



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES
GRADO EN INGENIERÍA DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

**Diseño de una línea de reciclaje para coches L34N en la Escuela
Lean**

Autor:
Santamaría Martínez, Lidia

Tutor:
Acebes Senovilla, Fernando
**Departamento de Organización
de Empresas**

Valladolid, julio,2020



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Resumen

El presente trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo el diseño de diferentes configuraciones de una línea de reciclado para coches L34N en la Escuela Lean. La Escuela Lean nació de la colaboración de la Universidad de Valladolid y Renault-Nissan-Consulting y tiene como principal objetivo enseñar tanto a alumnos como a empresas, a través de la representación de una fábrica, para ello trabajan con diferentes productos, uno de los cuales es el coche L34N.

Para la realización del diseño de las configuraciones es fundamental entender los conceptos del *Lean Manufacturing* y la *economía circular*: qué es, cómo nacieron, cuáles son sus principios, los beneficios que aportan y cómo se relacionan entre sí. Estos conceptos son muy importantes y por ello, cada vez son más las empresas que los aplican.

Para llegar a la línea de reciclaje, también ha sido necesario realizar un análisis de la línea de montaje y de las fases de producción que tiene la escuela para el coche L34N. A partir de ese momento, se comenzó a diseñar la línea de reciclaje, planteando y analizando diferentes configuraciones hasta finalmente obtener un total de dos configuraciones óptimas, que se adaptan al espacio y a la disponibilidad de personas.

Palabras clave: Escuela Lean- Lean Manufacturing-Economía circular-Línea de montaje-Línea de reciclado- Configuraciones.

Abstract

The aim of this final year degree dissertation is the design of different configurations for recycling lines specifically for L34N cars in Lean School. The Escuela Lean is the result of the cooperation between the University of Valladolid and Renault Nissan Consulting. It's main objective is to teach students and companies by using a representation of a factory. In order to do this they work with different products, one of which is the L34N car.

To be able to create the designs for the configurations it is important to understand the concept behind Lean Manufacturing and circular manufacturing: what exactly is this, how where these concepts created, what are the principals behind them, what benefits do they offer and what is the connection between them.

These concepts are very important which explains why more and more companies are using them.



In order to create the recycling lines an analysis of the production line and products which are used in the school for the L34N car it self was necessary. Following on from this was the actual design of the recycling line, bearing in mind and analyzing different configurations. Finally a total of two optimum configurations were obtained, which adapt to the space and people available.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Agradecimientos

A mi familia, en especial a mi madre y a mi hermana, mis pilares fundamentales, cargados siempre de positivismo y bonitas palabras.

A mi pareja, por permanecer junto a mi durante todo el camino, por ser mi apoyo incondicional y mi principal vía de escape.

A mis amigas de la universidad que sin duda son de lo mejor que me ha dado esta carrera, siempre entre risas y abrazos, hasta en los momentos más complicados.

A Paula, por ser hogar y regalarme tantos momentos maravillosos.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Índice

Resumen	i
Abstract	i
Agradecimientos	ii
1.Introducción	1
1.1 Motivo y justificación	1
1.2. Objetivo	1
1.3 Alcance	2
1.4 Estructura.....	2
2. Escuela Lean	5
2.1 Renault-Nissan Consulting	5
2.2 Origen de la Escuela Lean	6
2.3 Localización de la Escuela Lean	7
2.4 Funcionamiento de la Escuela Lean.....	7
2.5 Instalaciones	8
2.5.1 Elementos.....	9
2.5.2 Distribución en planta	12
2.5 Cursos.....	14
2.6 Producciones de la Escuela	15
2.6.1 Producción de coches L34N	15
2.6.2 Producción del solectron.....	17
3. Conceptos teóricos.	19
3.1 Lean Manufacturing.....	19
3.1.1 Definición e historia.....	19
3.1.2 Sistema de producción de Toyota, la casa de Toyota	20
3.1.3 Principios fundamentales del sistema Lean.	21



3.1.3 Despilfarros.....	22
3.2 Economía circular.....	25
3.2.1 Origen de la economía circular.	28
3.2.2 Estrategias de diseño de productos “escuelas de pensamiento”	29
3.2.3 La económico lineal vs la economía circular	32
4.Situación actual. Línea de montaje.	37
4.1.1 Producción inicial	39
4.1.2 Producción intermedia 1	42
4.1.3 Producción intermedia 2	42
4.1.4 Producción final actual	43
5.Situación futura. Línea de reciclado.	47
5.1 Reciclado de las piezas.....	48
5.2 Toma de tiempos.....	53
5.3 Diseño de las configuraciones de la línea de reciclado.....	55
5.3.1 Configuración en tres puestos.....	55
5.3.2 Configuración en cuatro puestos.....	56
5.3.4 Configuración en cinco puestos.	60
6.Estudio económico.....	63
6.1 Fases de desarrollo	63
6.2 Costes directos.....	64
6.3 Costes indirectos.....	66
6.4 Costes totales	67
7.Conclusiones y futuros desarrollos.	69
Bibliografía.....	71
Anexos	75
Anexo 1: Listado de piezas.	75

1. Introducción

1.1 Motivo y justificación

El presente trabajo constituye la creación de una línea de reciclaje dotándolo de una gran importancia, tanto para la Escuela Lean como para las personas que participan en actividades o cursos dentro de ella. Por lo cual, gracias a este proyecto, la escuela ofrecería una nueva formación basada en el reciclaje y que complementaría la formación actual que tienen con el montaje de coches L34N. Gracias a esta formación la Escuela permitiría desarrollar nuevos conocimientos acerca de la importancia del reciclado y los beneficios que conlleva.

Además, esta línea de reciclaje ayuda a trabajar conceptos como la economía circular, el reciclado, minimización del consumo de materias primas, gestión de desechos, la reducción de la contaminación e introduce nuevas filosofías como: “*Cradle to Cradle*”, “biomimesis”, etc... También, a la vez se trabaja con herramientas *lean* como el “control de flujos” o el *just in time* y se muestra su aplicación.

Por otro lado, esta línea permite también seguir el lema de la Escuela Lean “Lean by doing”, permitiendo a los alumnos aplicar todos los conocimientos teóricos que les ofrece la Escuela o la propia Universidad, de una manera práctica y dinámica, fomentando su aprendizaje a través de la simulación de una fábrica. De esta manera se ve realmente la aplicación de los conceptos, las posibles mejoras a introducir en una empresa y los beneficios que produce.

1.2. Objetivo

El objetivo del proyecto es el desarrollo de una línea de reciclaje para un producto de la Escuela Lean, los coches L34N, a través del análisis de sus componentes y operaciones de despiece.

Durante su desarrollo surgen diferentes subobjetivos:

- Conocer la Escuela Lean: cómo surge, qué hace, dónde se sitúa, quién participa en ella, sus principales propósitos y qué productos usa.
- Mostrar los conceptos básicos del Lean que después se verán reflejados tanto en la línea actual de montaje de los coches L34N como en la línea de reciclado que se cree. Estos conceptos ayudaran a optimizar las líneas, reducir el tiempo y el espacio que se usen en su distribución.

- Estudiar la economía circular y realizar una síntesis de ella. Su estudio surge de la necesidad de reducir la contaminación e introducir nuevas técnicas para lograrlo, dejando a tras el modelo de la economía lineal actual.
- Descripción de la situación actual en la línea de montaje para coches L34N de la Escuela Lean, analizando las diferentes producciones que realizan y observando problemas y posibles oportunidades que ofrecen cada una de ellas, como la definición del Trabajo de fin de Grado en la última producción.
- Diseñar la línea de reciclado, partiendo de la situación actual de la Escuela, donde sólo existe una línea de montaje, la cual nos ofrece numerosas posibilidades. Esta línea surge de la necesidad de reducir la contaminación en la actualidad, mostrar los beneficios que ofrece una línea como esta y concienciar a los alumnos y empresas que participen en algún curso o proyecto de la Escuela Lean, de la importancia del reciclado.
- Realizar un estudio económico y comprobar su viabilidad. Gracias al estudio, se muestran el desglose de los costes que supondría el proyecto, así como su coste total, las fases en las que se realiza el proyecto, el material necesario y el personal que interviene en él.

1.3 Alcance

El alcance de este trabajo será la definición de las posibles configuraciones para la línea de reciclado, analizando sus ventajas e inconvenientes.

1.4 Estructura

Este trabajo está formado por 7 capítulos, además de un apartado de referencias y otro de anexos, que agrupan la información necesaria para su comprensión.

El primer capítulo presenta una introducción del proyecto, mostrando la importancia de su desarrollo y el motivo por el cual se lleva a cabo, así como su definición estableciendo hasta donde abarca el proyecto y los objetivos que se desea cumplir con él, centrándose especialmente en la importancia del reciclado.

En el segundo capítulo se introduce la Escuela Lean y se da a conocer su origen y el motivo de su creación, su localización e instalaciones, su funcionamiento mostrando los pilares en los que se sustenta y los objetivos que desea cumplir. Además, se enseñan los productos con

los que trabaja en los distintos cursos que imparte, con especial atención en los coches L34N para la definición de las configuraciones en la línea de reciclado.

En el tercer capítulo se presentan los conceptos teóricos del *Lean Manufacturing*, dando primero a conocer quienes fueron sus precursores, analizando la estructura TPS y los principios en los que se basa. También en este capítulo se describe la economía circular y su relación con el *Lean Manufacturing* gracias a la importancia de la reducción de desechos, se muestra su origen, sus ciclos más significativos principales objetivos y se da a conocer algunas de las estrategias de pensamiento que se han considerado más importantes. Por último, en este capítulo también se realiza un análisis de las ventajas de la economía circular frente a la economía lineal actual.

El cuarto capítulo describe la situación actual de la Escuela Lean para los coches L34N, su línea de montaje, analizando las producciones que realiza la escuela durante sus cursos, mostrando su configuración hasta llegar a la situación final, donde se reduce considerablemente el espacio. Gracias al espacio que se libera se puede llevar a cabo el objetivo del proyecto, el diseño de una línea de reciclaje.

En el quinto capítulo se describe y se diseña la línea de reciclaje para los coches L34N, para ello se plantean diferentes configuraciones que han de cumplir una serie de objetivos y se analizan las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas, hasta finalmente obtener un resultado óptimo. En todo este proceso ha de tenerse en cuenta los tiempos de cada operación, los puestos y el número de estanterías necesarias en cada configuración.

En el sexto capítulo se detalla el estudio económico teniendo en cuenta los gastos directos e indirectos, se desglosa las horas dedicadas a cada fase y el personal que participa en cada una de ellas obteniendo el coste total del proyecto.

El último de los capítulos, en el capítulo séptimo, se dedica a conclusiones y a futuros desarrollos, donde se muestra las posibilidades que ofrece la línea de seguir desarrollando aún más el proyecto.

Por último, se encuentran la bibliografía donde se detallan las consultas realizadas y los anexos que aportan información relevante para el TFG.

2. Escuela Lean

La Escuela Lean surge de la colaboración entre la consultoría Renault-Nissan-Consulting con la Universidad de Valladolid con el objetivo de ofrecer un espacio de formación práctico sobre las herramientas *Lean*, tanto para alumnos de la universidad como para las diferentes empresas que requieran adquirir conocimientos a través de cursos de formación.

2.1 Renault-Nissan Consulting

Renault- Nissan Consulting (RNC) es una consultora situada en 7 países como se puede ver en la *Ilustración 1*. En España, está formada por más de 80 consultores y ha logrado ser líder en la implantación de la metodología *Lean* en nuestro país. Su principal cliente es la alianza Renault-Nissan-Mitsubishi formada en marzo de 1999, aunque también cuenta con clientes externos, empresas pertenecientes a cualquier tipo de sector que llegan a alcanzar el 40% de sus clientes.



Ilustración 1 Distribución de RNC en el mundo, recuperado de <https://rnconsulting.es/>

Su objetivo es impulsar el cambio de los procesos productivos y comerciales de sus clientes a través de cursos de formación y la consultoría. Actúa a través de tres pilares fundamentales mostrados en la *Ilustración 2*.

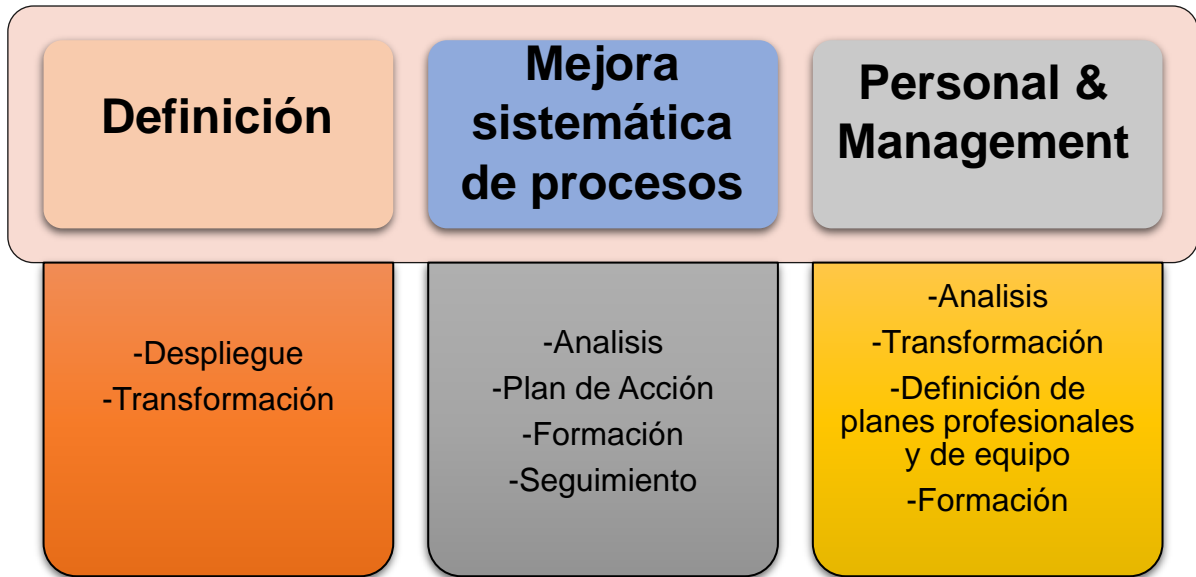


Ilustración 2: Pilares de RNC

Renault-Nissan Consulting también cuenta con numerosas acreditaciones y certificados:

1. ISO 9001: norma ISO que se aplica a los sistemas de Gestión de la Calidad de las empresas, independientemente de su tipo o tamaño. Esta norma busca el compromiso de la dirección, para conseguir un método de trabajo excelente, logrando mejorar la calidad y servicio del sistema productivo. (Vértice, 2010)
2. ISO 14001: Norma ISO que se aplica a los Sistemas de Gestión Medioambiental y que recoge “el entorno en el que opera una organización, incluyendo el aire, el agua, los recursos naturales, el terreno, la flora y fauna, los seres humanos y su interrelación”. (Roberts, 1999)
3. Distintivo de Igualdad: signo de calidad empresarial que es concedido a las empresas que acrediten haber llevado a cabo determinadas acciones respecto a las relaciones de trabajo y a la publicidad de productos y servicios prestados. (Bolaños, 2011)
4. E.F.R (Empresa Familiarmente Responsable): Distintivo que forma parte de la RSE, otorgado a las empresas que se implican en la creación de una nueva cultura de trabajo, facilitando a las personas que logren el equilibrio entre la vida laboral y personal, también pretende el apoyo en la igualdad de oportunidades e inclusión de los más desfavorecidos (Martinez, 2006)

2.2 Origen de la Escuela Lean

La Escuela Lean surgió de la experiencia de la consultoría Renault-Nissan Consulting al comprobar como las formaciones actuales son de carácter teórico y se enfocan principalmente

a las herramientas *Lean*. Este tipo de formaciones no se corresponden con las necesidades empresariales, ni resultan efectivas a la hora de preparar personas capaces de llevar un proceso de transformación tanto organizativo como empresarial.

Como respuesta a esta problemática se creó la primera escuela en España basada en filosofía *Lean*. Fue inaugurada en enero de 2014, como resultado de un proyecto conjunto entre la Universidad de Valladolid y Renault-Nissan Consulting.

2.3 Localización de la Escuela Lean

Actualmente, se encuentra localizada en la Sede Francisco Mendizábal de la Universidad de Valladolid (Calle Francisco Medizabal,1), pero se espera que, en el año 2022, se traslade a la Sede Paseo del Cauce (Calle Paseo del Cauce,59) (*Ilustración 3*) y utilice el espacio destinado actualmente a la biblioteca, aumentando el espacio destinado a la realización de talleres y cursos de formación.



Ilustración 3: Localización futura de la Escuela Lean

2.4 Funcionamiento de la Escuela Lean

La Escuela Lean ha logrado crear un lugar de formación único gracias a la simulación de una fábrica para la enseñanza de la filosofía *Lean*. Permitiendo a los alumnos aprender sobre el terreno, llevando a la práctica los conocimientos teóricos mediante talleres o actividades para la mejora de la producción mediante: “control de flujo”, “VSM”, “*tack-time*”, etc...

La Escuela dispone de todos los medios técnicos y pedagógicos, que aseguran el mejor aprendizaje de los alumnos. Algunos de los medios de los que dispone son: útiles,

herramientas, diferentes puestos de trabajo, simuladores de máquinas semiautomáticas, medios de mantenimiento, transporte, embalaje y almacenamiento... (Escuela Lean, 2014)

La metodología que envuelve a la Escuela es la denominada “Lean by doing”, conocida como aprender haciendo. Es por este motivo, que aparte de clases teóricas que se imparten, se incluyen clases prácticas de todas las dimensiones del *Lean*, creando así un ambiente muy cercano al de la realidad. Estas clases, permiten al alumnado la oportunidad de poder participar de manera activa en los procesos productivos de la escuela. Dichos procesos cuentan con varias etapas de producción, que permiten intercambiar puntos de vista, detectar y corregir los despilfarros que se producen en dicha línea de producción. A medida que los alumnos detectan los fallos en la línea de producción, se avanza hacia las siguientes etapas aplicando los conceptos teóricos aprendidos en las clases teóricas y corrigiendo los fallos. Esto, permite visualizar en todo momento la transformación de la línea hasta alcanzar un proceso productivo óptimo y eficiente.

Gracias a esta técnica y en base a su puesta en práctica, los alumnos consiguen alcanzar competencias técnicas que superan a los conocimientos teóricos.

