dan en la Escuela Lean y que pretende resolver un problema de la manera más eficiente.

Este proyecto se centra en el diseño y fabricación de un modelo de Kit. Los costes de planificación los podemos imputar a las horas empleadas por ingeniería y diseño de producto más que al propio coste de fabricación que es bastante reducido en comparación con el anterior. Comparando el coste material empleado para la fabricación con el coste horario de ingeniería se aprecia claramente la diferencia que se supone.

En cuanto a la vida útil de nuestro proyecto podemos hablar en varios términos.

Un primero, el que damos al diseño creado, que es no degradable ya que consiste en una serie de archivos informáticos desarrollados que permanecen almacenados y no sufren pérdida de funcionalidades con el tiempo, la vida útil es de este modo ilimitada, aunque las modificaciones que se introduzcan en el diseño, y por tanto, en los archivos, sí tendrán un coste asociado.

Y un segundo, el que damos a los Kits fabricados, estos si sufren de degradación con el tiempo y el uso. Al ser de material plástico y trabajar con piezas de metal, el plástico acabará sufriendo daños que limitaran su vida útil, debido a esto tenemos que considerar un coste asociado.

Los Kits deberán de mantenerse limpios para que puedan desarrollar correctamente su función, esto conlleva un coste una vez que finaliza su uso propio en la formación de la Escuela Lean. Un mantenimiento incorrecto de los Kits puede ocasionar su rotura o empeorar la experiencia que tiene el alumno durante su uso. Si hablamos de mantenimiento en cuanto al diseño, este es despreciable ya que mínimamente habrá que mantener en condiciones óptimas los sistemas de almacenamiento en los que se encuentren los archivos.

La determinación de las fases que conlleva el desarrollo de un proyecto de este tipo puede variar según el punto de vista de la persona que lo esté analizando; sin embargo, estas etapas pueden ajustarse a la división mostrada en la Figura 5.2.

Cada fase del proyecto se explica a continuación:

- Necesidad y decisión de elaboración del proyecto. Esta fase corresponde a dar respuesta a las necesidades de la Escuela Lean realizando un análisis global de su formación. Se recopilan datos sobre la formación, el proceso que se lleva a cabo para entender el sistema y los materiales utilizados durante las sesiones. Esta información se analiza y se formula finalmente el problema. Se opta por el diseño y fabricación de un Kit. El diseño se realizará con un Software de modelaje en tres dimensiones y la fabricación según preferencias, el modo más viable al que se tenga acceso. Se establecen las líneas generales del proyecto y se planifican las tareas que hay que llevar a cabo y se asignan recursos para de este modo saber quién tiene que hacer cada tarea de diseño del Kit y posteriormente de la fabricación de este. Llegados a este punto es necesario analizar si el proyecto es viable tanto en su etapa de diseño como en la de materialización del producto, ya que, si se comienza el proyecto y durante el proceso se descubre algún impedimento en cuanto a viabilidad, el coste que supondrá encontrar un camino alternativo para finalizar con éxito y dar respuesta a la necesidad encontrada, será mucho mayor.
- Presentación y difusión del proyecto. Se realiza una presentación por parte del director del proyecto y se solicita la colaboración a los responsables de fabricación y diseño que trabajaran en el desarrollo del Kit.
- Recopilación de información. Posteriormente al contacto entre el equipo que va a trabajar en el desarrollo se realiza un proceso para rescatar la información que hay disponible sobre el problema que se pretende solventar. En esta fase se recopila información acerca de los Kits existentes, del proceso del que el Kit será parte, así como la bibliografía existente e información acerca de los problemas que nos podamos encontrar en el diseño y fabricación.
- Análisis, búsqueda y difusión. Una vez recopilada toda la información disponible, el equipo se dispone a estudiar el diseño, el Software que se utilizará, maneras de implementarlo en este, métodos factibles de fabricación y materiales adecuados. En la Ilustración 90, se aprecia el diagrama de relaciones, que refleja de manera muy visual y resumida la valoración de la importancia de los intercambios entre los diversos centros de actividad de los que se dispone. Con esto claro se realizan propuestas de solución al Kit y su diseño. En último término se procede a la evaluación y la selección de las ideas de diseños desarrolladas.

