



Universidad de Valladolid



Máster en Logística 2021-2022

Trabajo Fin de Máster

“Control de calidad para el solectrón de la Escuela Lean”

Autor: Paula López Díez

Tutor: Ángel Manuel Gento Municio

Valladolid, julio de 2022

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y a mi pareja, por su apoyo incondicional estos meses.

A mis amigos del máster, por haber permanecido unidos
en este camino y haberlo hecho más fácil.

A mi tutor, por el tiempo dedicado y por haber confiado en mí.

RESUMEN

En la actualidad, el papel de la Calidad Total en la industria está ganando cada vez más protagonismo y es considerado un requisito impensable, los clientes son cada vez más exigentes en cuanto a las características del producto o servicio que están dispuestos a comprar y es por ello por lo que las organizaciones trabajan sin cesar para satisfacer sus necesidades.

La Escuela Lean, que es un espacio formativo en la Escuela de Ingenieros Industriales (sede Francisco Mendizábal) de la Universidad de Valladolid, simula un entorno industrial en el que los alumnos trabajan bajo el método Just In Time, un sistema que busca eliminar todas aquellas tareas que supongan un desperdicio en los procesos productivos. En la Escuela, la calidad de los productos que fabrican está presente.

El presente proyecto tiene como objetivo principal implantar una de las siete Herramientas Básicas de la calidad para registrar los defectos que surgen en el solectrón, uno de los productos que se fabrica en la Escuela Lean.

Palabras clave: Escuela Lean, Calidad Total, siete Herramientas Básicas, ficha de control, Lean

ABSTRACT

Nowadays, the role of the Total Quality at the industry is gaining prominence and is considered an unthinkable requirement, the customer is progressively more demanding regarding the characteristics of the products and services they are willing to acquire and is for that reason the organizations work hard to fulfill their needs.

Lean School is a training space located in the Industrial Engineering School at the University of Valladolid that simulate an industrial space in which students work under the Just In time system, a method that its objective is to reduce all the work that is considered scrap. The quality in Lean School is present.

The aim of this project is to introduce one of the seven quality tools to be able to register all the defects that are detected in one of the products manufactured in Lean School.

Key words: Lean School, Total Quality, seven Quality Tools, control register, Lean

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	0
1.1. MOTIVACIÓN.....	0
1.2 OBJETIVOS	0
1.3 ALCANCE.....	1
1.4 ESTRUCTURA DEL TRABAJO.....	2
2. ESCUELA LEAN.....	4
2.1 ¿QUÉ ES LA ESCUELA LEAN?.....	4
2.2 PRODUCTOS FABRICADOS EN LA ESCUELA LEAN.....	8
2.1 Coche.....	8
2.2 Solectrón	10
2.3 LAYOUT DE LA ESCUELA LEAN.....	17
2.4 PROCESO PRODUCTIVO.....	20
2.4.1 Situación inicial.....	20
2.4.2 Primera producción.....	28
2.4.3 Segunda producción.....	29
2.4.4 Tercera producción	31
3. GESTIÓN DE LA CALIDAD.....	34
3.1 LEAN MANUFACTURING	34
3.1.1 Kaizen	37
3.1.2 VSM: Value Stream Mapping	38
3.1.3 Herramientas Lean	40
3.1.3.1 Metodología 5S	40
3.1.3.2 Kanban.....	42
3.1.3.3 Técnica SMED	43
3.1.3.4. Técnica Poka-Yoke.....	45



3.1.3.6 Jidoka.....	46
3.2 CONCEPTOS GENERALES DE LA CALIDAD TOTAL	47
3.2.1 Calidad total	47
3.2.2 Mejora continua- Ciclo PDCA- Ciclo de Deming.....	51
3.2.3 Metodología Six-Sigma.....	53
3.3 LAS 7 HERRAMIENTAS BÁSICAS DE LA CALIDAD	55
3.3.1 Hoja de recogida de datos.....	56
3.3.2 Histogramas.....	57
3.3.3 Diagrama de Pareto.....	58
3.3.4 Diagrama causa-efecto.....	60
3.3.5 Gráficos de control	63
3.3.6 Diagrama de dispersión.....	66
3.3.7 Estratificación.....	67
4. CONTROL DE CALIDAD DEL SOLECTRÓN	70
4.1 POSIBLES DEFECTOS.....	71
4.1.1 Apriete de tornillos -E1 y apriete de tornillos prisioneros - E2.....	71
4.1.2 Presencia de tornillo – E3 y presencia de tornillo prisionero – E4.....	73
4.1.3 Tipo de tornillo corresponde – E5.....	74
4.1.4 Posición de sector según letra – E6.....	75
4.1.5 Orden de capa según color especificado – E7.....	78
4.1.6 Corresponde tipo de inserto – E8	81
4.1.7 Presencia de inserto – E9	83
4.1.8 Correcto color en sector – E10.....	84
4.1.9 Base corresponde – E11	84



4.2	ELEMENTOS DE CONTROL.....	86
5	ESTUDIO ECONÓMICO	94
5.1	Introducción	94
5.2	Jerarquía del proyecto.....	94
5.3	Fases del desarrollo del proyecto	95
5.4	Estudio económico	96
5.4.1	Horas efectivas anuales.....	97
5.4.2	Salarios	97
5.4.3	Amortizaciones.....	98
5.4.4	Coste del material consumible.....	100
5.4.5	Costes indirectos	100
5.4.6	Horas de personal dedicadas a cada fase del proyecto	101
5.5	Costes asignados a cada fase del proyecto	101
5.5.1	Costes Fase 1: decisión de elaboración del proyecto	101
5.5.2	Costes Fase 2: Planificación del proyecto	102
5.5.3	Costes Fase 3: Recopilación de información	102
5.5.4	Costes Fase 4: Ejecución del proyecto	102
5.5.5	Costes Fase 5: Seguimiento.....	103
5.5	Costes totales	103
6	CONCLUSIONES	106
6.	FUTURO DESARROLLO.....	108
7	BIBLIOGRAFÍA.....	110



LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Localización de la Escuela Lean. Fuente: Google Maps	4
Ilustración 2: Escuela Lean	6
Ilustración 3: Coche pick-up Ilustración 4: Coche monovolumen.....	8
Ilustración 5: Puntos de control del coche. Fuente: Documentación Escuela Lean	9
Ilustración 6: Puntos de control del coche. Fuente: Documentación Escuela Lean	9
Ilustración 7: Solectrón	10
Ilustración 8: Base del solectrón Ilustración 9: Base del solectrón	11
Ilustración 10: Sectores del solectrón	11
Ilustración 11: Colores normales de los sectores A del solectrón	12
Ilustración 12: Insertos del solectrón.....	13
Ilustración 13: Insertos del solectrón.....	13
Ilustración 14: Insertos del solectrón.....	14
Ilustración 15: Tornillos del solectrón Ilustración 16: Tornillos prisioneros del solectrón	14
Ilustración 17: Gaveta con tornillos del solectrón Ilustración 18: Tornillo del solectrón	15
Ilustración 19: Capa con insertos Ilustración 20: Capa lisa.....	15
Ilustración 21: Niveles del solectrón	16
Ilustración 22: Espacio Escuela Lean. Fuente: Documentación Escuela Lean.....	17
Ilustración 23: Almacén para los alumnos	18
Ilustración 24: Almacén de la Escuela	18
Ilustración 25: Almacén.....	19
Ilustración 26: Herramientas del almacén para el coche.....	19
Ilustración 27: Máquina de mecanizado	21
Ilustración 28: Cajas de almacenamiento de bases	22
Ilustración 29: Cajas de almacenamiento de bases	22
Ilustración 30: Puesto de trabajo	23
	Ilustración
31: Esquema de montaje del solectrón. Fuente: Sánchez Nava, 2021	24
Ilustración 32: Línea de montaje.....	24



Ilustración 33: Representación del funcionamiento de la línea de montaje. Fuente: Sánchez Nava, 2021.....	25
Ilustración 34: Lavadora de la Escuela Lean.....	26
Ilustración 35: Tarjetas Kanban.....	27
Ilustración 36: Representación del funcionamiento de la línea de recyclean. Fuente: Sánchez Nava, 2021.....	27
Ilustración 37: Layout de la primera producción. Fuente: Sánchez Nava, 2021.....	28
Ilustración 38: Layout de la segunda producción. Fuente: TFM Sánchez Nava,F.....	30
Ilustración 39: Colores nuevos de sectores 3ª producción.....	31
Ilustración 40: Tarjetas Kanban para montaje de lotes.....	32
Ilustración 41:Idea de Kit.....	32
Ilustración 42: Lavadora de la tercera producción.....	33
Ilustración 43: Layout de la tercera producción. Fuente: TFM Sánchez Nava, F.....	33
Ilustración 44: La casa Lean.....	36
Ilustración 45: Mejora continua.....	37
Ilustración 46: VSM. Fuente: Ambit BST.....	40
Ilustración 47: Metodología 5S.....	42
Ilustración 48: Técnica Poka-Yoke.....	46
Ilustración 49: Luz Andon.....	47
Ilustración 50: Evolución de la Calidad.....	50
Ilustración 51:Ciclo PDCA. Fuente: Kanbanize.....	53
Ilustración 52:Six Sigma. Fuente: Cesuma.....	54
Ilustración 53: Tabla DMAIC. Fuente: Elaboración propia.....	55
Ilustración 54: Hoja de recogida de datos.....	57
Ilustración 55: Histograma.....	58
Ilustración 56:Diagrama de Pareto.....	60
Ilustración 57: Diagrama de Ishikawa.....	62
Ilustración 58:Gráfico de control. Fuente: López Lemos, 2016.....	64
Ilustración 59:Proceso fuera de control. Fuente: López Lemos, P (2016).....	65
Ilustración 60: Diagrama de dispersión.....	67



Ilustración 61:Falta apriete de tornillo.....	71
Ilustración 62: Falta de tornillo	73
Ilustración 63: Falta de tornillo prisionero.....	74
Ilustración 64: Incorrecta posición de sector	76
Ilustración 65. Incorrecta posición de sector	76
Ilustración 66: Incorrecta posición de sector	77
Ilustración 67: Incorrecta posición de sector	77
Ilustración 68: Incorrecta posición de sector	78
Ilustración 69: Orden de capas incorrecto	80
Ilustración 70: Orden incorrecto de capas	80
Ilustración 71: Orden incorrecto de capas	81
Ilustración 72: Inserto circular en hueco hexagonal	82
Ilustración 73:Inserto circular en hueco ovalado.....	82
Ilustración 74: Falta de inserto.....	83
Ilustración 75: Base no corresponde.....	85
Ilustración 76:Base no corresponde.....	85
Ilustración 77: Tipos de fallos P1 y 2	88
Ilustración 78: Tipos de fallos P3.....	89
Ilustración 79: Ficha de control P1 y P2	90
Ilustración 80: Ficha de control P3	91
Ilustración 81: Códigos	92



LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Horas efectivas anuales	97
Tabla 2: Semanas efectivas anuales	97
Tabla 3: Salarios del personal.....	98
Tabla 4: Costes del equipo de desarrollo	99
Tabla 5: Costes del equipo de edición.....	99
Tabla 6: Coste del material consumible	100
Tabla 7: Costes indirectos	100
Tabla 8: Horas de personal dedicadas a cada fase del proyecto	101
Tabla 9: Costes Fase 1	101
Tabla 10: Costes Fase 2	102
Tabla 11: Costes Fase 3	102
Tabla 12: Costes Fase 4	103
Tabla 13: Costes Fase 5	103
Tabla 14: Costes totales	104



Máster en
Logística

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN

La motivación principal de este Trabajo de Fin de Máster, que supone el broche final de mis estudios del Máster de Logística, es la creación de una ficha de Control de Calidad del solectrón, uno de los dos productos con los que se imparte la formación de la Escuela Lean.

Se había observado que no existía ninguna forma de recogida de los defectos detectados, por lo que resultaba difícil posteriormente analizarlos y tratarlos para erradicar dichos problemas. En el caso del coche, el otro producto de la Escuela, esta ficha ya existía, por lo que se presentó la oportunidad de la creación de una similar para el solectrón.

Uno de los motivos que me impulsó a ello fue el aportar mi grano de arena en el funcionamiento de la Escuela Lean y poder servir de ayuda a los futuros alumnos. Esta hoja de control les facilitará el trabajo, ya que serán capaces de analizar los defectos que surgen de una manera más rápida, sencilla y estructurada que la que existía anteriormente, al igual que también se contribuirá a evitarlos en el futuro.

Por otra parte, de esta manera, profundizo, amplio y pongo en práctica los conocimientos en materia de calidad adquiridos en el máster y en las prácticas que me encuentro realizando en el Departamento de Calidad de una empresa. Esto último fue el motivo decisivo que me impulsó finalmente a decantarme por este tema.