Sus objetivos son: (Escuela Lean, 2014)

- Poner a disposición de responsables y agentes del cambio, un útil pedagógico innovador, real y eficaz para la obtención de resultados.
- Ayudar a las empresas en su transformación hacia la excelencia operacional, otorgando a los managers y agentes todas las competencias Lean necesarias.
- Mejorar y reforzar la enseñanza práctica del Lean como objeto de incrementar la eficiencia de las Organizaciones.
- Aportar ganancias reales y rápidas en las Organizaciones en las que trabajan los alumnos.

2.5 Instalaciones

La Escuela Lean reproduce un entorno industrial con más de 300 m², situándose en la sede Francisco Mendizábal. (*Ilustración 4*). A continuación, en los siguientes apartados, se mostrará los elementos que la forman, sus instalaciones y la distribución de la Escuela.



Ilustración 4: Escuela Lean (2014). Recopilado de (community, s.f.)

2.5.1 Elementos

Para lograr alcanzar una experiencia realista mediante varias simulaciones de la cadena de producción, la Escuela cuenta con unas grandes instalaciones y numeroso material que facilitan dicho objetivo. Los elementos que conforman la Escuela son los siguientes:

La Escuela, para simular a los proveedores, hace uso de cajas de diferentes tamaños y que a su vez son destinadas al almacenamiento de material. *(Ilustración 5)*



Ilustración 5: Cajas de almacenamiento, (Escuela Lean, 2014)

La Escuela también cuenta con mesas y estanterías móviles, las cuales ayudan a simular los distintos puestos de trabajo en una producción. En dichos puestos se encuentra todo el material necesario para llevar a cabo la operación requerida. *(Ilustración 6)*



Ilustración 6: Mesas y estanterías (Escuela Lean, 2014)

Para el análisis de datos, la Escuela hace uso de pizarras y mesas. En ellas, explica la simulación que va a llevar a cabo y estudia los datos extraídos de la producción, una vez ha concluido la simulación. *(Ilustración 7)*



Ilustración 7: Pizarras y mesas (Escuela Lean, 2014)

Para transportar material de una zona a otra se usa la traspaleta. (*Ilustración 8*)



Ilustración 8. Traspaleta

Para llevar a cabo las simulaciones, la escuela pone a disposición de los alumnos herramientas (destornilladores, cronómetros, llaves, etc...) como se observa en la *Ilustración 9*.



Ilustración 9. Herramientas.

Todos estos materiales, facilitan al alumnado llevar a la práctica los conocimientos teóricos que han aprendido, aplicando las herramientas del *Lean* y fijando de esta manera, los conocimientos.

2.5.2 Distribución en planta

La Escuela tiene forma rectangular y se divide por áreas, diferenciando los espacios dedicados a las clases teóricas y a clases prácticas. Su distribución también cambia según las practicas que se lleven a cabo.

Para la producción de coches L34N, la Escuela, en su primera producción se distribuye de la siguiente forma: (Ilustración 10)

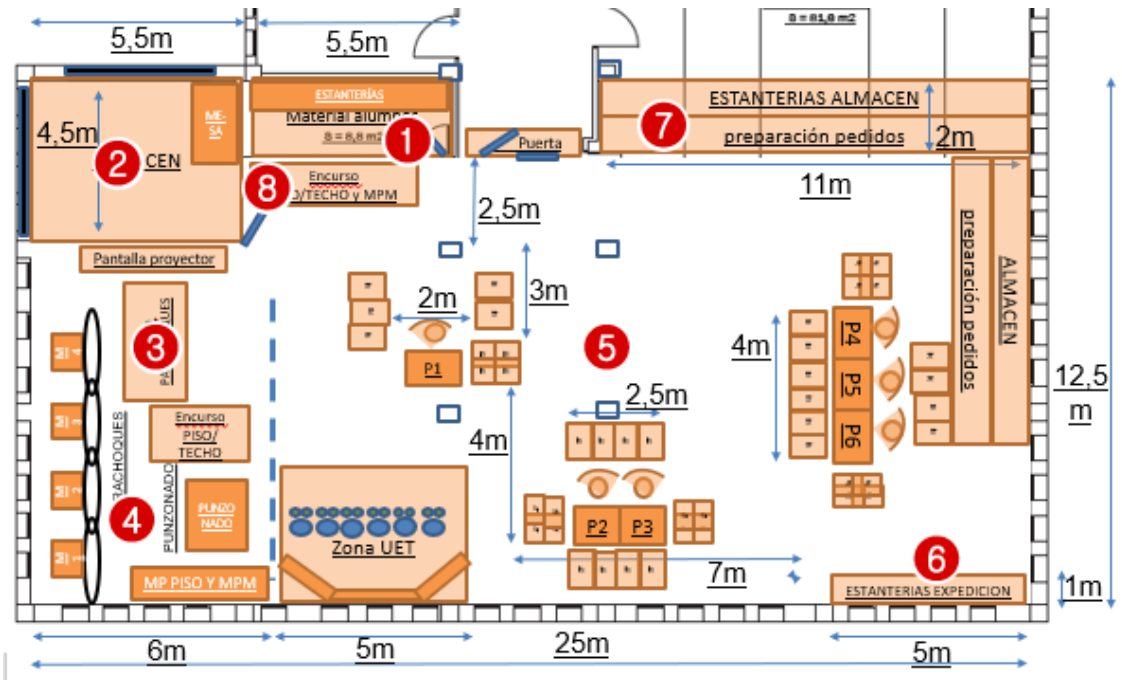


Ilustración 10: Lay-out Escuela Lean (2014). Recuperado de: Escuela Lean

Zona 1 (Almacén alumnos): Armario destinado a los alumnos para que puedan depositar sus pertenencias y recoger el material necesario: botas de seguridad, guantes, chaquetas..

Zona 2 (Almacén Escuela): Almacén destinado a guardar el material de la escuela, herramientas, estanterías, documentación, repuestos...

Zona 3 (Área de reunion): Lugar donde los alumnos reciben la formación.

Zona 4 (Área de mecanizado): En esta area se simula la fabricacion produccion de parachoques delanteros y traseros de los coches, tanto para monovolumen como para pick-up.

Zona 5 (Area de montaje): Lugar donde se forman las diferentes líneas de producción de la escuela. Conforme el desarrollo de los cursos, la configuración de las líneas se modifican, variando la distribución de los puestos de trabajo.

Zona 6 (Estantería expedición): Lugar donde se depositan los coches una vez son fabricados y el cual simula al cliente que recibe el coche.

Zona 7 (Pedidos del exterior): Lugar que simula el suministro de piezas por parte de proveedores de los coches L34N.

Zona 8 (Piezas en curso): Almacén donde se guardan las piezas mecanizadas dentro de la escuela.

Por último, para la producción de solectrones, la Escuela Lean se organizaría de la siguiente manera: (Ilustración 11)

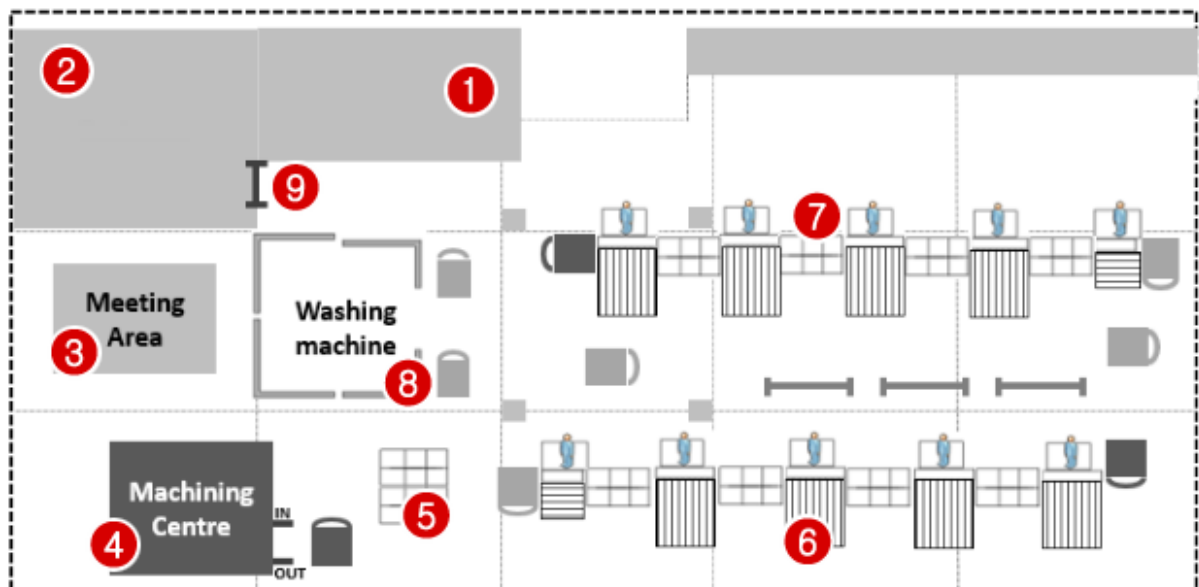


Ilustración 11: Lay-out solectron

Las zonas 1, 2 y 3 se mantienen igual en ambas producciones.

Zona 4 (Area de mecanizado): En esta zona se simula la producción de las bases del solectron.

Zona 5 (Area de suministro): Se suministran las piezas al área de montaje.

Zona 6 (Area de montaje): Esta zona esta destinada al montaje del solectron e inicialmente se encuentra formada por 5 puestos de montaje, conforme avance de los cursos, su tamaño se ve reducido.

Zona 7 (Area de reciclado): Es el lugar donde se desmonta el solectron para llevar a cabo su reciclaje.

Zona 8 (Area de lavado): Es el lugar donde se lavan las piezas una vez han sido recicladas y se preparan para volverse a utilizar.

Zona 9 (Cliente): Esta zona es el lugar final donde el cliente recibe el producto una vez finalizada su producción.

2.5 Cursos

Escuela Lean ofrece cinco programas de formación, cada uno de los cuales se especializa en diferentes herramientas *Lean*. En estos programas, los alumnos participan en un proyecto real que les permite la aplicación de los conceptos aprendidos.

La extensión de los cursos es de 2 días a 20 días.

❖ **Curso Manufacturing para Team Leader**

La duración de este curso es de 9 días. El curso está destinado a los mandos intermedios y jefes de producción de las fábricas y cuyo objetivo principal es el desarrollo de las competencias *Lean*.

Este curso, pretende que sus alumnos conozcan el origen y la filosofía *Lean Manufacturing*, lograr que identifiquen los despilfarros y llevar a la práctica las herramientas *Lean* más utilizadas.

❖ **Curso Lean Office/ Service.**

La duración del curso es de 2 días. El programa tiene como objetivo aprender las herramientas necesarias para aplicarlas en cualquier proceso administrativo reduciendo así los despilfarros de las empresas.

Este curso, procura que los alumnos aumenten la productividad, optimicen los flujos de información en sus empresas, reduzcan el “*Lead Time*” y ahorren material.

❖ **Lean Six Sigma Black Belt**

La duración de este programa es de 20 días. El curso está destinado a personas involucradas con el despliegue de programas de mejora continua y excelencia operacional.

Los objetivos de este curso son lograr que los alumnos aumenten sus competencias y, adquieran experiencia práctica que les facilite hacer uso de los recursos que les proporciona la Escuela para aumentar su autonomía y que puedan desarrollar una visión general de todas las herramientas “*Lean Six Sigma*”.

❖ **Lean Six Sigma Green Belt**

La duración de este curso es de 10 días. El programa tiene los mismos objetivos que el curso anteriormente citado, pero durante un periodo más corto de tiempo.

❖ **Just in Time Advanced**

La duración de este curso es de 3 días. El curso tiene como propósito lograr que los alumnos aprendan a llevar a cabo un diagnóstico de los flujos productivos y de trabajo de una empresa, detectando posibles áreas de mejora, reduciendo el stock de materiales en curso y de productos terminados.

2.6 Producciones de la Escuela

La Escuela Lean cuenta con dos líneas de producción basadas en diferentes productos, coches de tamaño reducido y solectrones. Dichas líneas, se usan para simular una producción industrial y enseñar a los alumnos los principios del *Lean* mediante su participación de forma activa en las producciones.

2.6.1 Producción de coches L34N

Para la producción de coches, la escuela cuenta con unos vehículos de pequeño tamaño, cuya fabricación se realiza con piezas de metal y piezas de plástico. El objetivo de este trabajo es el desarrollo y estandarización de una línea de reciclado y despiece de los coches, su desarrollo tendrá lugar en el apartado 5 del presente trabajo.

Hay dos tipos de coches que se mostraran a continuación en la *Ilustración 11*, pick-up(P) y monovolumen(M). Los coches a su vez, también se distinguen por colores, pueden ser de color azul (claro) o de color verde (oscuro). Además, también existe otro elemento de

diversidad: el modelo de ruedas, que puede ser de dos tipos, normales (N) o de tipo todoterreno (TT), cuya diferencia reside en el color de los tapacubos y el número de estrías de cada una de las ruedas. Tapacubos de color negro y con 4 estrías para el modelo todoterreno y tapacubos de color gris y 2 estrías para el modelo de tipo normal.



Ilustración 12: Coche L34N Pick-up(izquierda) y Monovolumen(derecha)

Por consiguiente, el modelo de coche L34N, en función de sus variantes, dispone de un total de 8 tipos diferentes de coches, como se puede observar en la *Ilustración 12*. Por otro lado, para complacer los deseos de los clientes y darles mayor capacidad de elección, los coches pueden tener mayor diversidad dependiendo de los colores de las luces delanteras y del salpicadero.

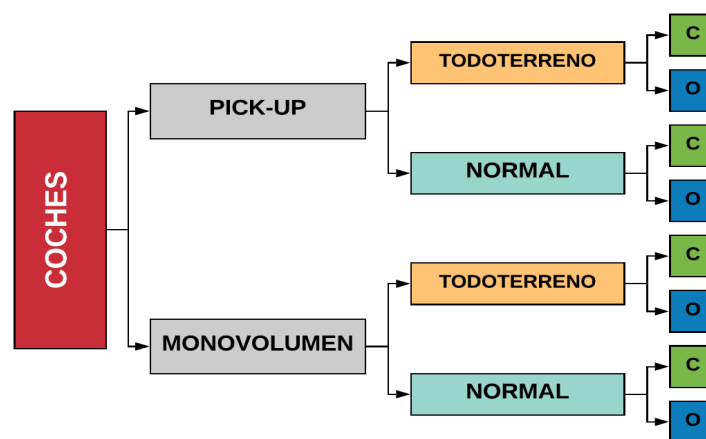


Ilustración 13: Diversidad coches L34N

2.6.2 Producción del solectron

El solectron tiene forma de cilindro y está formado por una base metálica sobre la que se acoplan 4 capas de diferente color. Todas las capas se unen mediante tornillos a la capa inferior que le corresponda. (*Ilustración 13*)



Ilustración 14: Solectron

Cada capa está formada por 4 piezas del mismo color: A, B, C y D. Todas ellas se unen como si fueran un puzle y se colocan unidas formando un aro alrededor de la base. Las capas del solectron son de igual forma alternándose dos a dos, es decir, la primera capa es igual que la tercera y la segunda capa es igual que la cuarta.

La segunda y la cuarta capa cuentan a su vez con 4 orificios con distintas formas, en los que se colocan 4 insertos con la forma de los orificios: cilindro, hexágono, rectángulo y ovalo. (*Ilustración 14*)

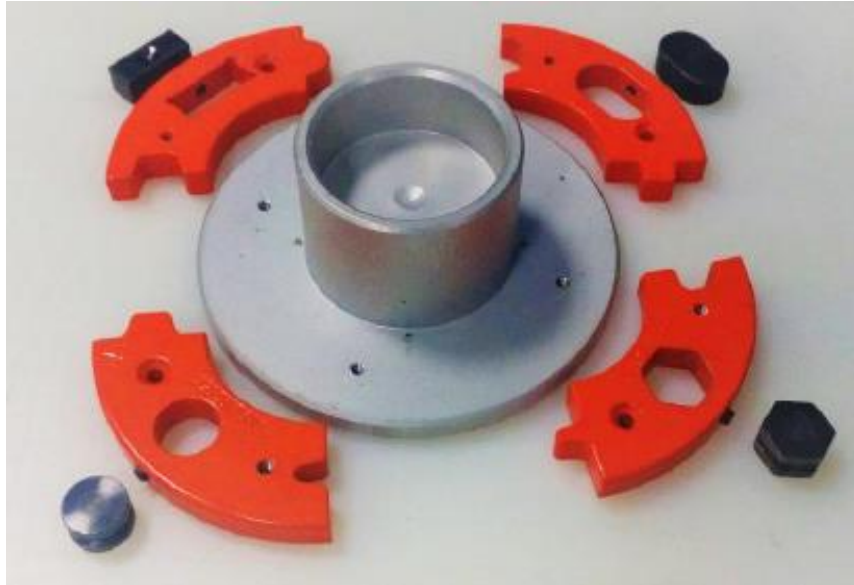


Ilustración 15: Insertos del solectron

3. Conceptos teóricos.

3.1 Lean Manufacturing

El objetivo de este apartado es dar una definición del *Lean Manufacturing*, mostrar quienes fueron sus precursores, su estructura (TPS) y cuáles son los principios en los que se basa.

3.1.1 Definición e historia

La palabra “*Lean*” es una palabra inglesa que traducida literalmente se significa “magro, sin grasa, delgado, flaco” pero unida a el término “*management*” cuya traducción es “gestión o administración”, obtenemos lo que conocemos como “*Lean Manufacturing*” termino que se aplica en los sistemas productivos y que traducido al español es “producción ajustada, ágil o esbelta”.

El *Lean Manufacturing* se puede definir como:

“proceso continuo y sistemático de eliminación de desperdicios o excesos, entendiendo como exceso toda aquella actividad que no agrega valor en un proceso, pero si genera un coste. Esta eliminación sistemática se lleva a cabo a través de grupos de personas bien organizadas y formadas.” (Socconini, 2019)

Taiichi Ohno y Shigeo Shingo fueron los pioneros del concepto *Lean Manufacturing*, en la fábrica de automóviles Toyota. Todo comenzó cuando la familia Toyoda decidido cambiar su negocio de una fábrica textil por el negocio automovilístico.