- Diseño, difusión y fabricación del Kit. Tras disponer de la idea seleccionada se procede a crear el diseño del Kit en el Software y se deja documentado el proceso para poder tener un rastro de este. Se difunde y se pondrá en común el diseño final, así como, el modo de implementar las modificaciones en el Software, y la solicitud de cambio de diseño. Una vez aprobado se pasa a la etapa de fabricación.

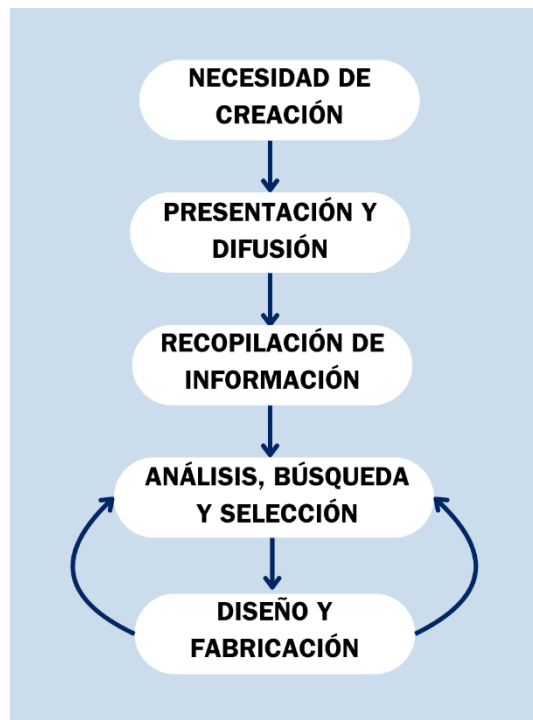


Ilustración 90. Diagrama de relaciones. (Elaboración propia)

6.3 ESTUDIO ECONÓMICO

En este epígrafe se realiza el estudio económico de nuestro proyecto de diseño y fabricación de un total de 25 Kits para la Escuela Lean. Este estudio se relacionará con las distintas fases de la ejecución del proyecto.

Se valora también los costes por cada actividad realizada a lo largo de la ejecución del proyecto. Así podremos estudiar cómo influye cada proceso que interviene en relación con el coste total del producto. Los pasos que se siguen para llevar a cabo este estudio son el cálculo de:

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

- horas efectivas anuales y de las tasas por hora de los salarios,
- amortizaciones del equipo empleado,
- coste por hora y por persona del material consumible,
- coste por hora y por persona de los costes indirectos y
- horas de personal en cada fase del proyecto.

6.3.1 HORAS EFECTIVAS ANUALES Y TASAS HORARIAS DE PERSONAL

Los valores de horas efectivas anuales quedan reflejados en la Tabla 1 y Tabla 2.

CONCEPTO	DÍAS/HORAS
Año medio	365,25
Sábados y domingos	-104,36
Días efectivos de vacaciones	-20,00
Días festivos reconocidos	-12,00
Media de días perdidos por enfermedad	-15,00
Cursos de formación, etc.	-4,00
Total estimado días efectivos	210
Total horas/año efectivas (8 horas/día)	1.680

Tabla 1. Días efectivos anuales.

CONCEPTO	SEMANAS
Año medio en semanas	52
Vacaciones y festivos	-5
Enfermedad	-2
Cursos de formación, etc.	-1
Total semanas	44

Tabla 2. Semanas efectivas anuales.

Se planifica el proyecto siendo un Ingeniero en Organización en que actúa como director del proyecto y se encarga del desarrollo de este junto con la administración de la parte financiera, también establece una correcta comunicación entre las partes del proyecto. El encargado de diseño es un ingeniero mecánico el cual se encarga de toda la parte de diseño mediante Software. El encargado de fabricación es un Ingeniero Industrial y debe de asumir todas las funciones del cargo que se le asigna. También existe la figura del administrativo que desarrolla la documentación referida a informes y cuanto sea necesario para la correcta administración del proyecto. El coste horario y semanal de los profesionales contratados se aprecia en la Tabla 3. (Para el cálculo de la Seguridad Social a cargo de la empresa se usa un 35% del sueldo).