1.2 OBJETIVOS

El desarrollo de este proyecto tiene como objetivo principal la creación de una ficha de Control de Calidad para el solectrón de la Escuela Lean para que sirva de herramienta de apoyo para sus alumnos. Pero, para cumplir con este objetivo, es necesario a su vez cumplir con una serie de subobjetivos que son igual de importantes para poder ser capaces de comprender su funcionamiento.

Estos subobjetivos son los siguientes:

- Analizar la importancia que tiene la Calidad hoy en día en el mundo de la industria y comprender la evolución del concepto de Calidad Total



- Resumir las siete herramientas básicas de la calidad para poderlas aplicar posteriormente a partir de la ficha que se pretende desarrollar. Todo ello dentro de la filosofía Lean Manufacturing en la que se enmarca la formación en la Escuela Lean.
- Resaltar la importancia de la filosofía Lean Manufacturing y los beneficios que se adquieren tras la aplicación de sus técnicas
- Conocer el funcionamiento de la Escuela Lean para comprender el origen de los defectos que surgen en las producciones
- Poner en práctica una de las siete herramientas de la calidad como solución al problema que se plantea
- Presentar la estimación de los costes que ha supuesto el desarrollo y la futura implantación de esta Ficha de Control de Calidad.

1.3 ALCANCE

Hasta donde se pretende llegar en la realización de este proyecto es a la creación de la ficha de control de calidad de los defectos que se producen en la línea de montaje.

Por ello, el proyecto abarca fundamentalmente esta línea, en concreto el puesto de calidad de la primera producción, donde fueron detectados y reparados los fallos y, los propios puestos de montaje de las tres producciones, que es el lugar donde se originan los defectos y se realiza un autocontrol. En algunas ocasiones, los defectos producidos en la línea de montaje pueden influir negativamente en la línea de reciclado también.

En un futuro, los próximos alumnos podrán plantear la idea de crear una ficha similar a la que se va a desarrollar, pero para la línea de reciclado o para la logística. También, a partir del análisis que se realice con la ficha se podrán poner en prácticas otras herramientas básicas de calidad para realizar un estudio más exhaustivo a partir de los datos proporcionados.

Aun así, no se pone final al desarrollo de la ficha, ya que se da libertad a posibles modificaciones y mejoras que puedan surgir en el futuro, ya que resulta difícil haber detectado todos los errores que pueden surgir.



1.4 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

El presente Trabajo de Fin de Máster se encuentra estructurado en seis capítulos, cada uno de ellos tratará el siguiente contenido:

- Capítulo 1 – Introducción: el presente capítulo presenta la finalidad del proyecto, así como los objetivos a perseguir y el orden que ha seguido
- Capítulo 2 – Escuela Lean: en este apartado se explica qué es la Escuela Lean, con qué productos se trabaja, como se encuentra distribuido y el funcionamiento de las tres producciones, todo ello centrándose en el solectrón, que fue el producto con el que se impartió la formación en este curso 2021-22.
- Capítulo 3 – Gestión de la Calidad: se introduce en primer lugar el Lean Manufacturing así como los principales conceptos que se ven reflejados en la Escuela Lean, y posteriormente se trata el concepto de Calidad Total y las siete herramientas básicas de ella.
- Capítulo 4 – Control de Calidad del solectrón: este capítulo trata el problema que se plantea y como ha sido resuelto gracias a la aplicación de una de las herramientas básicas de la calidad, se explican los defectos que han sido detectados, su análisis y los elementos de control que se han implantado.
- Capítulo 5 – Estudio económico: se calculan los costes que ha supuesto el desarrollo de este proyecto a lo largo de los meses de su realización.
- Capítulo 6 – Conclusiones y futuro desarrollo: en este último apartado se hace un resumen de lo adquirido tras la realización del trabajo, lo que supone la introducción de esta nueva herramienta en la Escuela Lean y el futuro desarrollo por parte de otros alumnos de la ficha y sus posibles mejoras y adaptaciones a las producciones.





2. ESCUELA LEAN

2.1 ¿QUÉ ES LA ESCUELA LEAN?

La Escuela Lean se trata de un espacio de aproximadamente 340 m² en la Escuela de Ingenieros Industriales, sede Francisco Mendizabal (Calle Francisco Mendizabal, 1) (Ilustración1), fruto de un convenio entre la Universidad de Valladolid y Reanult-Nissan Consulting a inicios del año 2014 en el cual se realizó un desembolso de cerca de 400.000€.

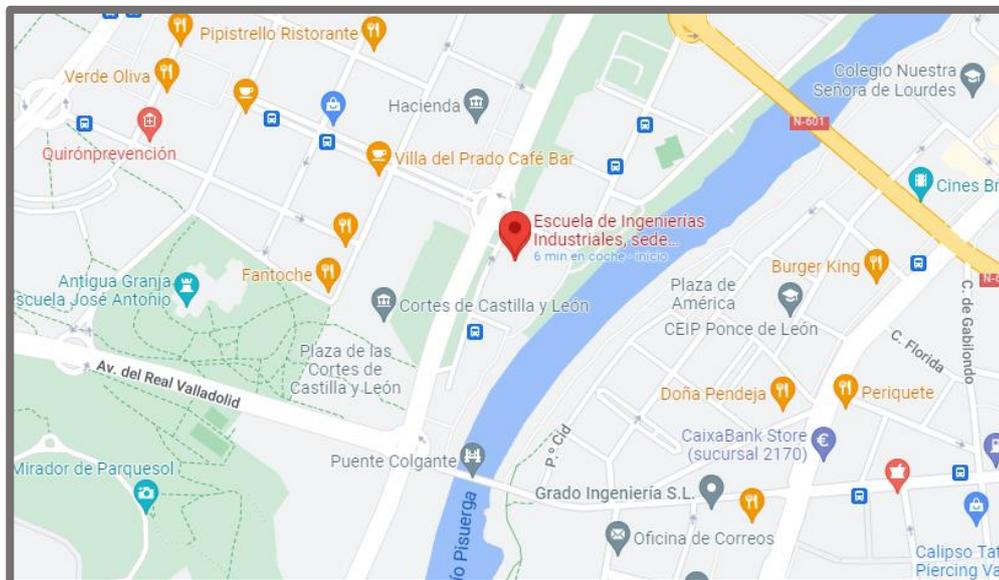


Ilustración 1: Localización de la Escuela Lean. Fuente: Google Maps

Antes de nada, es necesario contextualizar el origen de Renault-Nissan Consulting, quien, sin su contribución, la Escuela Lean no hubiera sido posible de implantar en nuestra universidad y cientos de alumnos no se hubieran beneficiado de su formación.