En 1950, Eiji Toyoda visitó la planta industrial de Ford en Estados Unidos y analizó todo su sistema de producción en masa. Eiji observó que el sistema de producción tenía muchos flujos inherentes y que se basaba solo en producir, provocando con ello, la sobreproducción. También, observó que se premiaba a los gerentes que producían grandes volúmenes de piezas con el fin de mantener a los operarios y máquinas en todo momento ocupados. Gracias al análisis de esta fábrica, la familia Toyoda, se dio cuenta de grandes oportunidades de mejora que podrían aplicar a su empresa en Japón.

Taichii Onho, a partir de los datos recogidos por Eiji, se dedicó a crear un nuevo enfoque de producción. Taichii conocía las debilidades del sistema de producción en masa y sabía que la producción artesana no era la elección adecuada para producir grandes volúmenes de

productos. De esta manera surgió el sistema productivo, Toyota Production System (TPS). (Tedeja, 2011)

Taichii Onho, se centró en la eliminación de desperdicios y logro crear una producción sin defectos. Cuando el sistema se detectaba algún fallo, se paraba y alertaba del problema a los operarios. El sistema de producción no volvía a ponerse en marcha hasta que el problema hubiese sido solucionado, este sistema se conoce como “jidoka”.

También determinó el “*just in time*”, observado la reposición en los supermercados estadounidenses, donde los productos eran sustituidos por ellos mismos. Cuando un cliente cogía un producto, el producto de detrás se deslizaba en la balda y pasaba a ocupar la posición del primero. Estos conceptos pasaron a formar parte de los pilares fundamentales del TPS.

Shigeo Shingo, por otro lado, desarrollo el cambio de herramientas en un minuto “SMED”, el cual permitió reducir el tiempo empleado en elaborar un producto y simplificar los cambios de herramientas. Gracias a este hecho, se logró adaptar la demanda a diferentes modelos de producción.

3.1.2 Sistema de producción de Toyota, la casa de Toyota

Para conocer el sistema de producción de Toyota y con ello las herramientas *Lean* nos apoyaremos en la Casa de Toyota, estructura que lo representa. Toda casa se debe construir desde los cimientos, que, en este caso, aportan estabilidad a una filosofía orientada a largo plazo.

Este sistema explica como una casa porque representa una estructura que es compacta y fuerte, siempre y cuando los cimientos y las columnas permanezcan unidos, si alguna de las partes se viese dañada, se debilitaría todo el sistema. La casa TPS está formada por un tejado, corazón, techo y cimientos (*Ilustración 15*):

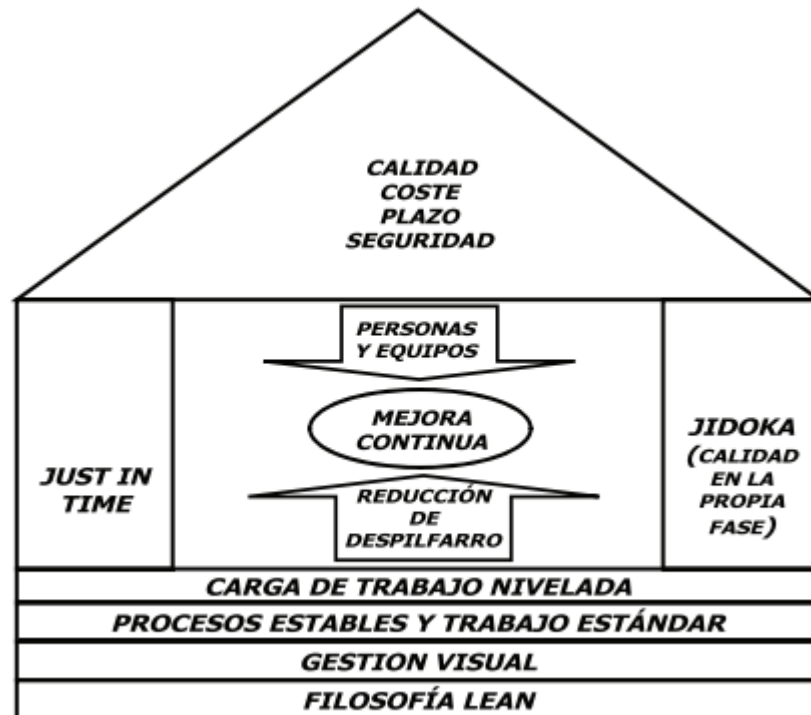


Ilustración 16: La casa de Toyota.(Liker 2010)

En el corazón de la casa, se encuentran las personas orientados a la mejora continua reduciendo el despilfarro.

En los pilares se encuentran las herramientas *Lean*, “*just in time*” (fabricar la cantidad necesaria de un producto en el momento que se requiere) y “*jidoka*” (uso de técnicas para detectar y corregir fallos en la producción).

El tejado representa los resultados que se espera obtener gracias a la estructura de la casa. El objetivo de este sistema es lograr fabricar el mayor número unidades de un producto, reduciendo los costes y el “*Lead Time*”.

3.1.3 Principios fundamentales del sistema Lean.

De acuerdo con la obra “*The Toyota way*” los principios de un sistema lean y claves para alcanzar el éxito son 5 (Liker, 2014):

1. **Identificar el valor:** Para identificar el valor de un producto, es necesario conocer que esperan los clientes del producto, porque están dispuestos a pagar y la combinación de estas características. Para ello es muy importante identificar que es el despilfarro.

2. **Análisis de la cadena de valor:** La cadena de valor es la secuencia de actividades necesarias para entregar un producto al cliente. Para identificar las actividades que aportan o no valor, se puede hacer uso de su impresión en papel o análisis de planos.
3. **Flujo continuo:** La idea de flujo continuo sería respetar el “*tack time*” que marca el cliente, es decir el ritmo pieza a pieza, evitando inventarios y despilfarros.
4. **Sistema Pull:** En este sistema, el cliente es el que debe tirar de la producción, es decir, el cliente es quien marca el ritmo de producción para lograr que el producto se entregue en el momento preciso, este concepto se desarrolla a partir del “*just in time*”.
5. **Mejora continua (Kaizen):** Kaizen es una palabra japonesa cuyo significado es “mejorar para bien”. Como se muestra en la ilustración, la traducción de “Kai” es “cambio” y de “Zen” es “bien” en japones.

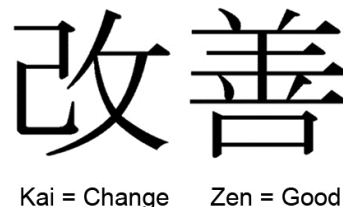


Ilustración 17:Kaizen.(Titu,2010)

Es un método de mejora continua, que busca la mejora de la productividad, eficiencia y calidad para lograr adquirir la excelencia día a día. (Titu, 2010). Se enfoca en:

1. Mejorar a través de pequeños pasos.
2. Sin realizar inversiones grandes
3. Participación de todos los empleados
4. Introduciendo las mejoras rápidamente.

3.1.3 Despilfarros

Son aquellas operaciones que no añaden valor al producto y pueden ser eliminadas. Es decir, operaciones en las que el cliente no estaría dispuesto a pagar por ellas. Según señala (Liker, 2014) la mayoría de los procesos en un negocio son el 90% despilfarros y un 10% de trabajo con valor añadido como se muestra en la *Ilustración 18*.

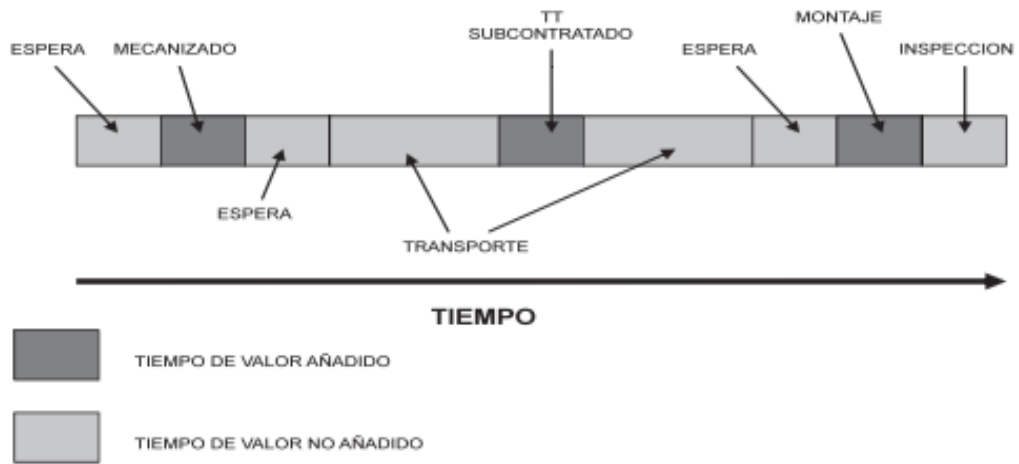


Ilustración 18: Tiempos de un proceso. (Liker, 2014)

En la *Ilustración 19* se muestran los despilfarros que pueden aparecer en cualquier empresa, son un total de 7+1 despilfarros (Liker, 2014):



Ilustración 19: Los despilfarros de una empresa. (Lean Manufacturing hoy, 2017)

1.Sobreproducción: Hace referencia a la producción que no se ajustada a la demanda, incluyendo la producción de artículos que no interesen a los clientes o cuando se planifica erróneamente la producción. Esto provoca ocupación del personal, almacenamiento y coste de transporte debido al exceso de inventario.

2.Esperas: Tiempos muertos tanto del personal como de las máquinas. Suele ser debido a esperas provocadas por el siguiente proceso (herramientas, configuración, etc.), cuando la demanda excede la capacidad de producción, si existen paradas de máquinas o hay un mal equilibrado en los puestos de trabajo.

3.Transporte: Se refiere al transporte de personas, productos o documentos que no generan ningún valor para la empresa. Suele aparecer debido al lay-out, una mala gestión de stocks o debido al flujo de planta. Esto supondría un coste para la empresa, debido al combustible, la mano de obra, la excesiva manipulación y el almacenamiento intermedio de productos

4.Inventarios: exceso de material en bruto, WIP o productos terminados que provoca obsolescencia, material dañado, coste de transporte, coste de almacenamiento y retrasos. La gran acumulación de inventarios puede ser un claro síntoma de una producción no equilibrada.

5.Movimientos innecesarios: es cada movimiento desperdiciado que tiene que realizar el trabajador para llevar a cabo su actividad, como buscar herramientas, desplazarse, apilar material, etc... Suele ser provocado por el desorden en los puestos o un lay-out incorrecto. Por eso hay que respetar los 4 principios de la economía de movimientos:

- **NU:** Reducción del número de movimientos evitando hacer gestos inútiles.
- **MI:** Ejecución de movimientos de manera simultanea
- **DI:** Disminución de la distancia y de la amplitud de los movimientos
- **FA:** Realizar movimientos fáciles

6.Defectos: se produce cuando el producto no se realiza bien a la primera y suele aparecer si existe bajo nivel de estandarización o si en el proceso no se asegura correctamente el nivel de calidad requerido por el cliente. Este despilfarro provoca producción de piezas defectuosas, reparar, reemplazar la producción e inspección, lo cual supone un desperdicio de tiempo de manejo además de no aportar valor añadido.

7.Sobreproceso: se generan cuando los procesos no son supervisados u optimizados, lo cual provoca un procesamiento ineficiente debido al uso de herramientas inadecuadas o al diseño defectuoso del producto, causando movimientos innecesarios o productos deficientes.

+1. No utilizar el talento: Hace referencia a desaprovechar el talento de los empleados, desperdiciando sus ideas, habilidades, medidas y ganas de aprender.

También existe un último despilfarro que es considerado por algunos autores como Peter Hines y que se identifica como:

+1. La energía: hace referencia al gasto de la energía y al excesivo uso de materias primas y recursos durante la producción. En este último despilfarro también se tiene en cuenta los gases de efecto invernadero que son emitidos a la atmósfera en el proceso productivo.

Hoy en día, cada vez más empresas apuestan por las energías renovables y tienen como meta el respeto por el medio ambiente. Por este motivo, han surgido nuevos proyectos más ecológicos y con ellos la necesidad de buscar sinergias entre el “*Lean*” y “*Green*”, intentando ahorrar mediante la reutilización de productos, selección de desechos y el reciclado.

La herramienta *VSM (Value Stream Mapping)* asocia ambos conceptos en el proceso productivo a través de su objetivo, la eliminación de residuos. Ayuda a analizar y visualizar los flujos de producción, identificando posibles mejoras y desperdicios. (Verrier, Rose, & Caillaud, 2016)

Como veremos más adelante la invocación es fundamental para el desarrollo sostenible y requiere un conocimiento de todos los desechos, por eso muchos investigadores desarrollan el concepto “*Lean*” para alcanzar este desarrollo. (Hartini & Ciptomulyono, 2015)

3.2 Economía circular.

La economía circular (EC) se ha desarrollado por todo el mundo desde principios del año 2000, pero sus raíces teóricas son mucho más antiguas como se mostrará en el apartado 3.2.1

El concepto de economía circular es un concepto bastante actual y gran parte de su desarrollo se debe gracias al trabajo de la Fundación de Ellen MacArthur.

La economía circular es reparadora, regenerativa y es considerada como un nuevo sistema económico y social. Cuyos objetivos son eliminar los desperdicios dañinos para el medio ambiente, promover el uso de productos naturales, que puedan ser reabsorbidos por la biosfera sin resultar perjudiciales para ella, la reutilización de materiales que no puedan ser devueltos a la biosfera y la reducción del consumo y desperdicio de materias primas, agua y fuentes de energía.

En la economía circular se pretende que “el valor de los productos, materiales y recursos se mantenga en la economía durante el máximo tiempo posible y la generación de desechos se

minimice” (Comisión Europea, 2015) Por ello, la EC propone un “flujo cíclico” para llevar a cabo estos propósitos. (Stahel, 2016).

La economía circular cuenta con numerosas opciones para crear valor para los productos sin el uso de los recursos finitos. La idea de la economía circular es que el consumo de recursos solo se lleve a cabo mediante ciclos biológicos eficaces, evitando de esta manera generar residuos. Estos ciclos, son ciclos de desarrollo positivo, es decir, que ayudan a mejorar y conservar el capital natural, aprovechado el máximo posible el rendimiento de los recursos y reduciendo el uso de las reservas finitas.

Hay dos tipos de ciclos significativos para la economía circular, el ciclo de los nutrientes biológicos y el ciclo técnico de nutrientes: (Ellen MacArthur Foundation, 2020)

- **Ciclo de nutrientes biológico:** gestiona los flujos de materiales renovables. Los alimentos y otros materiales cuya base sea de origen biológico. Los productos hechos con estos materiales serán diseñados para volver a entrar en la biosfera de forma segura, para lograr que la descomposición sea útil en próximos ciclos.
- **Ciclo de nutrientes técnico:** se gestiona el uso de las reservas finitas, los productos son diseñados para recuperar y restaurar todos sus componentes.

Como se puede observar, la filosofía de las 3R (Reducir, reciclar y reutilizar) tiene un papel muy importante en la economía circular. (Murray, Keith, & Kathryn, 2015)

Los campos de acción de la Economía Circular son 5: extraer, transformar, distribuir, usar y recuperar. Y conforme al desempeño de la EC en mercado, existen tres niveles que varían con la participación e influencia de los grupos de interés: Micro, meso y macro. (Prieto-Sandoval, Jaca & Ormazabal, 2017)

- **Micro:** es de carácter individual, las empresas se centran en mejorar sus procesos productivos, el uso de energías renovables y el uso eficaz de las materias primas en el diseño de sus productos intentando que sean de carácter eco.
- **Meso:** en este nivel, las empresas y organizaciones empiezan a colaborar entre ellas compartiendo recursos o reutilizando los residuos que generan.
- **Macro:** las organizaciones colaboran en conjunto y tienen características comunes que les permite realizar simbiosis. Las iniciativas pueden ser a nivel nacional o regional.

La economía circular también se puede clasificar de acuerdo con tres principios u objetivos, que son considerados los principios de actuación: (MacArthur Foundation, 2020)

- 1. Preservar y mejorar el capital natural:** se controlan las reservas finitas, se equilibran los flujos de los recursos naturales y se colabora con el desarrollo y mejora de los recursos renovables. También, cuando es posible, en la economía circular se eligen procesos y la tecnología que emplean recursos renovables. Además, con este principio se pretende diseñar los residuos que son generados con el fin de mejorar la eficacia de los sistemas.
- 2. Optimizar el rendimiento de los recursos:** se lleva a cabo tanto en el ciclo técnico como en el biológico, explicados anteriormente. Para ello, se distribuyen los materiales y componentes que forman los productos pensando en su reutilización, reciclaje y su duración, asegurando lograr su máxima utilidad. También, se incrementa el número de ciclos consecutivos para lograr la reutilización de todos los bienes.
- 3. Promover la eficacia de los sistemas detectando y eliminando del diseño los factores externos negativos:** Este principio, se consigue minimizando los daños en los sistemas y en los ámbitos que repercutan en las personas y el medio ambiente.

En el diagrama de la *ilustración 20* conocido como el “diagrama de la economía circular” o “diagrama de mariposa”, se muestran los 3 principios mencionados. El primer principio se correspondería con la parte inferior del diagrama, el segundo con la parte central y el tercero con su parte superior. También se ilustran los flujos continuos de materiales técnicos y biológicos y a su vez se añade el valor financiero.