CONCEPTO	Director	Responsable de diseño	Responsable de fabricación	Administrativo
Sueldo	41.106 €	33.342 €	33.342 €	19.516 €
Seguridad Social	14.387 €	11.670 €	11.670 €	6.831 €
Total	55.493 €	45.012 €	45.012 €	26.347 €
Coste horario	31,53 €	25,59 €	25,59 €	14,97 €
Coste semanal	1261,2 €	1023,6 €	1023,6 €	598.8 €

Tabla 3. Costes de las personas contratadas.

6.3.2 CÁLCULO DE LAS AMORTIZACIONES DEL EQUIPO EMPLEADO

El equipo empleado al que nos referimos en este punto es el equipo informático e impresoras 3D que se han utilizado para desarrollar el proyecto. Se utiliza un periodo de amortización lineal de 5 años. Tenemos como equipo informático, el utilizado para realizar las tareas de diseño y para búsqueda de información y creación de la documentación necesaria para el proyecto. Por otro lado, las impresoras 3D que serán necesarias para la fase de fabricación.

El coste con amortización que supone el equipo informático y las impresoras 3D se recoge en la Tabla 4 y en la Tabla 5, respectivamente.

CONCEPTO	Coste	Cantidad	Coste total
Acer Nitro 5 AN515-52	1.385 €	1	1.385 €
Catia V5 versión estudiantes	150 €	1	150 €
Microsoft Word	90 €	1	90 €
Microsoft Excel	90 €	1	90 €

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

Total a amortizar	1.715 €
Amortización semanal	7,8 €
Amortización diaria	1,11 €
Amortización horaria	0,05 €

Tabla 4. Costes equipo informático.

CONCEPTO	Coste	Cantidad	Coste total
Impresora 3D industrial	2.630 €	1	2.630 €
Software de la impresora	270 €	1	275 €
Total a amortizar			2.905 €
Amortización semanal			13,2 €
Amortización diaria			1,89 €
Amortización horaria			0,08 €

Tabla 5. Costes del equipo de impresión 3D.

6.3.3 COSTE DEL MATERIAL CONSUMIBLE

En cuanto al material consumible podemos añadir todo aquel que se ha utilizado en el proceso durante el periodo de un año, (papel, pendrives, bolígrafos, etc.), se calcula el consumo medio, por hora de trabajo. Estos datos se muestran en la Tabla 6.

CONCEPTO	COSTE
Papel	20 €
Pendrives	45 €
Discos duros	100 €
Bolígrafos y material diverso	10 €
Coste anual total	500 €
Coste por hora de trabajo	0,3 €

Tabla 6. Costes de material consumible.

6.3.4 COSTES INDIRECTOS

En este punto se consideran gastos que se refieren a consumos de electricidad, y otros costes indirectos. Todos estos costes, calculados en periodo horario se muestran en la Tabla 7.

CONCEPTO	COSTE
Teléfono	90 €
Alquileres	390 €
Electricidad	120 €
Otros	330 €
Coste anual total	930 €
Coste por hora de trabajo	0,55 €

Tabla 7. Costes indirectos.

6.3.5 HORAS DE PERSONAL EN CADA FASE DEL PROYECTO

En este punto se recogen en la Tabla 8 las horas que cada persona contratada en el proyecto le dedica al mismo en cada fase.

PERSONAL	ETAPAS				
	1	2	3	4	5
Director del proyecto	20	20	20	20	20
Responsable de diseño	1	0	10	100	10
Responsable de fabricación	1	0	10	10	100
Administrativo	10	0	10	10	10
TOTAL	32	20	50	140	140

Tabla 8. Horas dedicadas al proyecto.

6.3.6 COSTE DEL MATERIAL DE IMPRESIÓN

En cuanto al material de impresión podemos añadir el PLA utilizado para la impresión de los 25 Kits. Para cada Kit son necesarios 684,30 gramos de filamento PLA. Este material tiene un coste de 0,02 €/g, por lo que incurrimos en un coste de 13,686 €. Estas cantidades calculadas para los 25 Kits que conforman nuestro proyecto se muestran en la Tabla 9.