Renault-Nissan Consulting se trata de una consultora de referencia en excelencia operacional, que, aunque ha cesado su actividad, es importante destacar el trabajo que realizó durante más de 30 años, en concreto desde el año 1989, año en el que abrió sus puertas, hasta 2021.



Algunos datos que destacar sobre su historia son los siguientes:

- ✓ En España contaba con 90 consultores.
- ✓ Alcanzó una cifra de negocio de 9 millones de euros.
- ✓ Un 70% de su actividad se dedicaba a la consultoría mientras que un 30% a la formación.
- ✓ Estaba presente en 8 países, estos son: Francia, España, UK, Rumanía, Japón, Brasil, India y Rusia.
- ✓ Sus clientes eran un 60% de Renault-Nissan y un 40% eran clientes externos.

El objetivo principal de la Escuela Lean es el aprendizaje por parte de alumnos y empresas de la metodología Lean Manufacturing y sus herramientas, principalmente, tratar de eliminar de las producciones todo aquello que no genera valor para así ganar en competitividad, productividad y rentabilidad. Para ello se han basado en la simulación de un entorno industrial. (Europa Press,2014).

En ella el alumno encontrará los medios técnicos, y pedagógicos, necesarios para garantizar el mejor de los aprendizajes: puestos de trabajo manuales, útiles y herramientas, simuladores de máquinas semiautomáticas, medios de mantenimiento, medios de transporte, medios de almacenamiento y embalaje, aplicaciones informáticas, toma de datos, salas de formación... (Escuela Lean, 2014).

En dicha simulación se dan dos producciones, en algunas ocasiones se simula la fabricación de un coche de tamaño mediano-pequeño, conocido como el coche L34N, y otras veces, la fabricación de un elemento conocido como solectrón, es en este último en el se entrará más en detalle a continuación, pues el objeto de estudio del presente trabajo es el análisis de su control de calidad.

A continuación, en las Ilustración 2 se muestran las instalaciones.



Ilustración 2: Escuela Lean

Aunque las sesiones se centran en una formación práctica, al inicio de estas los alumnos siempre reciben una formación teórica la cual tendrán que aplicar a la práctica posteriormente. De esta manera, los alumnos van a poder aproximarse al máximo a un entorno lo más real posible. En la enseñanza teórica aprenderán algunos de los conceptos Lean Manufacturing como son:

- ✓ Estandarización
- ✓ Kaizen
- ✓ SMED
- ✓ Kanban
- ✓ VSM
- ✓ Métodos de determinación de tiempos

Sus objetivos son (Renault Consulting, 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.

Otros de los objetivos que se pueden identificar son (SGS Productivity):

- Conocer las bases del Lean Manufacturing
- Identificar los desperdicios que se generen en las producciones.
- Definir y calcular los principales indicadores de Calidad, Coste y plazos de las operaciones
- Uso de tableros de comunicación y resolución de problemas (A3).
- Implantar un sistema de comunicación estandarizado, desde el operario a la Dirección.

Gracias a esta puesta en práctica los alumnos gozarán de una gran ventaja competitiva cuando llegue el momento de incorporación al mundo laboral, al igual que las empresas también se verán beneficiadas por estos conocimientos que los alumnos han adquirido durante la formación.

Serán capaces de identificar problemas con gran rapidez, implementar unas acciones de contención, seguido de unas acciones correctivas e introducir mejoras, pero todo ello en una situación real y probablemente, bajo el estrés de la necesidad de dar una respuesta rápida.

Los alumnos trabajarán bajo la metodología “I do, We do, You do”, es decir, yo te enseño primero, después practicamos juntos y finalmente lo haces tu solo.

Por otra parte, los alumnos pasarán por distintos puestos de trabajo, desde operarios en la línea de producción, cronometradores, supervisores de línea, técnicos de calidad, logísticos etc, de esta manera se les permite tener una visión global de la producción y entenderán con más facilidad el funcionamiento de esta y detectar donde se encuentran los principales cuellos de botella.



2.2 PRODUCTOS FABRICADOS EN LA ESCUELA LEAN

2.1 Coche

El coche L34N se trata del producto con el que se impartieron las primeras formaciones en la Escuela, el otro producto que se utiliza es el solectrón. Aunque este trabajo se va a centrar principalmente en el desarrollo del control de calidad de este último, conviene explicar brevemente el funcionamiento del coche.



Ilustración 3: Coche pick-up



Ilustración 4: Coche monovolumen

La formación con ambos productos consiste en lo mismo, un cliente establece una demanda y un plazo de entrega determinado, el objetivo es cumplir con esto enfrentándose a los problemas que surgen. Para ello los alumnos han de aplicar herramientas Lean, con el objetivo de reducir los desperdicios y encontrar el valor en cada puesto de trabajo, para ello tendrán que realizar diferentes modificaciones en las producciones hasta satisfacer las necesidades del cliente.

En el caso del coche, el cliente puede escoger entre tres tipos de coches: pick-up (Ilustración 3) , monovolumen (Ilustración 4) y todoterreno. La diferencia que existe entre el todoterreno y el monovolumen es mínima, la principal diferencia son las ruedas.

Está compuesto por las siguientes piezas: puertas delanteras, puertas medias, puertas traseras, parachoques, capó, maletero, tubo de escape, ruedas, salpicadero, asientos, base, techo, así como tornillos y perfiles.



En las Ilustraciones 5 y 6 se muestran los diferentes puntos de control que componen el coche, así como la estructura de las diferentes piezas tanto del monovolumen color azul y del pick up color verde.