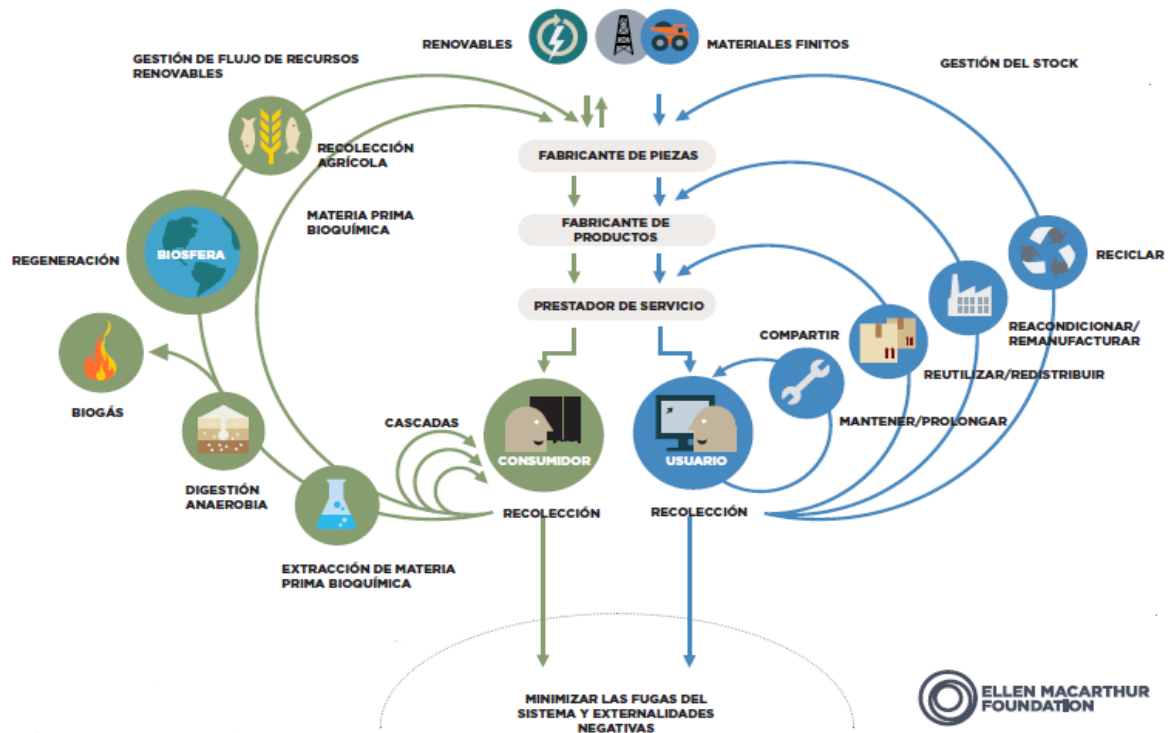


Ilustración 20: Diagrama del sistema de economía circular, (MacArthur Foundation, 2020)

3.2.1 Origen de la economía circular.

Es fácil identificar el pensamiento de la economía circular con el desarrollo del pensamiento ecológico, debido a que ambos persiguen el mismo fin, cuidar del medio ambiente.

Los debates ecológicos aparecieron por primera vez después de la Segunda Guerra Mundial, con el impacto de la bomba atómica que produjo la entrada de la humanidad en la “era de la ecología” y la guerra de Vietnam debido al gran uso de herbicidas sintéticos. En los años 60, se realizaron importantes publicaciones como el libro de Rachel Carson “*Silent Spring*”, *Primaveras Silenciosas*, en 1962 (Carson, 1962). Este libro es considerado uno de los principales responsables de la aparición de los movimientos ecologistas. (Gallaud & Laperche, 2016)

A estas catástrofes, se sumaron otras que llamaron la atención de los cargos políticos más importantes: el derrame de petróleo en 1967 de Toret Canyon en EE. UU, el gas Bhopal en India en 1984, el desastre de Chernobyl en 1986 o el desastre nuclear de Fukushima en 2011, los cuales hoy en día aún tienen repercusión. Estos hechos provocaron la celebración de numerosas conferencias. La primera de ellas se celebró en 1972 en Estocolmo.

Pero fue hace 33 años cuando se acuñó el concepto “desarrollo sostenible”. Este término apareció por primera vez en el “*Informe Brundtland*” en 1987 y con sello de la ONU. Con este nuevo concepto se pretende según el informe que “*Se satisfagan las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*” (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1987)

A raíz de este hecho, se impone un objetivo global, basado en el avance hacia el desarrollo sostenible y con ello, el uso racional de los recursos naturales frente al despilfarro. En 2001, se incorpora este concepto a la Unión Europea en Consejo Europeo de Gotemburgo, donde se fomenta la integración definitiva en las políticas económicas y sociales como un pilar de la Estrategia Comunitaria para el Desarrollo Sostenible.

Es a partir de ese momento, cuando se instala el principio de desarrollo sostenible en cada Estado Miembro en consonancia con la visión estratégica de la Unión, fundamentada en la integración económica, social, ambiental y global. Este hecho es el resultado de la consecución de una serie de objetivos: “asegurar el progreso de la economía, velar por el medio ambiente, evitar la degradación del capital humano, promover los enlaces sociales y contribuir al desarrollo de los menos favorecidos” (García, 2018)

3.2.2 Estrategias de diseño de productos “escuelas de pensamiento”

Las estrategias para el diseño de productos son muy importantes. Por ello, es necesario estudiar los materiales que van a formar parte de los productos, sus propiedades y características, como poder reutilizarlos o incorporarlos de nuevo a la biosfera, una vez se haya finalizado su uso. Por este motivo, hay varios campos de estudio y numerosas técnicas que ayudan a dejar a tras el sistema económico lineal y que son catalizadores de la economía circular (Prieto-Sandoval, Jaca, & Ormazabak, Economía circular, 2017). Alguno de los campos de estudio que considero más importantes y que procederé a explicar brevemente son: la eco-eficiencia, *cradle to cradle*, biomimesis, *blue economy*, el diseño regenerativo o el capital natural.

La **eco-eficacia** busca reducir las consecuencias negativas no intencionadas de los procesos producción y de consumo, se centra en crecimiento de productos o sistemas industriales que mejoran la calidad y la productividad de los materiales con los que se fabrican en los ciclos de vida posteriores. (Braungart, McDonough, & Bollinger, 2007)

Uno de sus principales integrantes es el concepto “*cradle to cradle*” (de la cuna a la cuna), es una idea que pretende evitar que se produzcan impactos perjudiciales en el entorno, mediante la elección de productos pensando en un proceso de eliminación seguro. Es decir, los diseñadores de productos han de planificar su duración para evitar generar residuos.

Si el producto está diseñado conforme al concepto de la cuna a la cuna (*Ilustración 20*), no se producirán efectos negativos para el medio ambiente dentro de su ciclo de vida y todos los materiales que formen el producto, podrán ser reutilizados sin producir desechos, evitando así la pérdida de recursos naturales. (Haggar, 2010)

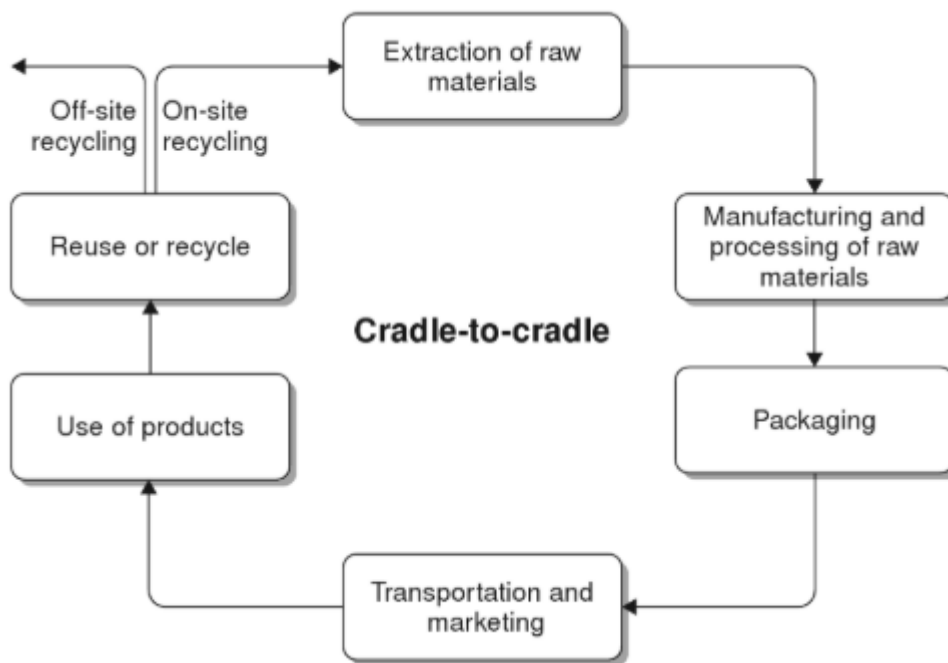


Ilustración 21: Ciclo de vida de un producto. (Haggar, 2010)

Los impactos ambientales y de salud es un tema que cada vez preocupa más a las personas y a los organismos gubernamentales. Por ello, es necesario acabar con las técnicas de incineración o eliminación de materiales a través de vertederos que tanto afectan al desarrollo sostenible. Es muy importante intentar aproximarse o lograr aplicar el concepto “*cradle to cradle*” en lugar de “*cradle to grave*”. Para conseguir este fin, McDonough y Braungart manifestaron tres principios:

1. **Basura=alimento:** Este principio se inspira en los sistemas naturales, en los cuales no existe el concepto desperdicio. Haciendo referencia a los productos que después de su uso consideramos basura y que pueden llegar a ser un nutriente biológico para la tierra o un elemento que se pueda reintroducir en el proceso productivo.

2. **Energías renovables:** Es necesario utilizar la energía renovable que se encuentra a nuestro alcance, ya que es una energía limpia, de bajo coste de operación y no produce emisiones durante su uso.
3. **Diversidad:** Es importante valorar la diversidad natural que tiene nuestro planeta y sacar provecho de ella, ya que para lograr completar los ciclos de materiales es necesario la colaboración de sectores industriales, consumidores y organismo gubernamentales.

La **biomimesis** consiste en análisis de la forma y estructura de la naturaleza para utilizarla como guía para la innovación de productos (Benyus, 1997), imitando soluciones que la naturaleza ha sabido llevar a cabo, para resolver problemas con la ayuda de sus propios recursos.

Gracias al estudio de la biomimesis se pueden fabricar materiales más resistentes inspirados en alguna forma de la naturaleza como por ejemplo: las telas de araña, que son elásticas y muy resistentes, incluso más que un cable de acero de su mismo grosor y cumplen gran cantidad de funciones. La naturaleza también puede servir como guía en el diseño de construcciones o desarrollo de estructuras o incluso, también se pueden analizar las llamadas de los animales para desarrollar sensores que ayuden a detectar seísmos. Por eso, la biomimética considera que podemos resolver problemas de la actualidad emulando los patrones y estrategias de la naturaleza.

La economía azul conocida por "**Blue economy**" fue fundada por Gunter Pauli, quien quiere emular los sistemas naturales a través del uso de la física, química, biología con materiales renovables y prácticas sostenibles. (Pauli, 2010) La economía azul pretende garantizar que los ecosistemas puedan mantener su ciclo evolutivo, para que las personas después se puedan beneficiar de su forma, estructura y adaptación en la naturaleza. Por eso, Pauli propone que todas las necesidades de las personas sean cubiertas a partir de los recursos que dispone.

El **diseño regenerativo** comenzó a aplicarse más allá de la agricultura gracias a John T. Lyle, quien comenzó a desarrollar ideas aplicables a todos los sistemas. Lyle pretendía que todos los sistemas se renovasen o regenerasen los materiales y fuentes de energía que consumen.

El **capital natural** se refiere a las reservas mundiales de activos naturales, que incluyen todos los seres vivos, el aire, el agua y el suelo. (Macthur, 2020). El capitalismo natural también

reconoce la relación entre la producción y el uso del capital producido por el ser humano y la conservación y formación del capital natural. (Hawken, Lovins, & Lovins, 2002).

El capitalismo natural está constituido por 4 principios fundamentalmente:

- **Incremento radical de la productividad de recursos naturales:** La reducción de desperdicios y la minimización de la destrucción de recursos generan grandes ahorros y nuevas oportunidades de negocio. Estos hechos son posibles gracias a los cambios radicales en el diseño, la tecnología y la producción aprovechando de manera eficiente los recursos naturales.
- **Cambiar a modelos de producción inspirados biológicamente:** El capitalismo natural busca eliminar el concepto de desperdicio o desecho, modelando sistemas de producción de ciclo cerrado basados en la naturaleza, devolviendo cada producto al ecosistema o reconvirtiéndolo en un útil para otro proceso productivo. (Lovins, Lovins, & Paul, 1999)
- **Avanzar hacia un modelo de negocio basado en soluciones:** Reajuste de la percepción del valor de los bienes, aportando valor a partir del modelo de nuevo basado en el flujo continuo de servicios dejando atrás el modelo de fabricación tradicional de venta de productos. Además, se establece intereses comunes entre clientes y proveedores premiando el aumento productivo de los recursos y la visión de un flujo cerrado.
- **Reinvertir el capital natural:** El aumento de presión sobre el capital natural provocado por las necesidades humanas, incrementa la necesidad de regeneración y expansión de los recursos naturales, que a su vez generan nuevas oportunidades de negocio.

3.2.3 La económico lineal vs la economía circular

La economía circular se ha convertido en una alternativa del modelo económico actual, el modelo económico lineal, cada vez más criticado y que se fundamenta en la extracción de materias primas para fabricar productos, producción de esos bienes, venta de los productos para su consumo y su eliminación como residuos. Por lo tanto, el ciclo de vida del producto, desde que son fabricados hasta que son eliminados, es muy corto. Pero, la característica fundamental de este sistema es que, para todos los productos o bienes, llega un instante en el que se vuelven inútiles, es decir tienen un final. (*Ilustración 22*)

ECONOMÍA LINEAL



Ilustración 22: Economía Lineal. (Ecoembes, 2020)

La economía lineal se basa principalmente en el crecimiento económico y el consumo continuo. Lo cual está provocando hoy en día consecuencias en el medioambiente. Anteriormente, con este sistema no habían surgido problemas porque no se tenía en cuenta la limitación de los recursos y se conseguían de manera rápida y sencilla. Esto sumando a la falta de concienciación con el medio ambiente y al aumento de la economía de consumo desde la década de los 50, provoca que se haya incrementado factores externos negativos, afectando a la sociedad y a la economía.

Por otro lado, este modelo económico también aumenta la exposición a posibles riesgos, debido principalmente a la fluctuación de los precios de los recursos y suministro de ello. Además, a estos problemas hay que sumarle la volatilidad de los precios de los metales, los alimentos y la producción agrícola durante la primera década del siglo XXI, llegando a alcanzar los precios más altos que en cualquier otra década del siglo XX (Macarthur Foundation, Towards the circular economy: Accelerating the scale-up across global supply chains. Volumen 3, 2014). Con la crecida de la población de casi 3 millones para 2030, se espera que los altos precios continúen subiendo si no se actúa y se aportan soluciones.

Aún hay más señales que indican que el modelo lineal está llegando a su fin: (Macarthur Foundation, Towards the circular economy: Accelerating the scale-up across global supply chains. Volumen 3, 2014)

- **La ecoeficiencia** ha provocado un aumento del uso de energía y agotamiento de los recursos, causando un efecto rebote al mejorar estos sistemas.
- El lento crecimiento de la **productividad agrícola** y el deterioro de la fertilidad del suelo.
- El suministro de **seguridad**.
- **Producción** con excesivos recursos naturales.

Además, el modelo lineal supone pérdidas innecesarias de recursos en múltiples formas: (Macarthur Foundation, 2014)

- **Residuos en la cadena de valor:** Por lo general, se pierden grandes volúmenes de material durante la producción de bienes. Por ejemplo: SERI (*The Sustainable Europe Research Institute*) considera que se pierden más de 21 mil millones de toneladas de materiales durante la fabricación de productos en países de la OCDE.
- **Residuos generados al final de la vida de un producto:** en la mayoría de las ocasiones los residuos generados no son reutilizados por las empresas.
- **El uso de energía:** en la economía lineal el uso de recursos energéticos es mayor durante la extracción y conversión de los materiales. Si no se introdujesen nuevos materiales a la cadena de producción cada vez que se fabrica bienes y se reutilizasen los productos, se ahorraría energía y se recuperaría una parte de la energía gastada durante la producción.
- **Erosión de los servicios del ecosistema:** En la actualidad, la humanidad consume más de lo que nuestro planeta es capaz de producir de forma sostenible.

A todos estos problemas hay que sumarles, la tendencia negativa de los desequilibrios actuales debido a: las tendencias demográficas, con el aumento de la población y el crecimiento económico de algunos países; los riesgos políticos cuyas decisiones pueden llegar a empeorar la escasez de recursos o aumento de los precios; los mercados globalizados que pueden provocar que las fluctuaciones de precios regionales se conviertan en globales y por último, el clima que puede llegar a afectar gravemente a la agricultura o al agua dulce.

Es por estos motivos que el modelo lineal no se puede mantener debido a su insostenibilidad. Gracias a la preocupación por los efectos de la contaminación se han llegado a firmar tres acuerdos: El Acuerdo Paris, la Agenda 2030 y la Declaración ministerial de la Asamblea de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente, cuyo propósito es claro:

“Es necesario avanzar en la implementación de un modelo de desarrollo y crecimiento que permita optimizar la utilización de los recursos, materiales y productos disponibles manteniendo su valor en el conjunto de la economía durante el mayor tiempo posible y en el que se reduzcan la generación de desechos.” (Gobierno de España, 2018)

Para conseguir estos objetivos, cada vez más instituciones y organismos gubernamentales apuestan por el modelo de economía circular como mecanismo para lograr un crecimiento y desarrollo de la economía más sostenible. Es por este motivo, que la Unión europea propuso

el siguiente diagrama en 2018 (*Ilustración 23*) mostrando la economía circular de manera simplificada.



Ilustración 23: Diagrama de la economía circular (European Commission, 2018)

La EC ofrece importantes soluciones y beneficios para lograr reducir la contaminación y conservar nuestro patrimonio natural.

Beneficios en diferentes sectores: (Gobierno de España, 2018)

- **Beneficios empresariales:** ofrece la creación de nuevas líneas de negocio, mayor seguridad en las cadenas de suministros y minimización de los costes de gestión de residuos
- **Beneficios económicos y sociales:** creación y fomento de nuevos mercados y empleos, mejora del posicionamiento y la competitividad empresarial actual.
- **Beneficios medioambientales:** ahorro y protección de materias primas como el agua, el suelo o el aire, reducción de residuos gracias a los flujos cíclicos logrando aprovechar gran parte de ellos y el aumento del uso de energías renovables.

Para la consecución de estos objetivos y lograr una transición de la economía lineal a una economía circular es fundamental la coordinación entre todos los agentes económicos y



Administraciones. Además del desarrollo tecnológico, fomento de la investigación e innovación en procesos productivos y productos y colaboración entre empresas públicas-privadas. (Gobierno de España, 2018)

4. Situación actual. Línea de montaje.

En el presente capítulo se mostrará el montaje de los coches L34N en las distintas fases de producción de la Escuela Lean, aunque este no sea el objetivo del trabajo, es fundamental comprender y analizar el montaje de los coches para poder llevar a cabo el diseño de la línea de reciclado.