CONCEPTO	GRAMOS	COSTE
Material PLA para la impresora (25 Kits)	17.107,5	342,15 €

Tabla 9. Coste del material de impresión

6.4 COSTES EN CADA FASE DEL PROYECTO

En este apartado calcularemos los costes de las fases que componen el proyecto en función de horas de personal y sus tasas horarias de salarios, amortizaciones, costes de materiales consumibles y del material usado por la impresora, costes indirectos y horas de impresión 3D.

6.4.1 FASE 1. NECESIDAD DE CREACIÓN

En esta etapa intervienen todos los miembros del equipo en mayor o menor medida. Las horas que se emplean en esta fase son de trabajo del personal, con un total de 32 horas como se aprecia en la Tabla 8. En base a esto, los costes para esta fase se reparten como se muestra en la Tabla 10.

CONCEPTO		HORAS	C.H.	COSTE
Personal	Director del proyecto	20	31,53 €	630,60 €
	Responsable de diseño	1	25,59 €	25,59 €
	Responsable de fabricación	1	25,59 €	25,59 €
	Administrativo	10	14,97 €	149,70 €
Amortización	Equipo informático	10	0,05 €	0,50 €
	Equipo de impresión 3D	0	0,08 €	0,00 €
Consumibles	Varios	32	0,3 €	9,60 €
Coste del material de impresión				0,00 €
Costes indirectos		32	0,55 €	17,60 €
Coste total				859,18 €

Tabla 10. Costes Fase 1.

6.4.2 FASE 2. PRESENTACIÓN Y DIFUSIÓN

En esta etapa interviene solo el director del proyecto. Las horas que se emplean en esta fase son de trabajo del personal, con un total de 20 horas como se aprecia en la Tabla 8. En base a esto, los costes para esta fase se reparten como se muestra en la Tabla 11.

CONCEPTO		HORAS	C.H.	COSTE
Personal	Director del proyecto	20	31,53 €	630,60 €
	Responsable de diseño	0	25,59 €	0,00 €
	Responsable de fabricación	0	25,59 €	0,00 €
	Administrativo	0	14,97 €	0,00 €

Amortización	Equipo informático	20	0,05 €	1,00 €
	Equipo de impresión 3D	0	0,08 €	0,00 €
Consumibles	Varios	20	0,3 €	6,00 €
Coste del material de impresión				0,00 €
Costes indirectos		20	0,55 €	11,00 €
Coste total				648,60 €

Tabla 11. Costes Fase 2.

6.4.3 FASE 3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

En esta etapa intervienen todos los miembros del equipo en mayor o menor medida. Las horas que se emplean en esta fase son de trabajo del personal, con un total de 50 horas como se aprecia en la Tabla 8. En base a esto, los costes para esta fase se reparten como se muestra en la Tabla 12.

CONCEPTO		HORAS	C.H.	COSTE
Personal	Director del proyecto	20	31,53 €	630,60 €
	Responsable de diseño	10	25,59 €	255,90 €
	Responsable de fabricación	10	25,59 €	255,90 €
	Administrativo	10	14,97 €	149,70 €
Amortización	Equipo informático	50	0,05 €	2,50 €
	Equipo de impresión 3D	0	0,08 €	0,00 €
Consumibles	Varios	50	0,3 €	15,00 €
Coste del material de impresión				0,00 €
Costes indirectos		50	0,55 €	27,50 €
Coste total				1.337,10 €

Tabla 12. Costes Fase 3.

6.4.4 FASE 4. ANÁLISIS, BÚSQUEDA Y SELECCIÓN

En esta etapa intervienen todos los miembros del equipo en mayor o menor medida. Las horas que se emplean en esta fase son de trabajo del personal, con un total de 140 horas como se aprecia en la Tabla 8. En base a esto, los costes para esta fase se reparten como se muestra en la Tabla 13.