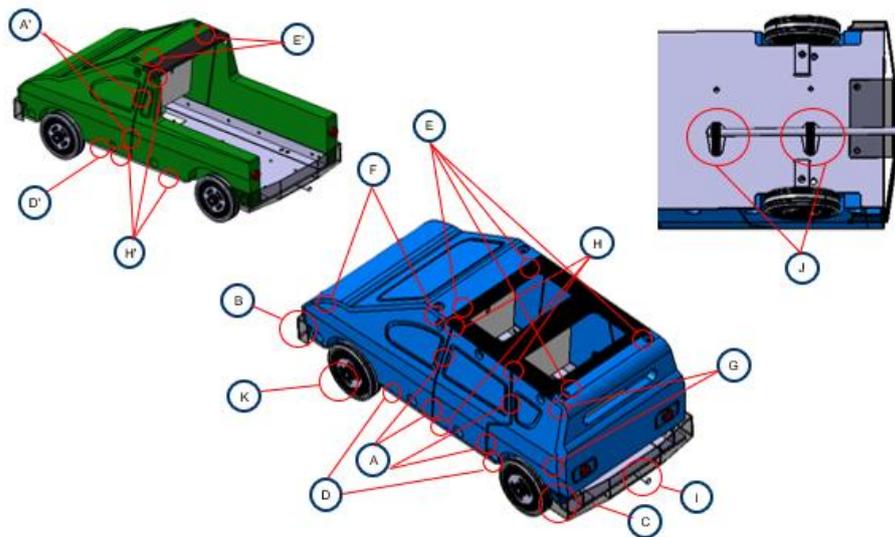


Ilustración 5: Puntos de control del coche. Fuente: Documentación Escuela Lean

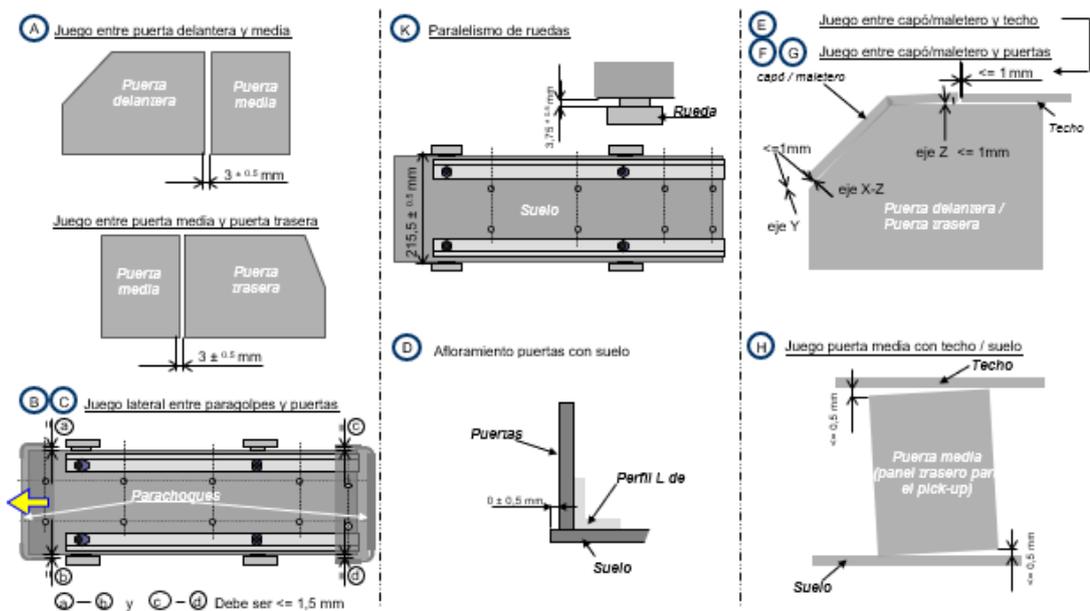


Ilustración 6: Puntos de control del coche. Fuente: Documentación Escuela Lean



2.2 Solectrón

El solectrón se trata de una pieza cilíndrica formada por cuatro niveles que se sostienen sobre una base metálica. Todas las capas se unen a la inferior mediante tornillos (Ilustración 7).



Ilustración 7: Solectrón

La empresa que lo diseña y fabrica en la simulación es “Epsilon”, y la que se encarga de desmontarlo y reciclarlo es la empresa “Recyclean”. Cada una de ellas cuenta con una línea de producción en las instalaciones y está conformada por cinco puestos de trabajo. Al día, se producen un total de 860 solectrones.

Esta pieza cuenta con un total de 49 componentes. Está formada en primer lugar por una base de aluminio, y por cuatro niveles de sectores de distintos colores que se unen entre sí, un solectrón cuenta con 16 sectores, es decir, 4 por nivel. En función del color del sector puede contener insertos o no. Todo ello está unido a través de tornillos.

Las piezas que componen el Solectrón de manera más detallada son las siguientes:

- ✓ Base de aluminio: se trata de una pieza cilíndrica de aluminio, está formada por una pieza circular de 12 cm de diámetro y sobre ella se sostiene una pieza cilíndrica de 6 cm de diámetro y 4 cm de alto.

Puede montarse bien con la parte de menor diámetro en la parte superior o al revés, con ella sosteniendo el resto de la base, es decir, el solectrón puede montarse en dos posiciones diferentes (Ilustraciones 8 y 9).



Normalmente en las sesiones prácticas los alumnos la montan de la primera manera, esto se debe en gran parte porque tiene una menor complejidad y porque se sostiene mejor durante su montaje.



Ilustración 8: Base del solectrón

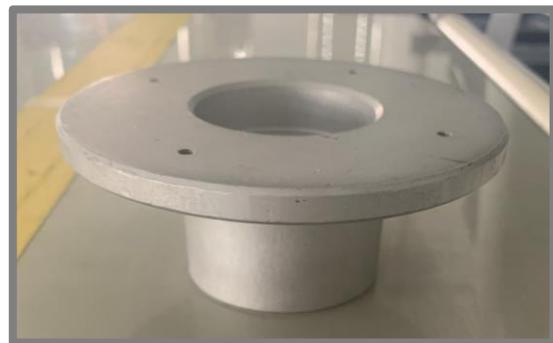


Ilustración 9: Base del solectrón

- ✓ Sectores: como se ha mencionado anteriormente, cada solectrón está formado por 16 sectores, cada nivel está compuesto por 4 sectores, cada uno de ellos tiene asignado una letra (sector A, sector B, sector C y sector D). Están unidos entre sí como las piezas de un puzzle y han de encajar perfectamente, si no es así, significa que se encuentran mal ensamblados (Ilustración 10). Estos sectores pueden ser de 4 colores: rojo, azul, amarillo y verde (Ilustración 11). Las capas de colores se unen a través de tornillos.

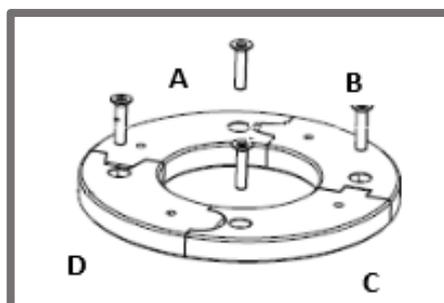


Ilustración 10: Sectores del solectrón



Ilustración 11: Colores normales de los sectores A del solectrón

- ✓ Insertos: son piezas geométricas de aluminio que vienen encajadas en el interior de ciertos sectores, estos pueden ser de diferentes formas:
 - Ovalada
 - Rectangular
 - Redonda
 - Hexagonal

Únicamente dos colores cuentan con ellos, los sectores de color rojo (nivel 4) y los sectores de color amarillo (nivel 2). Estos están sujetos por tornillos prisioneros, los cuales se introducen por los laterales de los sectores.