En la línea de reciclaje se realizarán procesos similares y se aplicarán las mismas herramientas que en la línea de montaje, al tratarse del mismo proceso, pero a la inversa. Es decir, la última pieza que se monte en el último puesto de montaje será seguramente la primera que se desmonte en el primer puesto de reciclaje. Por este motivo, resulta de gran importancia comprender el proceso de montaje.

Para llevar a cabo la producción de los coches hay que tener en cuenta los distintos modelos de coches, pick-up y monovolumen. El pick-up tarda mucho menos tiempo en fabricarse dado que tiene un menor número de piezas y tornillos. Más tarde, veremos cómo es esencial tener en cuenta este aspecto y poder sacar provecho de esta diferencia de tiempos.

Por otro lado, en el montaje de coches hay que tener en consideración la diversidad de los coches, recordando del apartado 2.6.1 la *Ilustración 12* donde obteníamos un total de 8 tipos diferentes de vehículos, según el modelo, el color (claro u oscuro) y el tipo de ruedas por las que estuviera formado (ruedas todoterreno o normales). A parte de la diversidad, también hay que tener en cuenta el listado de las piezas (Anexo 1), los planos de los coches y las FOP (fichas de operación del proceso). Estos aspectos también serán tenidos en cuenta en el apartado 5.

En el montaje de coches podemos encontrar un total de 4 fases producción, las cuales se diferencian en el grado de conocimiento de la línea de montaje y en la aplicación de las diferentes técnicas y herramientas *Lean*. Estas fases se mostrarán y analizarán en los siguientes apartados: situación inicial, situación intermedia 1, situación intermedia 2 y situación final.

En estas producciones hay un total de 6 puestos de montaje, el taller que cuenta con máquinas de simulación semiautomáticas (estampadora, punzadora y de mecanizado) y cuyo uso es la preparación de algunas piezas como el suelo y los almacenes de preparación de los pedidos, que se encargan de suministrar las piezas para el montaje de los coches, simulando a los proveedores.

Los puestos de montaje pueden incluir diferentes operaciones, dando lugar a una infinidad de combinaciones para los distintos puestos. Además, todos los puestos deben conseguir realizar todas sus operaciones en un tiempo de 2 minutos.

Según el cuadro de equilibrado proporcionado por los responsables de la Escuela Lean, las operaciones se podrían establecer de la siguiente manera (*Ilustración 24*)

Puesto Operario	Modelo	Tiempo	
		1min	2min
Puesto 1	Monovolumen	Plac Orden	Pre-Atornillar Ruedas y Perfiles L
		Plac Div. asi dad	Pre-Atornillar Ruedas y Perfiles L
Puesto 2	Monovolumen	Plac Div. asi dad	Pre-Atornillar Ruedas y Perfiles L
		Plac Div. asi dad	Pre-Atornillar Ruedas y Perfiles L
Puesto 3	Monovolumen	Atornillar Puerta delantera izquierda	Pre-Atornillar puerta trasera izquierda
		Pre-Atornillar Puerta delantera izquierda	Pre-Atornillar puerta trasera izquierda
Puesto 4	Monovolumen	Pre-Atornillar Puerta delantera izquierda	Pre-Atornillar Puerta trasera izquierda
		Pre-Atornillar Puerta delantera izquierda	Pre-Atornillar Puerta trasera izquierda
Puesto 5	Monovolumen	Pre-Atornillar Puerta delantera izquierda	Pre-Atornillar Puerta trasera izquierda
		Pre-Atornillar Puerta delantera izquierda	Pre-Atornillar Puerta trasera izquierda
Puesto 6	Monovolumen	Pre-Atornillar Puerta delantera izquierda	Pre-Atornillar Puerta trasera izquierda
		Pre-Atornillar Puerta delantera izquierda	Pre-Atornillar Puerta trasera izquierda

Ilustración 24: Cuadro de equilibrado

4.1.1 Producción inicial

En la producción inicial, los puestos no están equilibrados, debido a que los alumnos no tienen ningún tipo de conocimiento previo sobre la producción y por tanto, no conocen el tiempo que se tarda en realizar cada operación, provocando que la distribución de operación se realice sin ninguna base previa.

Por otro lado, en esta producción se trabaja en lotes de 4 con estanterías traseras y contenedores alrededor del puesto, provocando que haya mala ergonomía de los puestos de trabajo debido a los giros y a los desplazamientos que tienen que hacer los operarios y peligro de accidentes al tener objetos por debajo de la rodilla en el suelo. La unión de todas estas desventajas provoca un caos en la producción.

En las siguientes ilustraciones se mostrarán la distribución del área de montaje y de los puestos de trabajo.



Ilustración 25: Máquina de simulación (estampadora)



Ilustración 26: Puesto de montaje 1



Ilustración 27: Puesto de montaje 2 y 3



Ilustración 28: Puesto de montaje 4,5 y 6

La distribución en planta en la producción inicial se muestra en la *Ilustración 29* donde podemos observar la gran cantidad de espacio que ocupan los puestos de montaje además de todas las cajas que se distribuyen a su alrededor.

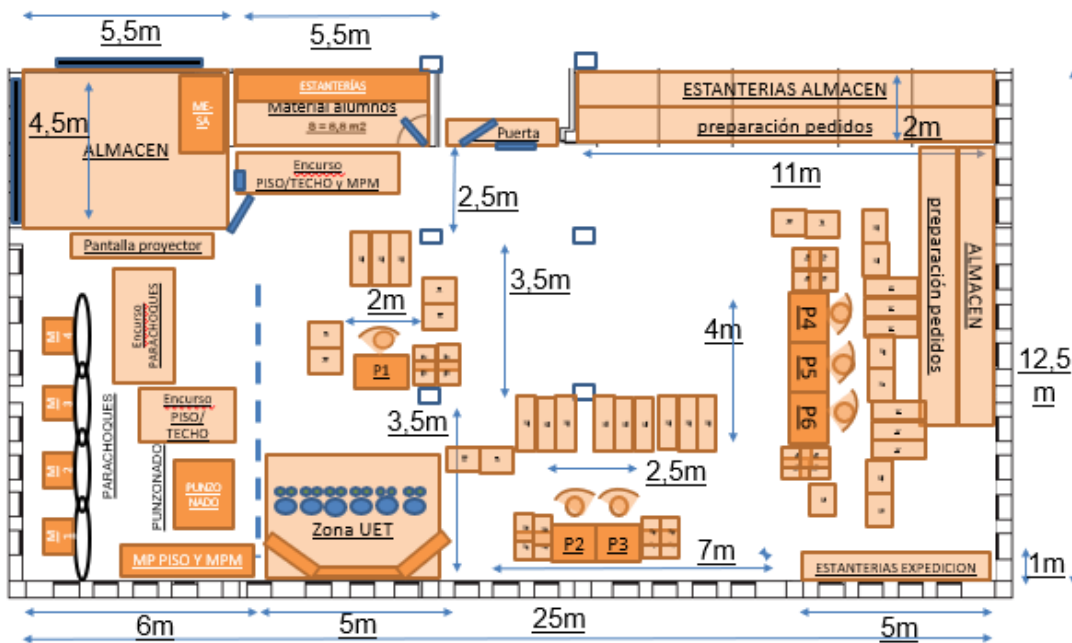


Ilustración 29: Lay-out inicial

4.1.2 Producción intermedia 1

En esta producción no se realizan cambios en la distribución de los puestos, pero como ya se ha realizado una producción, se conoce el tiempo aproximado que se tarda en realizar una operación, por tanto, se equilibran las operaciones de los puestos.

Por otro lado, en la producción inicial también se detectan y se mejoran algunos problemas de calidad que han surgido durante la estandarización de los puestos. También se mejora la ergonomía de los puestos, introduciendo estanterías delanteras, aunque en algunos puestos es necesario mantener estanterías traseras ya que no caben todas las piezas en las estanterías delanteras y se conservan cajas alrededor del puesto para las piezas más voluminosas y pesadas, como las bases, pero estos contenedores se elevan evitando que los trabajadores se tengan que agachar demasiado.

Los puestos quedarían de la siguiente manera (*Ilustración 30*):

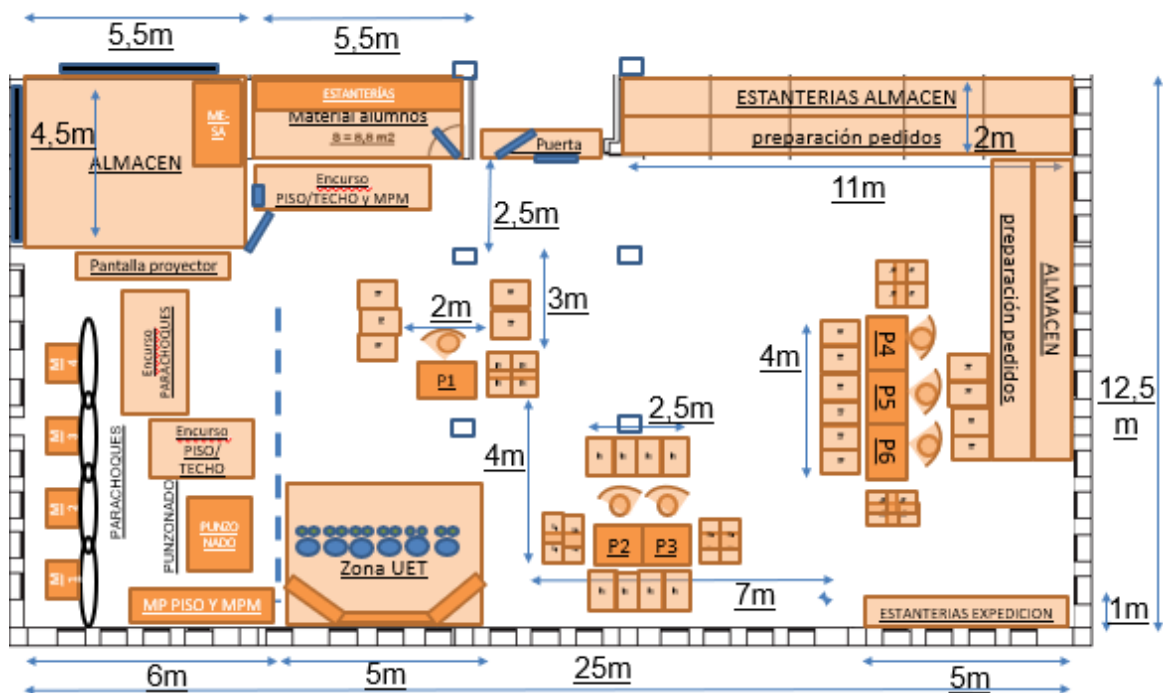


Ilustración 30: Lay-out producción intermedia 1

4.1.3 Producción intermedia 2

El fin de esta producción es la mejora de los flujos logísticos de la producción anterior, por lo tanto, se realiza una nueva distribución en planta, colocando todos los puestos en línea. (*Ilustración 31*)

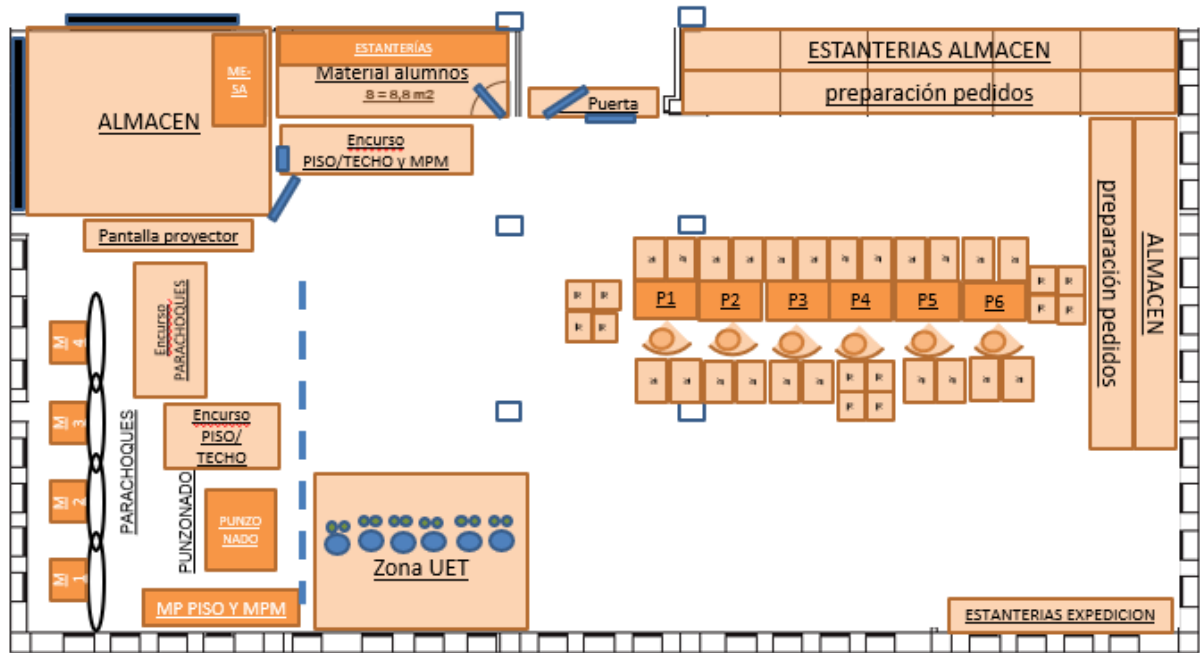


Ilustración 31:Lay-out producción intermedia 2

Por otro lado, al mejorar el equilibrado de los puestos también logramos producir más, esto sumado a la disminución del tamaño de los lotes a 2, provoca el aumento del ritmo de trabajo de los trabajadores logísticos, y por tanto, que tengan que hacer más movimientos para lograr reducir el stock.

En esta producción los alumnos también pueden pensar e introducir mejora en los puestos, tanto en calidad como introduciendo útiles que faciliten el montaje, como destornilladores con imán que faciliten la colocación de los tornillos o herramientas que ayuden a situar las piezas en el lugar adecuado como una galga para el montaje de las ruedas o una cala. También, en esta producción si se considera necesario se puede volver a recolocar alguna operación para mejorar aún más el equilibrado de puestos realizado en la producción anterior.

4.1.4 Producción final actual

En esta producción se eliminan los lotes y se aumenta la diversidad, pasando de tener 8 versiones de vehículos a un total de 200, introduciendo elementos personalización: luces de diferentes modelo y tipos, climatizador, navegador, radio caset, etc... Esta situación provoca que se tenga que introducir nuevas piezas en los puestos y con ello las estanterías tendrían que aumentar de tamaño para dar cabida a tanto material, si por el contrario se optaría por añadir más estanterías obligaría a los puestos de montaje a separarse y con ello volverían a aumentar los flujos logísticos y el espacio a utilizar.

La solución a estos problemas es usar los *kitting* para el montaje de los coches. El *kitting* implica hacer un kit en una sola unidad con las piezas necesarias para llevar a cabo el montaje de un producto. Esto implica reducir el tiempo que se invierte en recoger y seleccionar las piezas que los operarios necesitan, además de dotar de calidad a los puestos y evitar paradas en la línea de producción.

Para hacer uso de esta solución, todas las estanterías y piezas se han de retirar de los puestos y se llevan a la zona reservada para hacer los kits. La realización de los *kitting* la llevan a cabo los logísticos porque solo tendrían que realizar el kit y llevarlo a los puestos.

En esta producción también se logra eliminar un puesto de montaje, permaneciendo un total de 5 puestos y además se introduce un nuevo utillaje, una plantilla de ruedas, que ayuda a reducir de forma considerable el tiempo de su colocación. Con la eliminación de un puesto de montaje las operaciones se distribuyen de la siguiente manera: (*Ilustración 32*)

Puesto Operario	Modelo	Tiempo	
		1min	2min
Puesto 1	Monovolumen	Presentar Parachoques delantero	Punz Suelo
		Montar Ruedas y Perfiles L Suelo	Pre-montar Salp
Puesto 2	Pick-up	Presentar Parachoques delantero	Punz Suelo
		Montar Ruedas y Perfiles L Suelo	Pre-montar Salp
Puesto 3	Monovolumen	Montar Puerta delantera izquierda (remaches)	Montar Puerta trasera izquierda (remaches)
		Preatornillar puerta media izquierda	Montar Perfil L Techo (sólo 2 remaches)
Puesto 4	Pick-up	Montar Puerta delantera derecha (tornillos) - cala 3mm	Montar Panel trasero derecho (tornillos) - cala 3mm
		Preatornillar puerta media derecha	Preatornillar Perfil L Techo derecho (2 tornillos)
Puesto 5	Monovolumen	Montar Puerta delantera derecha (remaches)	Montar Puerta trasera derecha (remaches)
		Preatornillar puerta media izquierda	Montar Perfil L Techo (sólo 2 remaches)
Puesto 6	Pick-up	Montar Puerta delantera izquierda (tornillos) - cala 3mm	Montar Panel trasero izquierdo (tornillos) - cala 3mm
		Preatornillar puerta media derecha	Preatornillar Perfil L Techo izquierdo (2 remaches)
Puesto 7	Monovolumen	Montar tubo de escape - util 8mm y Asientos traseros	Montaje parachoques trasero
		Montar tubo de escape - util 8mm	Montaje parachoques trasero
Puesto 8	Monovolumen	Montar Maletero	Atornillar Perfil L Techo izquierdo
		Atornillar torn. perfil L suelo dcho- cala 3mm	Atornillar Perfil L Techo izquierdo
Puesto 9	Pick-up	Atornillar Perfil L Techo izquierdo	Atornillar Perfil L Techo dcho
		Atornillar Perfil L Techo izquierdo	Atornillar Perfil L Techo dcho

Ilustración 32: Cuadro de equilibrado última producción.

El espacio utilizado por el área de montaje se mantiene a pesar de haber quitado las estanterías, ya que el espacio anteriormente reservado para ellas pasa a ser ocupado por los *kitting*. En las fábricas reales, para reducir aún más el espacio lo que se suele hacer es, sacar la zona del kit fuera de la empresa, por ejemplo: a un almacén cercano. Dicha solución se lleva a cabo especialmente cuando las empresas subcontratan las operaciones de *kitting*.