CONCEPTO		HORAS	C.H.	COSTE
Personal	Director del proyecto	20	31,53 €	630,60 €
	Responsable de diseño	100	25,59 €	2.559,00 €
	Responsable de fabricación	10	25,59 €	255,90 €

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

	Administrativo	10	14,97 €	149,70 €
Amortización	Equipo informático	140	0,05 €	7,00 €
	Equipo de impresión 3D	0	0,08 €	0,00 €
Consumibles	Varios	140	0,3 €	42,00 €
Coste del material de impresión				0,00 €
Costes indirectos		140	0,55 €	77,00 €
Coste total				3.721,20 €

Tabla 13. Costes Fase 4.

6.4.5 FASE 5. DISEÑO Y FABRICACIÓN

En esta etapa intervienen todos los miembros del equipo en mayor o menor medida. Las horas que se emplean en esta fase son de trabajo del personal, con un total de 140 horas como se aprecia en la Tabla 8. En base a esto, los costes para esta fase se reparten como se muestra en la Tabla 14.

CONCEPTO		HORAS	C.H.	COSTE
Personal	Director del proyecto	20	31,53 €	630,60 €
	Responsable de diseño	10	25,59 €	255,90 €
	Responsable de fabricación	100	25,59 €	2.559,00 €
	Administrativo	10	14,97 €	149,70 €
Amortización	Equipo informático	140	0,05 €	7,00 €
	Equipo de impresión 3D	600	0,08 €	48,00 €
Consumibles	Varios	140	0,3 €	42,00 €
Coste del material de impresión				342,15 €
Costes indirectos		140	0,55 €	77,00 €
Coste total				4.111,35 €

Tabla 14. Costes Fase 5.

6.5 CÁLCULO DEL COSTE TOTAL

El coste total del proyecto se realiza a partir de los valores mostrados en los epígrafes anteriores distribuyéndolos en las distintas fases del proyecto según las horas empleadas por el personal y de manera equitativa en cuanto a recursos se refiere. A continuación, en la Tabla 15 se muestran todos los costes de cada una de las fases del proyecto y el coste total de este.

ACTIVIDAD	HORAS DE PERSONAL	HORAS DE IMPRESIÓN 3D	COSTE
Necesidad de creación	32	0	859,18 €
Presentación y difusión	20	0	648,60 €
Recopilación de información	50	0	1.337,10 €
Análisis, búsqueda y selección	140	0	3.721,20 €
Diseño y fabricación	140	600	4.111,35 €
Total del proyecto	382	600	10.677,43 €

Tabla 15. Coste total del proyecto.

Por tanto, el coste total para un proyecto de estas magnitudes sería de 10.677,43 € para la fabricación de 25 Kits, con un total de 382 horas empleadas por los empleados y 600 horas de impresión 3D.

6.6 CÁLCULO DEL COSTE UNITARIO DE LOS KITS

El coste unitario de cada Kit se calcula en función de los Kits fabricados en este proyecto, un total de 25 para la Escuela Lean de la Universidad de Valladolid. Este cálculo se hace a partir de los costes totales del proyecto entre la cantidad de Kits fabricados. También cabe la posibilidad de realizar más impresiones de Kits para otras Escuelas Lean u otras Universidades que trabajen con el Solectrón y que quieran utilizar estos Kits para aumentar la calidad de la formación.

Si se aumenta la cantidad de Kits en cada lote, el coste unitario disminuye ya que tendremos más unidades fabricadas sobre las que podemos dividir los costes.

A continuación, se muestran en la Tabla 16 los costes unitarios para cada lote de fabricación de Kits. Al aumentar la cantidad de Kits fabricados, se incluye un aumento del coste total, debido al coste del material empleado y de las horas de impresión 3D para tener en cuenta las amortizaciones.

CANTIDAD DE KITS FABRICADOS	COSTE TOTAL	COSTE UNITARIO
25	10.677,43 €	427,10 €
50	11.367,43 €	227,35 €
100	12.807,73 €	128,08 €
200	15.688,33 €	78,44 €

Tabla 16. Costes unitarios.