De esta manera las capas se alternan, es decir, la primera y la tercera capa son iguales porque no cuentan con insertos, y la segunda y la cuarta capa son iguales porque presentan insertos. En las siguientes ilustraciones (Ilustración 12 y 13) se muestra la estructura de una capa con insertos. En la Ilustración 14 se muestran los cuatro tipos de insertos.

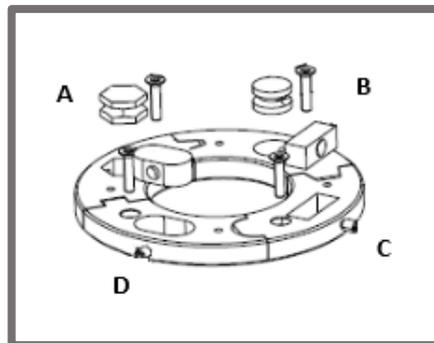


Ilustración 12: Insertos del solectrón

- Inserto A: inserto hexagonal
- Inserto B: inserto circular
- Inserto C: inserto rectangular
- Inserto D: inserto ovalado

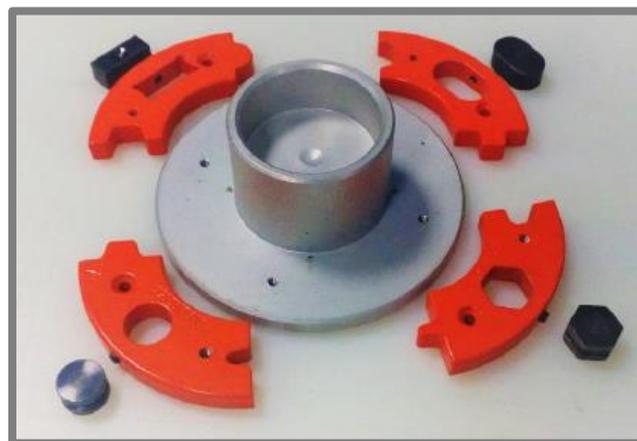


Ilustración 13: Insertos del solectrón



Ilustración 14: Insertos del solectrón

- ✓ Tornillos: su función es la de unir los diferentes sectores entre sí, así como los insertos. Cada solectrón cuenta con 24 tornillos, 8 de ellos son tornillos prisioneros, estos son los que sujetan los insertos (Ilustración 16), los 16 restantes son los tornillos que unen las diferentes capas de sectores (Ilustración 15).

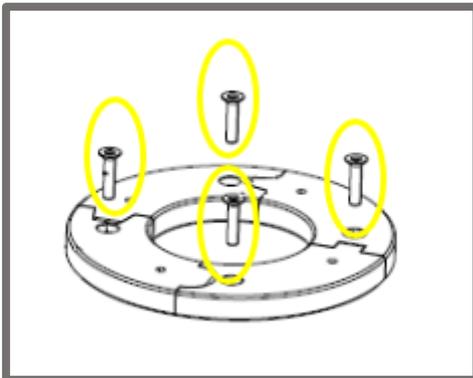


Ilustración 15: Tornillos del solectrón

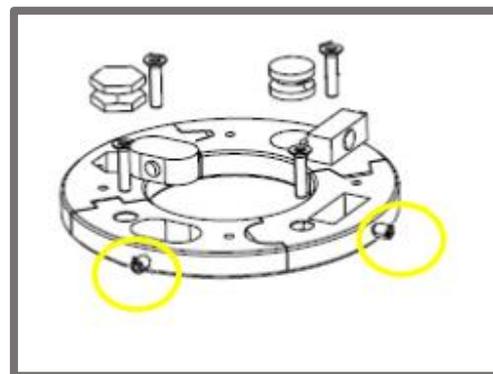


Ilustración 16: Tornillos prisioneros del solectrón



Ilustración 17: Gaveta con tornillos del solectrón



Ilustración 18: Tornillo del solectrón



Ilustración 19: Capa con insertos

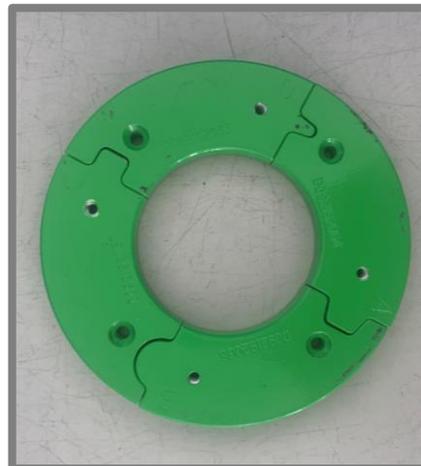


Ilustración 20: Capa lisa

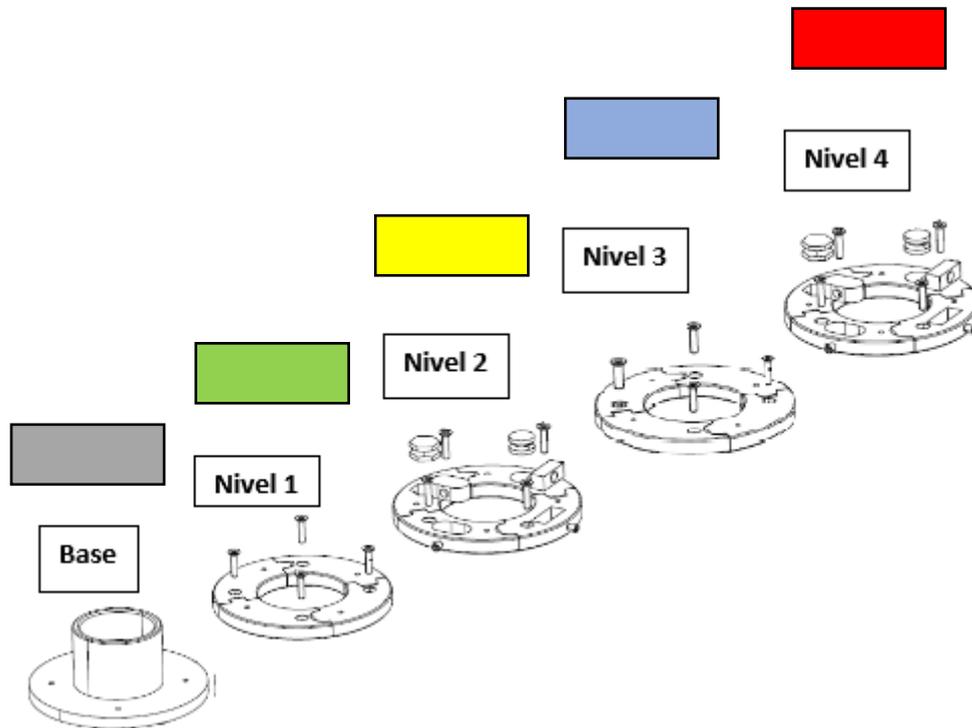


Ilustración 21: Niveles del solectrón

En la Ilustración 21 se puede apreciar un esquema desglosado de cada capa del solectrón indicando las piezas que componen cada una:

- ✓ Base metálica: en esta ocasión su posición es con la parte de menor diámetro en la parte superior. (Total: 1 pieza)
- ✓ Primer nivel: 4 sectores de color verde (Sector A, sector B, sector C, sector D), 4 tornillos inox (Total: 8 piezas)
- ✓ Segundo nivel: 4 sectores de color amarillo (Sector A, sector B, sector C, sector D), 4 insertos (inserto hexagonal, inserto circular, inserto rectangular, inserto ovalado), 8 tornillos. (Total: 16 piezas)
- ✓ Tercer nivel: 4 sectores de color azul, (Sector A, sector B, sector C, sector D), 4 tornillos inox (Total: 8 piezas)



- ✓ Cuarto nivel: 4 sectores de color naranja/rojo (Sector A, sector B, sector C, sector D), 4 insertos (inserto hexagonal, inserto circular, inserto rectangular, inserto ovalado), 8 tornillos. (Total: 16 piezas)
- ✓ Total de componentes del solectrón: 49 piezas.

2.3 LAYOUT DE LA ESCUELA LEAN

El siguiente Layout (Ilustración 24) muestra como está estructurada la Escuela Lean para la producción del coche, la diferencia que existe con el Layout del solectrón es que este último no cuenta con un almacén de piezas de origen externo ni una estantería de expedición.



Ilustración 22: Espacio Escuela Lean. Fuente: Documentación Escuela Lean

- Almacén para alumnos: espacio destinado para que los alumnos puedan depositar sus pertenencias. También disponen de epis de seguridad como botas y chaquetas (Ilustración 23).



Ilustración 23: Almacén para los alumnos

- Almacén de la Escuela: espacio en el que se almacena todo el material de la escuela, herramientas, estanterías, documentación... (Ilustración 24).



Ilustración 24: Almacén de la Escuela

- Meeting área: espacio donde se imparte las formaciones teóricas, es el punto en el que se reúnen los alumnos para compartir conclusiones o debatir sobre alguna actividad. Cuenta con unas mesas en forma de U, sillas y una pantalla con un proyector.
- Almacén estantería: lugar donde se almacenan cajas, herramientas o material para la producción (Ilustración 25 y 26).



Ilustración 25: Almacén



Ilustración 26: Herramientas del almacén para el coche

- Estantería de expedición: lugar donde los coches, una vez terminados, son entregados al cliente

Las siguientes áreas están presentes tanto en el Layout del coche como del Layout:

- Área de mecanizado: zona destinada a la producción de las bases.



- Área de montaje: zona dedicada a las líneas de producción de la Escuela. A medida que evolucionan las producciones, la configuración de las líneas se modifica, y el Layout también. .
- Área de reciclaje: zona dedicada al desmontaje de los solectrones para su reciclaje, cuenta con 5 puestos de trabajo.
- Área de lavado: lugar donde se lavan las piezas tras haber sido recicladas para darle un nuevo uso.

2.4 PROCESO PRODUCTIVO

Al comienzo la Escuela estaba distribuida según un determinado Layout, constaba de tres procesos principales:

- Línea de montaje: la empresa Epsylon se hacía cargo de ella.
- Línea de reciclaje: la empresa Recyclean era la responsable.
- Logística: es el nexo entre las dos líneas.

El objetivo principal es satisfacer la demanda del cliente en el tiempo requerido, con la cantidad demandada y la calidad que se espera.

Ambas líneas funcionan de manera similar, están formadas por 5 puestos de trabajo, cada puesto se dedica a una operación concreta. Cada puesto o atornilla o desatornilla las piezas, enfrente de su puesto de trabajo se sitúan unas rampas a través de las cuales Logística realiza el abastecimiento o recolección de material, son el almacén de cada puesto.

El funcionamiento es sencillo, cada operario coge el producto del puesto anterior, realiza la operación correspondiente y lo coloca en una bandeja de salida y así sucesivamente.

2.4.1 Situación inicial

Al comienzo de la Escuela Lean esta está distribuida de una determinada manera la cual a lo largo de las distintas producciones veremos que sufre cambios.



Al comienzo de la producción, la línea de montaje, perteneciente a la empresa Epsilon y la línea de reciclaje, perteneciente a la empresa Recyclean, se encuentran situadas una enfrente de la otra. Representan dos fábricas distintas.

En primer lugar, se analiza la línea de montaje. Está compuesta por cinco puestos de trabajo, se comienza recibiendo las bases de aluminio que bien se han adquirido de la máquina de mecanizado (Ilustración 27), esta máquina transforma bloques de aluminio en bases, o bien pueden provenir de la línea de Recyclean.



Ilustración 27: Máquina de mecanizado

Dichas bases de aluminio se trasladan de la máquina de mecanizado en cajas de 6 piezas (Ilustración 28 y 29) a una mesa desde donde se trasladará al primer puesto de la línea, este recorrido lo realiza un logístico.



Ilustración 28: Cajas de almacenamiento de bases



Ilustración 29: Cajas de almacenamiento de bases



Ilustración 30: Puesto de trabajo

Una vez que la base ha llegado al primer puesto (Ilustración 30) el operario monta la primera capa del solectrón, en este caso la de color verde. La pieza pasará por los sucesivos puestos de montaje ensamblando los sectores de color amarillo, azul y rojo hasta llegar al puesto número 5

En este último puesto se realiza un control de calidad para comprobar que las piezas cumplen con las especificaciones marcadas, el operario podrá comprobar de manera sonora y visual si los tornillos están correctamente apretados, si no es así, tendrá que reparar el solectrón en ese mismo momento para que llegue al cliente sin ningún tipo de defecto que pueda penalizar a la empresa. En la siguiente ilustración (Ilustración 31) se puede observar los colores que se montan en cada puesto.



Ilustración 31: Esquema de montaje del solectrón. Fuente: Sánchez Nava, 2021

Una vez realizado dicho control, se coloca la bandeja en un carro para que los solectrones ya ensamblados sean enviados al cliente. La siguiente operación se realizará en la línea de reciclaje.