La distribución en planta de la producción final quedaría de la siguiente manera: (Ilustración 33)

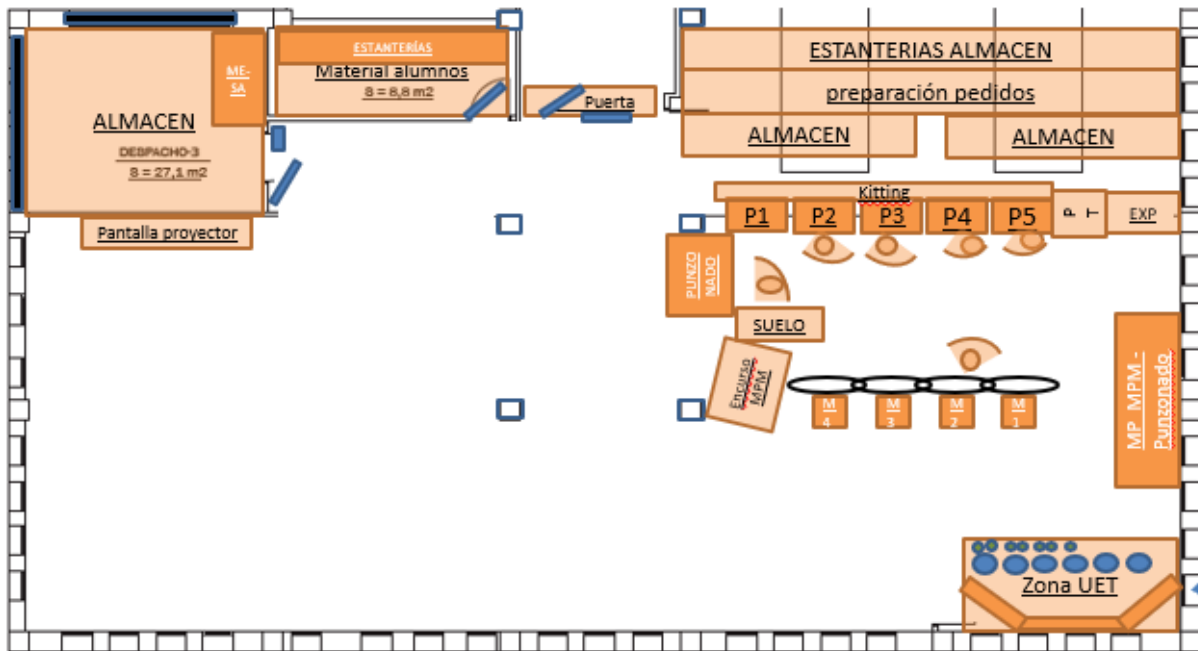


Ilustración 33: Lay-out producción final actual

Como podemos observar con esta distribución y gracias a los *kitting*, se reduce el espacio utilizado en la fábrica, lo que nos lleva a cumplir con el objetivo del trabajo, la realización de una línea de reciclado para el despiece de los coches L34N.

5. Situación futura. Línea de reciclado.

En el capítulo 4 se ha explicado la producción del coche L34N en la Escuela Lean, mostrando cada una de las 4 fases de producción, los puestos que formaban cada una de ellas, su evolución y las diferentes mejoras que se han introducido en los procesos.

En la última fase de producción y gracias a la introducción del *kitting* se puede observar una gran liberación de espacio, el equilibrado en los puestos y la agrupación de diferentes herramientas que facilitan el trabajo a los operarios y optimizan la producción. Por este motivo, gracias a las ventajas que se obtienen con esta configuración, se plantea la introducción de una línea de reciclado. Para aumentar aún más el espacio disponible, la zona UET se traslada hacia la izquierda, facilitando la proximidad entre la línea de reciclado y la de montaje.

Esta línea de reciclado también cumple un papel muy importante, al ser una simulación de una fábrica real. Gracias a dicha simulación se muestra la trascendencia de reducir el consumo de materias primas y del reciclado de todo tipo de componentes, intentando que tengan una segunda vida o que puedan ser usados para la fabricación de nuevas piezas. Además, con todos estos procesos se logra generar una menor cantidad de desechos a la atmósfera y una reducción del consumo de energía. Todos estos aspectos son fundamentales para lograr dejar a tras el modelo económico actual, el modelo lineal, e intentar aproximarnos al modelo de economía circular que tantos beneficios generaría para nuestro planeta.

Por otro lado, también hay que tener en cuenta que la automoción es un sector industrial muy amplio y que genera gran cantidad de residuos en nuestro planeta. Por este motivo, cada vez se le exige un mayor compromiso con el medio ambiente, intentando reciclar gran parte del peso de los automóviles, llegando a reciclar casi el 90% de ellos en la actualidad.

Para conseguir el diseño de una línea de reciclaje que funcione de manera eficiente, logre el equilibrio de todos los puestos y optimice del espacio, se ha tenido en cuenta los siguientes aspectos fundamentales:

- El proceso de montaje de los coches. (Capítulo 4).
- La diversidad de los vehículos.
- El listado de piezas. (Anexo 1)
- El material de las piezas con las que están hechos los coches.

- El tipo de reciclaje de cada material.

Una vez se ha identificado las claves que hay que considerar para el diseño de la línea de reciclado, se ha seguido el siguiente procedimiento:

- Primero se ha separado las piezas por materiales, diferenciando entre piezas de plástico y piezas de metal, además de piezas de metal pintado y sin pintar, para su posterior reciclado y piezas que eran necesario desechar.
- Seguido se ha observado el montaje de los coches, debido a que para su despiece es necesario hacer el mismo proceso a la inversa, es decir, lo normal es empezar a desmontar un coche por la última pieza que ha sido montada.
- A continuación, se ha realizado la toma de tiempos tanto del desmontaje de un modelo de coche completo, como del despiece de cada una de sus piezas. Para este proceso se ha tenido en cuenta la diversidad de vehículos y el listado de piezas.
- A partir de este paso se ha diseñado y analizado las diferentes configuraciones para la agrupación de las operaciones en los puestos de reciclado.
- Por último, se ha procedido al diseño de las estanterías teniendo en cuenta las posibles configuraciones y número necesario de las estanterías para cada puesto, lo que ha provocado alguna modificación en ellos.

5.1 Reciclado de las piezas.

Para llevar a cabo el diseño de la línea de reciclaje es necesario identificar todas las piezas que forman parte de los diferentes modelos de coches teniendo en cuenta su diversidad.

Una vez se han identificado (Anexo 1), se ha procedido a su separación según el tipo de reciclado que necesitan, agrupándolas en 6 bloques diferentes:

En el **bloque 1** se encuentran las piezas de plástico, que deberán ser recicladas por tipos y por colores (azules o verdes) (*Ilustración 34*):

PIEZAS DE PLÁSTICO					
Nº	Croquis	Denominación	Nº	Croquis	Denominación
6		Puerta delantera izquierda	25		Puerta trasera derecha
7		Puerta delantera derecha	26		Maletero
12		Capó	29		Techo Monovolumen
22		Puerta media izquierda	32		Techo Pick-up
23		Puerta media derecha	33		Panel trasero izquierdo Pick-up
24		Puerta trasera izquierda	34		Panel trasero derecho Pick-up

Ilustración 34: Piezas de plástico

En el **bloque 2**, se encuentran las piezas de metal pintadas, las cuales antes de su reutilización deberán pasar por un proceso de repintado, para corregir posibles daños.

(Ilustración 35):

METAL PINTADO					
Nº	Croquis	Denominación	Nº	Croquis	Denominación
5		Salpicadero	27		Parachoques trasero monovolumen
8		Asiento delantero	28		Asiento trasero
17		Parachoques delantero	31		Parachoques trasero pick-up

Ilustración 35: Metal pintado

En el **bloque 3**, se agrupan las piezas de metal sin pintar¹ (*Ilustración 36*):

PIEZAS DE METAL SIN PINTAR					
Nº	Croquis	Denominación	Nº	Croquis	Denominación
1		Suelo	28		Asiento trasero
2		Perfil L de suelo	30		Perfil L de techo Monovolumen
8		Asiento delantero	35		Perfil L de techo Pick-up

Ilustración 36: Metal sin pintar

En el **bloque 4**, se encuentran los diferentes modelos de ruedas (*Ilustración 37*):

TIPOS DE RUEDAS					
Nº	Croquis	Denominación	Nº	Croquis	Denominación
3		Rueda ensamblada Normal	4		Rueda ensamblada Todo Terreno

Ilustración 37: Tipos de ruedas

El **bloque 5** está destinado a las piezas que necesitan un proceso de reciclado especial debido al material con el que están hechas. En este caso, solo necesitaría ese reciclado el tubo de escape, porque se encuentra hecho de metales preciosos. Pero como el aislante y la arandela están en contacto con él, también se incluyen dentro de este tratamiento debido a su posible contaminación. (*Ilustración 38*)

¹ Las piezas número 8 y 28 pueden estar pintadas o sin pintar. Por ese motivo, se sitúan dentro de los dos bloques. En función del coche en el que se encuentren tendrán que recibir o no este tratamiento. El proceso de repintado solo se llevará a cabo en los asientos que pertenezcan a los coches verdes.




PIEZAS ESPECIALES					
Nº	Croquis	Denominación	Nº	Croquis	Denominación
9		Tubo de escape	11		Arandela
10		Aislante			

Ilustración 38: Piezas especiales.

Y el **bloque 6**, donde se muestran todas las piezas que no se pueden reutilizar y es necesario desecharlas: tornillos, remaches, etc... (Ilustración 39).

PIEZAS NO REUTILIZABLES					
Nº	Croquis	Denominación	Nº	Croquis	Denominación
13		Tornillo hexagonal M8	19		Tuerca M6
14		Tornillo allen M8 Todo Terreno	20		Remache Plástico Tipo A
15		Tuerca M8	21		Remache Plástico Tipo B
16		Tornillo M6x25	36	01 MNC	Placas orden producción y diversidad
18		Tornillo M6x16			

Ilustración 39: Pizas no reutilizables.

El tipo de bloque al que pertenecen cada pieza hay que tenerlo en consideración a la hora del diseño de la línea de reciclado, debido al número de huecos que hay en las estanterías.

Todas las piezas deberán separarse por referencia, las piezas más grandes como por ejemplo las puertas y capo, deberán ir en cajas grandes y las piezas de un tamaño menor como el

techo del pick-up o rieles irán en cajas pequeñas. En total se puede contar con tres tipos de cajas como se muestran en las *ilustraciones 40 y 41*: cajas destinadas a piezas desechables (1), cajas pequeñas (2,3 y 4), y cajas grandes (5).

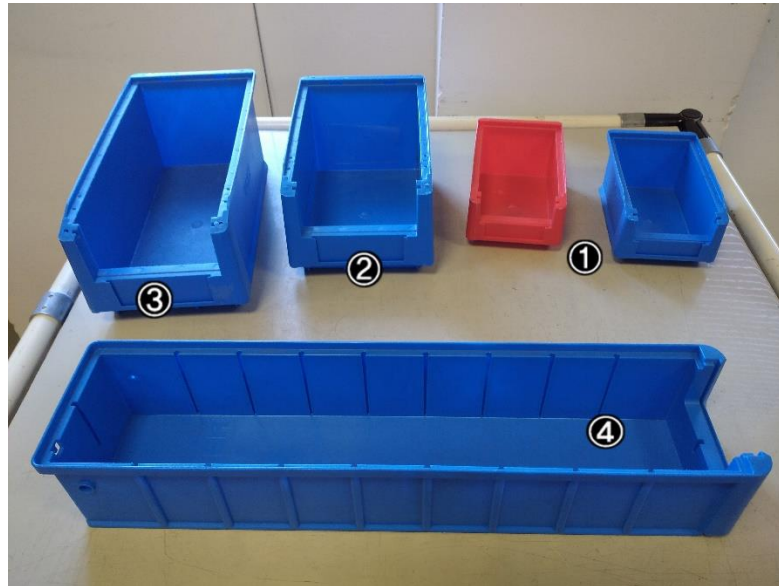


Ilustración 40: Cajas pequeñas y desechables

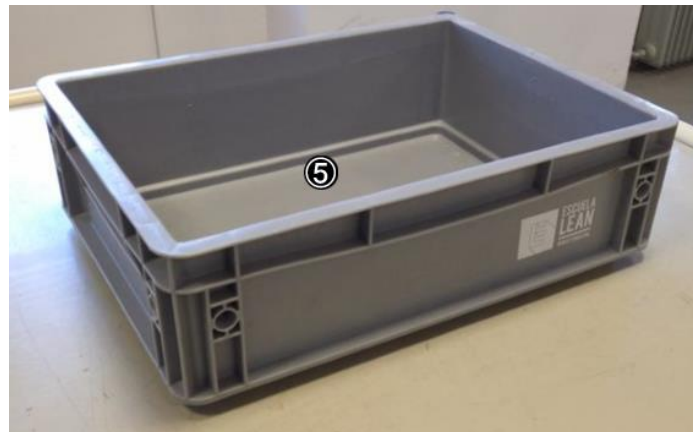


Ilustración 41: Cajas grandes

Para las piezas desechables solo hará falta diferenciar el tipo de material con el que están hechas, separando tornillos y tuercas (de metal) por un lado, remaches (de plástico) por otro lado y por último las matrículas porque son piezas de plástico pintadas.

Las estanterías que forman cada puesto de montaje y de reciclado tienen unas medidas determinadas y se puede contar con estanterías traseras y delanteras. Por este motivo, es fundamental tener en cuenta el tamaño de las piezas desmontadas y las medidas del recipiente en el que se depositan.

Las estanterías delanteras y traseras son iguales, y cuentan con 2 baldas con 3 huecos disponibles cada una de ellas, destinados a caja grandes. Cada caja grande es equivalente a dos pequeñas. De estos 6 huecos, solo se pueden utilizar 5. Los 5 huecos que se pueden utilizar se corresponderán con cajas llenas de piezas para la línea de montaje y con cajas vacías para depositar las piezas en la línea de reciclado. El sexto hueco de las estanterías, en la línea de montaje se usaría para evacuar las cajas vacías de piezas y en la línea de reciclado se usaría para recoger vacío para llenar las cajas.

En un puesto se pueden tener dos estanterías traseras, que en total aportarían un total de 11 huecos disponibles, ya que al tener dos estanterías juntas solo se necesitaría un único espacio destinado a coger vacío.

Por otro lado, también puede ser una opción poner carriles más abajo para coger el vacío, dotando de esta forma, de un espacio extra a todas las estanterías.

Teniendo en cuenta el tamaño de las estanterías y el número de cajas necesario insertar en cada una de ellas, se intentará que cada puesto este formado una única estantería delantera, procurando evitar la colocación de estanterías traseras mejorando con ello la ergonomía en los puestos.

5.2 Toma de tiempos.

Conocer el tiempo que se tarda en desmontar un coche es fundamental para el diseño de las diferentes configuraciones de la línea de reciclaje, gracias a los datos recogidos se ha podido llevar a cabo el equilibrado de puestos. Además, estos datos también han servido de ayuda para valorar la dificultad que puede tener desacoplar ciertas piezas frente a otras muchos más sencillas, como es el caso de las ruedas todoterreno frente a las ruedas de tipo normal con un tiempo inferior en su despiece.

Primero antes de la toma de tiempos se tuvo en cuenta el despiece de cada coche, así como el número de piezas que formaba cada uno de ellos. Como el pick-up cuenta con un menor número de componentes, su tiempo de desmontaje será menor que el monovolumen, aspecto que también ha sido tenido en cuenta a la hora del diseño de la línea de reciclaje.

Para facilitar el diseño de los puestos y conocer las operaciones que han de asignarse a cada uno de ellos, se realizó una lista con el número de piezas para cada modelo, agrupándolas sin diferenciar izquierda o derecha o el tipo de puertas o ruedas y se procedió a la toma de tiempos del despiece de ambos modelos completos y por piezas como se puede observar en las siguientes tablas. (*Tablas 1 y 2*).

Tabla 1: Tiempos Pick-up

Nº de Piezas	PICK-UP	Tiempo (s)
1	Techo	13
2	Capó	15
3	Parachoques trasero	28
4	Rieles	38
5	Puertas laterales	49
6	Asiento	27
7	Parachoques delantero y salpicadero	34
8	Matrícula	23
9	Puertas delanteras	41
10	Tubo escape	21
11	Ruedas	49
Total (s)		337

Tabla 2: Tiempos Monovolumen

Nº de Piezas	MONOVOLUMEN	Tiempo (s)
1	Maletero	12
2	Techo	23
3	Capó	15
4	Parachoques trasero	33
5	Rieles superiores	60
6	Puertas traseras	51
7	Puertas medio	31
8	Puertas delanteras	81
9	Asiento trasero y tubo	38
10	Asiento trasero 2	28
11	Asiento delantero	23
12	Salpicadero	33
13	Ruedas + rieles	45
Total (s)		473

Los tiempos recogidos se han usado en todo momento a la hora de diseñar los puestos de despiece, gracias a ellos se ha podido mover operaciones de un puesto a otro, equilibrando los tiempos entre ellos. Lo que ha provocado la posibilidad de realizar numerosas combinaciones.

Para realizar el equilibrado de puestos, es necesario conocer el ritmo que debe llevar cada puesto de trabajo. Dichos puestos deberán terminar todas las operaciones asignadas,

independientemente del número de operaciones que le corresponda a cada uno de ellos, puesto que una operación puede tardar más o menos que otra.

El ritmo de los puestos de trabajo sería la división del tiempo máximo empleado en desmontar un coche, en este caso el monovolumen, entre el número de puestos totales en la línea, el cual puede variar en función del número de personas disponibles o el espacio del que se disponga. El tiempo empleado ha sido redondeado a 480 segundos para tener en cuenta posibles contingencias con los remaches, los cuales a veces no salen y las ruedas de tipo todoterreno porque no cuentan con ningún tipo de ayuda, como el uso del destornillador automático en vez de uno manual.

5.3 Diseño de las configuraciones de la línea de reciclado.

Con el diseño de las configuraciones de la línea de reciclaje se pretende conseguir el equilibrado de puestos, obteniendo el resultado más óptimo posible. Para ello, se han ideado diferentes combinaciones, agrupando las operaciones en 3, 4 o 5 puestos, teniendo en cuenta las operaciones que hay en cada puesto, el tiempo en realizar cada una, el tiempo total que se tarda en realizar todas las operaciones de un puesto, el número de personas disponibles y el ritmo objetivo.