CAPÍTULO 7.
CONCLUSIONES

7.1 CONCLUSIONES

Una vez realizado este trabajo es necesario presentar las conclusiones de las que nos hemos hecho partícipes. Primeramente, hay que exponer que el trabajo se ha realizado con total éxito en cuanto a consecución de los objetivos marcados.

La obtención de un modelo de Kit válido para la Escuela Lean en su diseño 3D y en su posterior materialización se ha logrado. A continuación, se listan las conclusiones obtenidas del desarrollo de este trabajo:

- Se ha conseguido explicar la necesidad de introducir el Kit en el sistema de producción y viendo el proceso que se lleva a cabo para el desarrollo de este, como se justifica su diseño en base a los principios Lean Manufacturing.
- Tras el análisis del proceso, se introducen mejoras al prototipo del Kit existente en función de un análisis de las necesidades de las personas que lo estaban utilizando. Algunas mejoras las encontramos en la creación de las distintas configuraciones y formatos que se le dan a las piezas creadas para los insertos y los tornillos, y las distintas adaptaciones para conseguir que el trabajo con el Kit sea lo más eficiente posible, como por ejemplo, la inclinación de las Gavetas para un mejor acceso físico y visual.
- El diseño final junto con las variantes de este es óptimo para el sistema. Las distintas versiones creadas son una evolución de la idea principal y consiguen sortear los distintos impedimentos de viabilidad en la fabricación, por tanto, el alcance del proyecto se definió correctamente desde un principio y se consiguió la suficiente adaptabilidad a los cambios de diseño para llegar a lograr de manera satisfactoria los objetivos del trabajo.
- Se realiza el diseño del Kit pensando en el acople de piezas diseñadas de forma que sean modulares y por tanto se ajustan los espacios a una medida estándar para permitir la intercambiabilidad de las piezas en los espacios reservados para estas. De esta forma, las personas que vayan a hacer uso del Kit pueden personalizarlo, hasta cierto punto, de la manera que ellos deseen o a la que se quieran acostumbrar, aunque en este trabajo se expone, mediante la estandarización de los flujos en el sistema de producción, la forma óptima de colocación.

- Tras la primera materialización del prototipo se valida físicamente la idea y se introducen cambios en algunas medidas para optimizar movimientos y espacio ocupado por el Kit.
- Las limitaciones de las camas de las impresoras hicieron que el Kit tuviera que hacerse divisible y de este modo hubo que introducir elementos de unión que nos brindaran las mismas prestaciones que un Kit fabricado de una pieza.
- Para la materialización del diseño se demuestra que existen varias tecnologías disponibles que nos brindan mayor grado de prestaciones en el producto final o Kit. Por cuestiones técnicas del material que tenemos disponible no podemos demostrarlo con un producto funcional de nuestro Kit, pero las distintas pruebas y prototipos nos avalan esto último.

Concluimos que los objetivos, marcados al inicio de este trabajo, se verifican. Más en la perspectiva personal en cuanto al desarrollo y ejecución de este Trabajo Fin de Grado, puedo decir que he logrado aplicar los conocimientos adquiridos durante el Grado y he completado los mismos, al desarrollar un proceso de diseño y posterior materialización, con todo lo que esto implica, desde cero hasta llegar al producto final. Como colofón a este trabajo, la capacidad de organización y de planificación, unido a las herramientas y filosofía Lean que he ido desarrollando aún más, han hecho que la motivación inicial para desarrollar este proyecto cobre sentido.

7.2 FUTUROS DESARROLLOS

Gracias a lo expuesto en el epígrafe anterior se plantean las siguientes líneas futuras de actuación y desarrollo:

- Desarrollo completo de un modelo funcional en impresión 3D hecho de una sola pieza de base. A partir del diseño actual, es posible imprimir el Kit de una sola pieza haciendo así que este sea más robusto y simple de transportar y manejar. Esto se puede conseguir realizando la impresión en máquinas industriales de esta tecnología o de alguna impresora 3D que soporte las medidas de ancho y largo máximas de nuestro diseño.

- Crear un modelo funcional del Kit con tecnología de control numérico por computadora. Esto permitiría crear un Kit en un material que puede ser distinto al plástico y más resistente. Aun así la alternativa planteada de materialización con esta tecnología en metacrilato es una línea de desarrollo viable si la máquina que realizará el fresado dispone del suficiente rango de movimiento y profundidad de fresado, necesario para nuestro Kit.
- Dado el tamaño del Kit se hace complicado su almacenaje, una línea futura podría emerger de este problema que exponemos y realizar un cambio en el diseño 3D, de tal modo que el kit sea plegable pero construido en una sola pieza para facilitar su empleo en el proceso del que es parte.

Por todos estos puntos expuestos, la continuidad de este trabajo está abierta a posibles desarrollos futuros y de este modo seguir optimizando el Kit diseñado para la Escuela Lean.

BIBLIOGRAFÍA

- Alukal, V. G., & Manos, A. (2006). *Lean kaizen*. Quality Press.
- Brynzér, H., & Johansson, M. (Octubre de 1995). Design and performance of kitting and order picking systems. *International Journal of Production Economics*, 41(1-3), 115-125. doi:10.1016/0925-5273(95)00083-6
- Cabello, R. R. (2020). Estandarización diagnósticos macro y micro de la producción del solectrón en Escuela Lean. *TFM UVA*.
- Carreras, M. R. (2010). *Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad*. Ediciones Díaz de Santos.
- Fager, P., Hanson, R., Medbo, L., & Johansson, M. I. (2021). Links between kit quality and kit preparation design. *International Journal of Production Research*, 59(18), 5525–5539.
- González Correa, F. (2007). Manufactura esbelta (Lean manufacturing). Principales herramientas. *Revista Panorama Administrativo*, 85-112.
- Helmold, M. (2020). *Lean management and kaizen*. Springer international publishing.
- Hernández Matías, J. C., & Vizán Idoipe, A. (2013). *Lean manufacturing. Concepto , técnicas e implantación*. Madrid: EOI Escuela de Organización Industrial.
- Hirano, H. (1987). *Poka-yoke (Spanish): Mejorando la Calidad del Producto Evitando los Defectos*. Routledge.
- Jones, D. T., & Womack, J. P. (2003). *Lean Thinking*. Gestión 2000.
- López Díez, P. (2022). Control de calidad para el solectrón. *TFM UVA*.
- Manzano Ramírez, M., & Gisbert Soler, V. (2016). Lean manufacturing: implantación 5S. *3C Tecnología*, 5(4), 16-26.
- Martín Vázquez, J. (2013). *Indicadores de evaluación de la implementación del lean manufacturing en la industria*. TFM UVA.

DISEÑO DE UN KIT PARA ESCUELA LEAN

Paniagua Gómez-Álvarez, R. (2024). *Filosofía Lean. Conceptos y principios*. . ESIC Editorial.

Pérez Beteta, L. (2006). El mapeo del flujo de valor. *Revista del Departamento Académico de Ciencias Administrativas*, 41-44.

Posada, J. G. (2007). Interacción y conexiones entre las técnicas 5s, SMED y Poka Yoke en procesos de mejoramiento continuo. *Tecnura 10(20)*, 139-148.

Sacristán, F. R. (2005). *Las 5S. Orden y limpieza en el puesto de trabajo*. Fc editorial.

Sala de Prensa Toyota. (17 de Septiembre de 2013). *Fallece Eiji Toyoda, ExPresidente de Toyota Motor Corporation*. Recuperado el 23 de Marzo de 2024, de <https://prensa.toyota.es/fallece-eiji-toyoda-expresidente-de-toyota-motor-corporation/>

Sánchez Nava, F. J. (2020). Parametrización de los almacenes de la Escuela Lean mediante el sistema EasyWMS. *TFM UVA*.

Shingo, S. (2019). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Routledge.

Socconini, L. (2019). *Lean manufacturing. Paso a paso*. Marge books.

Vujosevic, R., Ramirez, J. A., Hausman-Cohen, L., & Venkataraman, S. (2012). Lean kitting: A case study. *Austin: Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Texas*.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2017). *La máquina que cambió el mundo: La historia de la Producción Lean, el arma secreta de Toyota que revoluciona la industria mundial del automóvil*. Profit editorial.