La combinación de operaciones y puestos puede llegar a ser infinita. Por eso, se ha optado por analizar las configuraciones que se creía más convenientes, en función de los tiempos en realizar las operaciones, el número de puestos y el tiempo total. Finalmente, se ha elegido 2 combinaciones como válidas, capaces de adaptarse al espacio y al número de personas disponibles para cubrir los puestos. Para llegar a estas configuraciones, primero se han analizado y mejorado otras, como se mostrará a continuación.

5.3.1 Configuración en tres puestos

Primero se optó por hacer un análisis del diseño de la línea de reciclado dividiéndola en 3 puestos. En este caso, el tiempo objetivo en cada puesto debería ser $480/3=160$ segundos.

Como se puede observar en la *Tabla 3*, el pick-up se desmontaría dentro del tiempo establecido, pero sobrarían muchos segundos, que podrían ser utilizados para adelantar trabajo con el monovolumen, el cual excede el tiempo, especialmente en el último puesto.

En cuanto a los puestos de trabajo, podemos ver que si se trata de un coche pick-up los puestos estarían equilibrados, a excepción del puesto 2 que se diferencia del resto en casi 20 segundos. Pero, por el contrario, si el coche que llegase a la línea fuese un monovolumen en

los puestos 1 y 3 se excedería el tiempo objetivo, creando cuellos de botella y retrasos en la línea. Además, entre todos los puestos de trabajo hay mucha diferencia de tiempos, llegando a alcanzar una diferencia de un minuto entre el puesto 2 y 3.

También con la línea de reciclado dividida en tres puestos, y concretamente con esta combinación se puede ver la gran cantidad de piezas que hay que desmontar en cada uno de los puestos, lo que provocaría situar al menos 2 estanterías para cada puesto, una delante y otra detrás del operario, produciendo una disminución de la ergonomía en los puestos y un mayor uso del espacio. Por estos motivos, esta configuración no sería válida y se optó por la creación de 4 o 5 puestos de trabajo.

Tabla 3: Línea de reciclaje 3

	Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3
PICK-UP	Techo Capó Parachoques trasero Rieles superiores Tubo escape	Puertas traseras Asiento Parachoques delantero Salpicadero (+/- matrícula)	Puertas delantero Rieles inferiores Ruedas (+/- matrícula)
Tiempos	2' 29"	2' 08"	2' 25"
MONOVOL	Matrícula Maletero Techo Capó Parachoques trasero Rieles superiores	Puertas traseras Puertas medio Puertas delanteras	Asientos Tubo escape Parachoques delantero Salpicadero Rieles inferiores Ruedas
Tiempos	3' 05"	2' 38"	3' 40"

5.3.2 Configuración en cuatro puestos.

Para la línea de reciclado dividida en 4 puestos, el tiempo que se debería emplear en cada puesto sería de $480/4=120$ segundos. Seguidamente se analizará un total de tres combinaciones diferentes, variando las operaciones que se realizan en cada puesto. Estas líneas se denominarán según (nº de puestos, nº de combinación), es decir si hay un total de cuatro puestos y se analiza la combinación seis, su nombre vendría dado por 4.6.

En esta línea de reciclado 4.1, se puede observar cómo los puestos que realizan el despiece del pick-up se ajustan muy bien al tiempo establecido. Pero, por el contrario, el monovolumen vuelve a provocar retrasos en la línea, los cuales se traducen en desajustes y pérdida de tiempo en otros puestos, lo que supondría una gran pérdida de dinero (Tabla 4):

Tabla 4: Línea de reciclaje 4.1

4.1	Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4
PICK-UP	Techo Capó Parachoques trasero Rieles superiores	Puertas traseras Asiento Tubo escape	Parachoques delantero Salpicadero Matrícula Puertas delanteras	Rieles superiores Ruedas
Tiempos	1' 48"	1' 43"	2' 09"	1' 45"
MONOVOLUMEN	Maletero Techo Capó Parachoques trasero Rieles superiores	Puertas traseras Puertas medias Asientos traseros Tubo escape	Puertas delanteras Asiento delantero Matrícula	Salpicadero Parachoques delantero Rieles inferiores Ruedas
Tiempos	3'	2' 49"	1' 40"	1' 31"

A pesar el coche pick-up se desmonte dentro del tiempo establecido, se produce un desequilibrio en los puestos de unos 20 segundos para el puesto 3 con respecto al resto de puestos, que podría verse compensado cuando se hiciese un monovolumen en ese mismo puesto. Pero si analizamos el despiece del monovolumen, vemos que existe una diferencia de casi minuto y medio de tiempos entre puestos y ninguno se encuentra equilibrado, por ello en la siguiente línea se intenta buscar una solución moviendo operaciones dentro de los puestos.

Con el fin de intentar equilibrar los puestos de reciclaje se diseña una nueva línea, la línea 4.2. En esta línea de reciclaje todos los puestos se ajustan al tiempo objetivo y de nuevo para el pick-up se emplea un menor tiempo en cada puesto, aspecto que es normal dado que el pick-up, como hemos dicho, cuenta con un menor número de piezas, y por tanto de operaciones. El tiempo que sobra, se podría destinar a adelantar operaciones del monovolumen agilizando de esta forma aún más los puestos.

Esta opción se podría considerar como validada si solo tenemos en cuenta que todos los puestos se encuentran dentro del tiempo establecido, pero como existe una diferencia de tiempos, para el coche monovolumen entre los puestos 1 y 4 de casi 1 minuto, la consideraré una opción no valida (Tabla 5). Por eso, la siguiente línea se centrará en equilibrar estos puestos.

Tabla 5. Línea de reciclaje 4.2

4.2	Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4
PICK-UP	Techo Capó Rieles superiores Matricula	Parachoques trasero Puertas laterales	Asientos Tubo escape Puertas delantero	Parachoques delantero Salpicadero Rieles inferiores Ruedas
Tiempos	1' 20"	1' 20"	1' 30"	1' 20"
MONOVOLUMEN	Maletero Techo Capó Rieles superiores Matricula	Parachoques trasero Puertas traseras Puertas medias	Asientos Tubo escape Puertas delanteras	Salpicadero Parachoques delantero Rieles inferiores Ruedas
Tiempos	2' 10"	2'	2'	1' 20"

Con el objetivo de equilibrar aún más las operaciones que tienen que realizar los operarios para desmontar el monovolumen, se diseña una nueva línea que consideramos como definitiva, línea 4.3.

En la *tabla 6* se muestran como todos los puestos están equilibrados y solo hay una diferencia de 20 segundos como máximo entre puestos y solo si se trata de un monovolumen, que, comparándolo con el resto de las líneas analizadas, es muy poco tiempo de diferencia. El tiempo que sobra en el despiece del pick-up como hemos mencionado antes, se puede emplear para adelantar alguna operación del monovolumen, aprovechar para mover las piezas en la estantería, cambios de herramienta o coger vacío.

En esta línea ya se puede observar la cantidad de estanterías necesarias en cada puesto según las piezas que han de desmontarse. He llamado G a las cajas grandes, P a las cajas pequeñas y T a la caja donde se depositan los elementos que han de tirarse, esta última caja puede situarse en el puesto en vez de las estanterías ya que es de tamaño reducido y como máximo habrá un total de 3.

Como hemos dicho antes las estanterías tienen un total de 6 huecos, de los cuales se pueden utilizar 5, si se contase también con una estantería trasera se tendría un total de 11 huecos disponibles al necesitar solo un hueco para coger vacío.

Como vemos el puesto 1 necesita dos estanterías, una delante y otra detrás, y el puesto 2 necesita tres estanterías 1 delante y dos detrás, si se pudiese compartir la estantería trasera

del puesto 1 con el 2, se ahorraría espacio y solo se necesitaría una única estantería trasera para cada puesto, ahorrando con ello 1 estantería y solo haría falta detrás un hueco para coger el vacío en vez de dos, uno para cada puesto.

Tabla 6: Línea de reciclaje 4.3

4.3	Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4
PICK-UP	Techo Capó Rieles Matrícula	Parachoques trasero Puertas laterales	Asiento Tubo escape Puertas delantero	Parachoques delantero Salpicadero Rieles inferiores Ruedas
Tiempo	1' 25"	1' 20"	1' 30"	1' 20"
MONOVOLUMEN	Maletero Techo Capó Rieles	Parachoques trasero Puertas traseras Puertas medias	Asientos Tubo escape Puertas delanteras	Salpicadero Parachoques delantero Rieles inferiores Ruedas Matrícula
Tiempo	1' 50"	2'	2'	1' 40"
Contenedores necesarios	5G 5P² 2T	12G 2P 2T	8G 3T	3G 2P 3T
Estanterías necesarias	2	3	2	1

El lay-out de esta opción quedaría según la *ilustración 42*. En esta distribución en planta ya se incluye la posibilidad de compartir una estantería trasera, también se puede observar el espacio que abarcará la primera opción de línea de reciclaje, permitiendo a los operarios poderse desplazar dentro del puesto

² Los rieles necesitan depositarse en cajas pequeñas, pero si esas cajas estuviesen divididas por la mitad, sería posible ahorrarse 2 cajas y con ello espacio. En esas divisiones se situarían los rieles superiores derechos a un lado y los rieles superiores izquierdos al otro. Lo mismo ocurriría al desmontar los rieles inferiores, en este caso se ahorraría 1 caja.

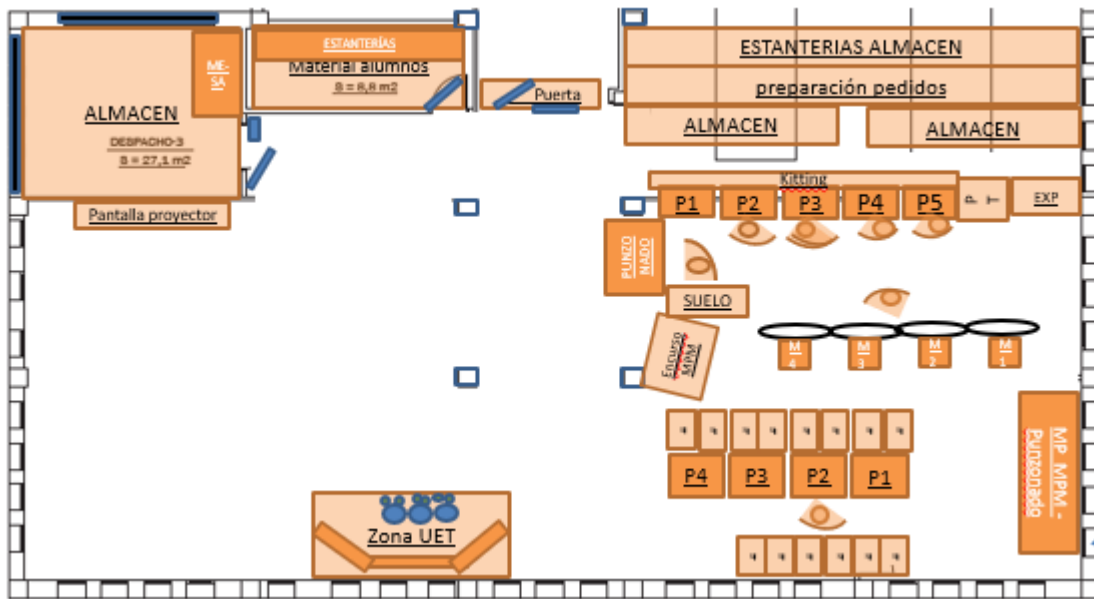


Ilustración 42: Lay-out opción 1 para la línea de reciclaje

5.3.4 Configuración en cinco puestos.

Por otro lado, para tener una segunda opción que se pueda adaptar a las circunstancias, el número de personas disponibles o el espacio, también se ha propuesto otra línea como definitiva, pero con 5 puestos de trabajo (tabla 7). El ritmo que se debería alcanzar en esta línea sería de $480/5=96$ segundos.

En esta última línea, los puestos se ajustan relativamente bien al tiempo establecido pudiendo dotar a los operarios de mayor libertad cuando se trate de un coche pick-up, al igual que ocurría en las otras configuraciones de la línea de reciclaje.

Para el despiece del coche pick-up los operarios realizan todas las operaciones en aproximadamente un minuto, excepto para el último puesto, que tarda un poco más que el resto debido a las ruedas, las cuales aumentan su el tiempo y tienen una mayor dificultad si se trata de ruedas tipo todo terreno.

Si observamos el despiece del monovolumen, los puestos se encuentran equilibrados, solo hay una diferencia de 25 segundos entre dos puestos, que podría verse compensada adelantando operaciones cuando los operarios tuviesen que desmontar un coche pick-up.

Al contar el número de cajas que se necesitan para cada puesto y con ello el número de estanterías, se puede ver que la mayoría de los puestos necesitan de dos estanterías, una delantera y otra trasera, a excepción de los puestos 4 y 5. Al igual que en el caso anterior, se podría compartir alguna estantería entre los puestos 1, 2 y 3 ahorrando con ello espacio.

Tabla 7: Línea de reciclado con 5 puestos.

	Puesto 1	Puesto 2	Puesto 3	Puesto 4	Puesto 5
PICK-UP	Techo Capó Parachoques trasero Rieles	Lateral derecho	Lateral izquierdo	Asiento Tubo escape Matrícula	Parachoques delantero Salpicadero Ruedas Rieles inferiores
Tiempo	1'	1'	1'	1' 10"	1' 17"
MONOVOLUMEN	Maletero Techo Capó Parachoques trasero Rieles	Lateral derecho Rieles	Lateral izquierdo	Asientos Tubo escape	Parachoques delantero Salpicadero Ruedas Rieles inferiores Matrícula
Tiempo	1' 20"	1' 45"	1' 45"	1'30"	1' 40"
Contenedores necesarios	5G 2P 2T	8G 2T	8G 2T	4G 3T	3G 3P 3T
Estanterías Necesarias	2	2	2	1	1

En la *ilustración 43* se muestra la distribución en planta con la segunda opción elegida, el layout es el mismo que en la línea 4.3, pero añadiendo un puesto más. En esta ocasión en la distribución en planta no se ha incorporado la opción de compartir estantería, ya que puede variar.

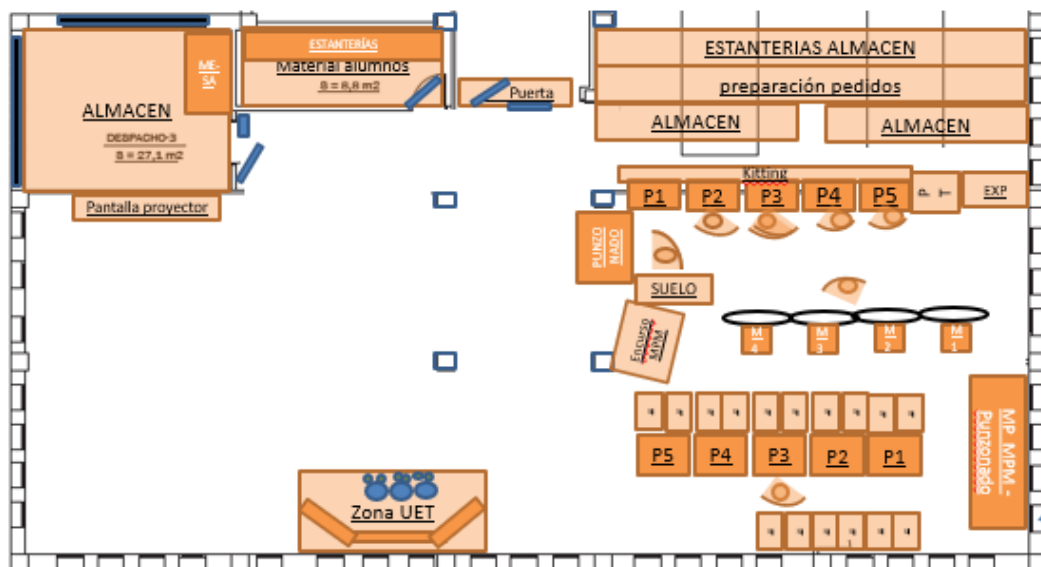


Ilustración 43: Lay-out opción 2 para línea de reciclaje



Estas dos líneas han sido diseñadas para poder adaptarse a las circunstancias cambiantes del entorno de fabricación, teniendo en cuenta la reducción del espacio y recursos de una empresa, como las personas contratadas.

6. Estudio económico

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de la línea de reciclaje para los coches L34N en la Escuela Lean. En él, se pretende optimizar el espacio y lograr un flujo equilibrado entre los puestos.

El estudio económico nos sirve para comprobar la viabilidad de este proyecto, teniendo en cuenta el momento en el que surge la idea hasta la elaboración de la línea de reciclaje. Para ello, se estudiarán los costes directos e indirectos y la inversión económica necesaria.

Principalmente los costes obtenidos vendrán derivados del personal dedicado a la elaboración del proyecto, a pesar de valorar también otros costes como los recursos y los materiales necesarios para llevar a cabo el proyecto.

6.1 Fases de desarrollo

Para la estimación de los costes es necesario conocer las distintas fases de desarrollo del proyecto. Hay que tener en cuenta que estas fases pueden variar según el autor y el punto de vista, en este proyecto se han seguido las siguientes etapas:

- **Definición del proyecto:** En esta etapa el alumno es el encargado de elegir el campo de estudio sobre el que se quiere trabajar. Una vez se tienen claro el campo de estudio se estudia la posibilidad de realizar trabajos ya propuestos o se proponen ideas a profesores.

Una vez definido el tema, se trata junto al director del proyecto (el tutor) el alcance de este y se definen los objetivos que son necesarios cumplir para su realización.

- **Investigación y recogida de información:** Esta fase hace referencia a la búsqueda de información a través de libros, artículos o páginas web para llevar a cabo la elaboración del trabajo, comenzando por la escuela lean, seguido de conceptos básicos del *Lean Manufacturing* y la economía circular. También en esta etapa se incluye la recopilación de toda la información posible referente al coche L34N, como planos, listado de piezas, etapa de montaje.
- **Análisis del coche L34N:** referido a la asistencia de la Escuela Lean para el análisis de los puestos de montaje establecidos en ella, despiece del producto, análisis de operaciones de despiece y reciclado de piezas, toma de tiempos del desmontaje de cada coche y sus piezas.

- **Diseño y equilibrado de puestos de reciclado:** en esta etapa se estudian los tiempos tomados anteriormente y las operaciones a realizar, se agrupan las operaciones en puestos de trabajo, se establecen los posibles puestos y se lleva a cabo una toma de tiempos para cada uno buscando su equilibrio entre puestos, se analiza cada combinación obtenida hasta escoger la más adecuada teniendo en cuenta el diseño de las estanterías y propuestas del director del proyecto(tutor).
- **Redacción del proyecto:** esta fase abarca la redacción del TFG llevada a cabo por un administrativo según las anotaciones del ingeniero.
- **Presentación del proyecto:** Esta etapa es la etapa final, en la cual se presenta el proyecto al director y a la empresa y se defiende las ideas establecidas.

Durante todo el transcurso del proyecto se realiza un seguimiento y revisión del proyecto, se mantiene el contacto entre el director del proyecto y el ingeniero (el alumno) para resolver dudas y aportar nueva información y directrices.

6.2 Costes directos

En este apartado se analizará los costes directos de cada actividad para la obtención del producto final. Se estudiará el coste del personal y el coste del material que ha sido usado para la realización del proyecto.

Para el cálculo del coste de personal vamos a calcular el coste por hora. Para ello, se ha estimado el sueldo anual de los participantes en el proyecto: director del proyecto, ingeniero de organización industrial y administrativo, cuyos sueldos ascienden a 40000€, 25000€ y 19500€ respectivamente. Además, para el cálculo se ha tenido en cuenta el coste de cotización de la Seguridad Social (36,25%).

Para calcular el coste por horas, primero hay que calcular cuantas horas efectivas se trabajan al año (*Tabla 8*)

Tabla 8: Cálculo de horas efectivas anuales

Concepto	Días/Horas
Año medio: (365,25)	365,25
Sábados y domingos: (365*2/7)	-104,36
Días efectivos de vacaciones	-20,00
Días festivos:	-12,00

Media de días perdidos por enfermedad:	-15,00
Cursos de formación, etc...	-4,00
Total estimados días efectivos	210
Total horas anuales efectivas (8 horas/día)	1680

A partir de los resultados obtenidos podemos calcular el coste por hora del personal (*Tabla 9*):

Tabla 9: Coste por hora del personal

Concepto	Director de proyecto	Ingeniero de organización industria	Administrativo
Sueldo anual	40000€	25000€	19500€
Seguridad social (36,25%)	14500€	9062,5€	7068,75
Total(€/año)	54500€	34062,5€	26568,75
Coste horario (€/h)	32,44€	20,27€	15,81€

En la *tabla 10*, se analizará las horas invertidas por el personal en realizar cada fase del proyecto.

Tabla 10: Horas invertidas por el personal

Etapas/Personal	Director del proyecto	Ingeniero de organización industrial	Administrativo
	Horas (h)	Horas (h)	Horas (h)
Recogida de información	4	102	20
Análisis del coche L34N	10	28	0
Diseño y equilibrado de puestos de trabajo	5	33	0
Redacción del trabajo	0	25	120
Presentación del proyecto	0	20	0
Total	19	208	140

Los costes de material hacen referencia a los costes provocados por la utilización de ese material durante la ejecución del proyecto y vendrán dados por sus horas de utilización. Se

ha considerado un periodo de amortización de 5 años para los diferentes equipos informáticos y material utilizado. (Tabla 11)

Tabla 11: Costes del material y amortización

Concepto	Importe (€)	Amortización (€/año)
Ordenador portátil Acer F5-573G	599	119,8
Raton inalámbrico VicTising	10	2
Software Microsoft Office 2016	400	80
Material de papelería	30	
Dispositivos de almacenamiento	18	
Adobe Photo elements	40	8
Total	1127	209,8
Amortización (8 horas/día)	0,124 (€/h)	

Si ahora recuperamos las horas invertidas por el personal (el director del proyecto, el ingeniero y el administrativo) podemos obtener el coste de la amortización del material utilizado:

$$0,124 \text{ €/h} * 367 \text{ h} = 45,51\text{€}$$

Los costes totales vendrían dados por (tabla 12):

Tabla 12: Coste total del material

Concepto	Importe (€)
Material amortizado	45,51
Material de papelería	30
Dispositivo de almacenamiento	18
Coste total	91.33

Si calculamos el coste por hora de material no amortizable obtenemos un resultado de:

$$48\text{€}/367\text{h} = 0,131\text{€/h}$$

6.3 Costes indirectos

Los costes indirectos son aquellos que no están directamente relacionados con el proyecto, pero sin los cuales sería imposible su realización. En la tabla 13, se muestran los costes indirectos considerados:

Tabla 13: Costes indirectos

Concepto	Importe mensual (€)
Internet	30
Electricidad	100
Teléfono	20
Alquiler de instalaciones	1200
Coste total mensual	1350€/mes
Coste por hora	1,84€/h
Costes totales	639,95€

6.4 Costes totales

Los costes totales son la suma de los costes directos e indirectos del proyecto, para ello nos falta calcular el coste del personal.

El coste del personal se calcula en función de las horas dedicadas a cada fase y el coste de cada hora, dependerá del personal que realice esas horas. (Tabla 14)

Tabla 14: Coste del personal

Etapas/Personal	Director del proyecto		Ingeniero de organización industrial		Administrativo	
	Horas (h)	Coste(€)	Horas (h)	Coste(€)	Horas (h)	Coste(€)
Recogida de información	4	129,79	102	2067,54	20	316,1
Análisis del coche L34N	10	324,4	28	567,56	0	0
Diseño y equilibrado de puestos de trabajo	5	162,2	33	668,91	0	0
Redacción del trabajo	0	0	25	506,75	120	1897,2
Presentación del proyecto	0	0	20	405,4	0	0
Total	19	616,36	208	4216,16	140	2213,4

Los costes totales serán los siguientes (Tabla 15):

Tabla 15: Costes totales

Concepto		Importe (€)
Costes directos	Coste personal	7045,92
	Coste material	91,33
Costes indirectos		639,95
Costes totales		7777,2

Como para cada fase del proyecto se ha invertido un número determinado de horas según el personal implicado en cada etapa, se puede cuantificar el coste asociado a cada fase, gracias a la tabla 14.

En la siguiente tabla, *tabla 16*, se muestra el tiempo y coste total invertido en cada etapa:

Tabla 16: Horas y coste totales por fases

Etapas/Coste	Horas (h)	Coste (€)
Recogida de información	126	2513,43
Análisis del coche L34N	38	891,96
Diseño y equilibrado de puestos de trabajo	38	831,11
Redacción del trabajo	145	2403,95
Presentación del proyecto	20	405,4

Si analizamos los costes de cada fase junto a los costes derivados del consumible amortizable y no amortizable y costes indirectos, cuyo precio la hora es de 0.124€/h, 0.131€/h y 1,84 €/h respectivamente, obtenemos los costes totales. (*Tabla 17*)

Tabla 17: Costes totales

Concepto	Fase 1 (126 h)	Fase 2 (38 h)	Fase 3 (38 h)	Fase 4 (145 h)	Fase 5 (20 h)
Coste por fase	2513,43	891,96	831,11	2403,95	405,4
Consumible amortizable	15,62	4,712	4,712	17,98	2,48
Consumible no amortizable	16,51	4,92	4,92	18,99	2,62
Costes indirectos	231,84	69,92	69,92	266,8	36,8
Costes totales por etapa	2777,4	970,52	937,66	2974,52	447,3
Costes totales por proyecto	8107,4				

Como vemos el coste total del proyecto asciende a un total de 8107,4 €.

7. Conclusiones y futuros desarrollos.

El propósito de este proyecto es la definición de diferentes configuraciones para la creación de una línea de reciclaje para los coches L34N.

Para llevar a cabo el diseño de la línea de reciclaje ha sido fundamental aplicar las herramientas *Lean* y tener en cuenta el concepto de economía circular, buscando los puntos en común y extrayendo conocimiento de ambos.

De esta forma, para el diseño de las diferentes configuraciones de la línea de reciclaje, las piezas han sido diferenciadas por referencia y los coches se han dividido en operaciones cronometradas cada una de ellas, para obtener el tiempo que se tarda en realizarlas. Después, las operaciones se han agrupado en puestos de trabajo, intentando que fuesen equilibrados y teniendo en cuenta las estanterías que necesitan en cada uno de los puestos, para reducir su número.

El resultado ha sido el análisis de varias configuraciones, observando sus ventajas e inconvenientes hasta llegar a dos opciones que han sido consideradas como óptimas. Al contar con varias opciones se pretende que se puedan adaptar a circunstancias cambiantes, como puede ser el espacio o la disponibilidad de personal de una fábrica.

La primera opción está dotada de 4 puestos y la segunda opción de 5 puestos de reciclado. En ambos casos los puestos de reciclado se encuentran juntos formando una línea buscando ahorrar espacio, tiempo y eliminando espacios innecesarios. Todos los puestos han sido equilibrados, intentando que en cada uno de ellos el tiempo de despiece sea el mismo y que se ajusten al tiempo objetivo establecido. Para ello, se ha tenido en cuenta posibles dificultades, los cambios de herramienta y la recogida de vacío.

Además, con la creación de la línea de reciclaje se pretendía la reutilización del máximo número de piezas posibles en el laboratorio, simulando una fábrica real y la incorporación de una nueva forma de enseñanza para los alumnos de la escuela, siguiendo siempre su lema "Lean by doing". A través de esta línea de reciclaje, también se pretende que los alumnos lleven a la práctica herramientas lean y aprendan la importancia del reciclado y los beneficios que conlleva.

En este proyecto se deja la puerta abierta a la introducción de posibles mejoras e ideas como podrían ser:

El diseño de una configuración de la línea reciclaje que se adapte mejor al espacio, cuando la Escuela Lean se traslade de manera definitiva a la Sede del Paseo del Cauce, ya que se podrán introducir nuevas posibilidades al dotar de un espacio más amplio.

También se podrían introducir mejoras en el reciclado de las piezas desechables, separándolas por referencia y no solo por tipo de material al que pertenecen, ahorrando tiempo en posibles fases futuras.

Otra posibilidad en la línea de reciclaje sería la creación de nuevas estanterías con mayor cabida para depositar las piezas en ellas, ahorrando así en el uso de varias estanterías para un mismo puesto.

Por otro lado, también en la línea de reciclado se podría tener en cuenta la diversidad de los coches, como es el caso de la última producción en la línea de montaje, llegando a tener un total de 200 vehículos. De esta forma habría que tener más espacio en las estanterías y el tiempo de despiece aumentaría.

Bibliografía

- Benyus, J. (1997). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*.
- Bolaños, R. y. (2011). El distintivo de igualdad: un nuevo indicador de la calidad en la gestión de recursos humanos. *Temas laborales: Revista anzuza de trabajo y bienestar social*, 127-148.
- Braungart, M., McDonough, W., & Bollinger, A. (2007). Cradle-to-Cradle design: creating healthy emissions a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, 1337-1348.
- Carson, R. (1962). *Silent Spring*. Boston: Houghton Mifflin.
- Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1987). *Nuestro futuro común*.
- Comisión Europea. (2015). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. *An EU Action Plan for the Circular Economy*, (pág. 21). Bruselas.
- community, L. (s.f.). *Learn by doing week*. Recuperado el día 9 de mayo de 2020 de <http://leancommunity.es/learn-by-doing-week/>
- Ecoembes. (2019). *Ecoembres*. Recuperado el 10 de mayo de 2020 de La Economía Circular en España: <https://www.ecoembes.com/es/ciudadanos/envases-y-proceso-reciclaje/la-economia-circular-en-espana>
- Ellen Macarthur Foundation. (2020). Recuperado el día 11 de mayo de 2020 de Economía circular: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto>
- Escuela Lean. (2014). *Escuela Lean*. Recuperado el 20 de marzo de 2020 de <http://escuela-lean.es/>
- European Commission. (2018). *Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy, Commission Staff Working Document*.
- Gallaud, D., & Laperche, B. (2016). *Circular Economy, Industrial Ecology and Short Supply Chain*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- García, S. (2018). Economía circular: 30 años del principio de desarrollo sostenible evolucionan en el nuevo gran objetivo medioambiental de la Unión Europea. *Universidad de Valladolid*, 13.
- Gobierno de España. (2018). *España Circular 2030: Estrategia española de economía circular*. España.
- Haggard, S. E. (2010). *Sustainable Industrial Design and Waste Management: Cradle-to-Cradle for Sustainable Development*. Academic Press.

- Hartini, S., & Ciptomulyono, U. (2015). The relationship between Lean and Sustainable Manufacturing on Performance. *Procedia Manufacturing*, 38-45.
- Hawken, P., Lovins, A. ..., & Lovins, L. (2002). *Capitalismo natural*. Editora Cultrix.
- Lean Manufacturing hoy*. (20 de 10 de 2017). Recuperado el día 28 de marzo de 2020 de Lean Manufacturing. Los 8 grandes despilfarros (mudas) de tu empresa: <https://www.leanmanufacturinghoy.com/lean-manufacturing-los-8-grandes-despilfarros-mudas-de-tu-empresa/>
- Liker, J. (2014). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill.
- Lovins, A., Lovins, H., & Paul, H. (1999). La ruta hacia el Capitalismo Natural. 25.
- Macarthur Foundation, E. (2014). Towards the circular economy: Accelerating the scale-up across global supply chains. Volumen 3.
- Macarthur Foundation, E. (2014). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*.
- Macarthur Foundation, E. (2014). Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition. Volumen 1.
- MacArthur Foundation, E. M. (2020). *Hacia una economía circular: Motivos económicos para una transición acelerada*.
- Macarthur, E. (Abril de 2020). *Economía circular en detalle*. Recuperado el día 10 de mayo de 2020 de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/explore/the-circular-economy-in-detail>
- Macthur, E. (2020). *Ellen Macarthur Foundation*. ecuperado el día 10 de mayo de 2020 de Economía Circular: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/escuelas-de-pensamiento>
- Martinez, R. (2006). El modelo ERP: Un nuevo paradigma para la gestion de empresas familiarmente responsables. *Capital Humano*.
- Murray, A., Keith, S., & Kathryn, H. (2015). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*.
- Pauli, G. (2010). *The blue economy: 10 years, 100 innovations, 100 millon jobs*. Paradigm publications.
- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabak, M. (2017). Economía circular.
- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2017). Economía Circular: Relación con la evolución de concepto sostenibilidad y estrategias para su implantacion. *Universidad de Navarra*.



- Roberts, H. (1999). *ISO 14001 EMS: manual de sistemas de gestión mediambiental*. Editorial Paraninfo.
- Socconini, L. (2019). *Lean Manufacturing. Paso a Paso*. Marge Books.
- Stahel, W. R. (2016). The circular economy. *Nature*.
- Tedeja, A. S. (2011). Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. *Ciencia y sociedad*.
- Titu, M. A. (2010). Applying the Kaizen method and the 5S technique in the activity of post-sale service in the knowledge-based organization. *In Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists*.
- Verrier, B., Rose, B., & Caillaud, E. (2016). Lean and Green strategy: the Lean and Green House and maturity deployment model. *Journal of Cleaner Production*, 150-156.
- Vértice, E. (2010). *Gestión de la Calidad (ISO 9001/2008)*. Vertice.



Anexos

Anexo 1: Listado de piezas.

LISTA DE PIEZAS L3AN

N°	Croquis	Denominación	Refº Pieza	Cantidad por veh							N°	Croquis	Denominación	Refº Pieza	Cantidad por veh						
				M	P	V	A	O	C	M					P	V	A	O	C		
1		Suelo	L34N-101-M/P	1	1	50					19		Tuerca M6	L34N-120-M/P	10	18	660,00				
2		Perfil L de suelo	L34N-102/3-M/P	1/1	1/1	50/ 50					20		Remache Plástico Tipo A	L34N-121-M/P	12	2	400,00				
3		Rueda ensamblada Normal	L34N-104-M/P	4	4	200 normales tapacubos gris					21		Remache Plástico Tipo B	L34N-122-M/P	16	8	640,00				
4		Rueda ensamblada Todo Terreno	L34N-105-M/P	4	4	80 todo terreno tapacubos negros					22		Puerta media izquierda	L34N-123-V/A-M	1		15	15			
5		Salpicadero	L34N-106-M/P	1	1	50					23		Puerta media derecha	L34N-124-V/A-M	1		15	15			
6		Puerta delantera izquierda	L34N-107-V/A-M/P	1	1	25	25				24		Puerta trasera izquierda	L34N-125-V/A-M	1		15	15			
7		Puerta delantera derecha	L34N-108-V/A-M/P	1	1	25	25				25		Puerta trasera derecha	L34N-126-V/A-M	1		15	15			
8		Asiento delantero	L34N-109-C/O-M/P	1	1	25 25					26		Mailetero	L34N-127-V/A-M	1		15	15			
9		Tubo de escape	L34N-110-M/P	1	1	50					27		Parachoques trasero monovolumen	L34N-128-M	1		30				
10		Aislante	L34N-111-M/P	2	2	100					28		Asiento trasero	L34N-129-C/O-M	2		30 30				
11		Arandela	L34N-112-M/P	3	3	150					29		Techo Monovolumen	L34N-130-M	1		30 Negros				
12		Capó	L34N-113-V/A-M/P	1	1	25	25				30		Perfil L de techo Monovolumen	L34N-131/2-M	1/1		30/30				
13		Tornillo hexagonal M8	L34N-114-M/P	4	4	200,00					31		Parachoques trasero pick-up	L34N-133-P	1		20				
14		Tornillo allen M8 Todo Terreno	L34N-115-M/P	4	4	80,00					32		Techo Pick-up	L34N-134-P	1		20 Negros				
15		Tuerca M8	L34N-116-M/P	4	4	200,00					33		Panel trasero izquierdo Pick-up	L34N-135-V/A-P	1	10	10				
16		Tornillo M6x25	L34N-117-M/P	8	14	520,00					34		Panel trasero derecho Pick-up	L34N-136-V/A-P	1	10	10				
17		Parachoques delantero	L34N-118-M/P	1	1	50					35		Perfil L de techo Pick-up	L34N-137/8-P	1/1	20/20					
18		Tornillo M6x16	L34N-119-M/P	2	4	140,00					36	01 MNC	Placas orden producción y diversidad	L34N-139-M/P	1	1	50				

M= Monovolumen (30)

P= Pick-up (20)

V=Verde (25)

A=Azul (25)

O=Oscuro

C=Claro

1/1= 1 izq / 1 dcha