Ilustración 32: Línea de montaje

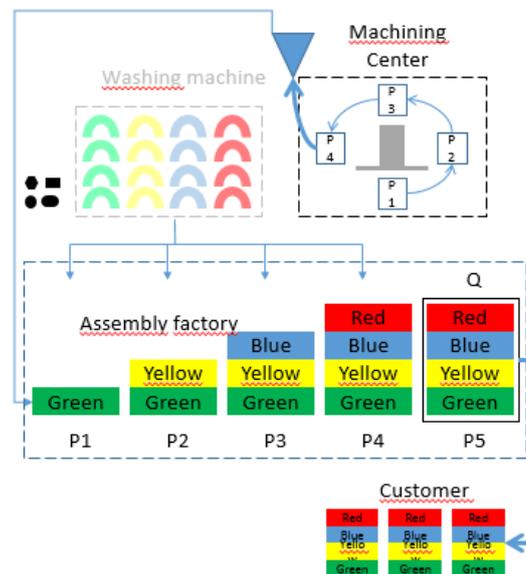


Ilustración 33: Representación del funcionamiento de la línea de montaje. Fuente: Sánchez Nava, 2021

En segundo lugar, la línea de reciclaje funciona completamente al revés que la de mecanizado. También cuenta con cinco puestos de trabajo.

En primer lugar, se reciben los solectrones completamente ensamblados de la línea de montaje en lotes de 9 piezas. En este caso, el primer puesto es el de calidad para así garantizar que las piezas vienen en buen estado, en el caso de que no lo estén se repararán al igual que sucede en el puesto de montaje. El segundo puesto se encarga de desmontar la primera capa, que será la de color rojo, y así en el resto de los puestos hasta que en el último se desmonta la última capa, la de color verde.

Una vez que se ha llegado a este punto, un logístico es el encargado de transportar las bases al área de mecanizado y los sectores a la lavadora.

Tras el reciclaje de los solectrones, en la lavadora se procede a limpiar los sectores para realimentar así posteriormente la línea de montaje (Ilustración 34).



Ilustración 34: Lavadora de la Escuela Lean

Enfrente de cada puesto de trabajo, en ambas líneas, se encuentra un almacén en forma de rampa en el cual los operarios recogen (en el caso de la línea de montaje) o depositan (en el caso de la línea de reciclaje) los sectores y los insertos, estos están almacenados en gavetas con capacidad de 6 espacios. De esta manera, se evita que la mesa de trabajo se ensucie y permite a los operarios realizar su trabajo en un espacio limpio y ordenado, siguiendo así las 5S.

Las gavetas se encuentran debidamente identificadas según el color y el tipo de pieza que almacena cada una. Para ello, se utilizan tarjetas, basándose así en un sistema Kanban, con el propósito de que el material se sustituya al mismo tiempo que se consume en el proceso. En la siguiente ilustración (Ilustración 35) se muestra un ejemplo.



Ilustración 35: Tarjetas Kanban

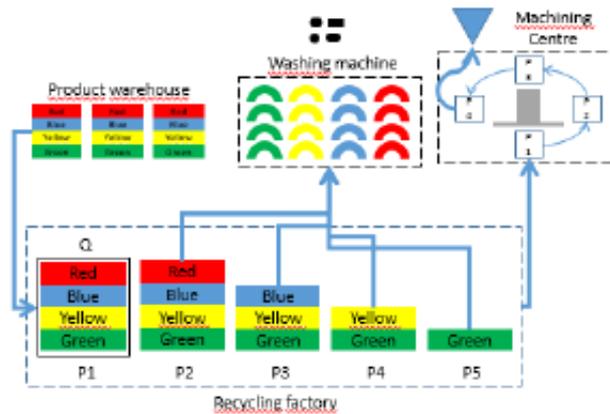


Ilustración 36: Representación del funcionamiento de la línea de recyclean. Fuente: Sánchez Nava, 2021

De esta manera se daría por finalizado el funcionamiento inicial de la Escuela Lean que se ha de estudiar para mejorar en posteriores producciones.



2.4.2 Primera producción

La primera producción parte de la siguiente situación que se muestra en la ilustración 37.

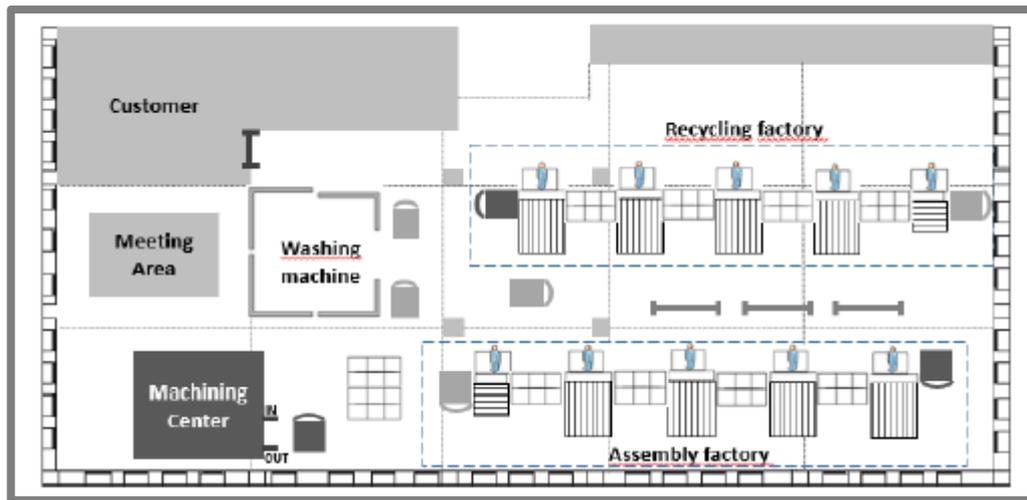


Ilustración 37: Layout de la primera producción. Fuente: Sánchez Nava, 2021

El objetivo por perseguir es cumplir con el Takt Time impuesto por el cliente. Los lotes que la empresa Epsilon ha de entregar, como se ha mencionado anteriormente, son de 9 piezas.

Cabe destacar que los solectrones a producir son exactamente iguales y ninguno es diferente al resto, es decir, seguirán el orden de abajo a arriba de verde, amarillo, azul y rojo, al igual que la segunda y la cuarta capa incluirán insertos.

Tras la primera producción, que será según se ha explicado en la situación inicial, se pide a los alumnos que saquen conclusiones sobre los resultados extraídos y los desperdicios que han observado para así tratar de mejorarlos en la segunda producción.

En relación con la calidad del solectrón se presentan una serie de dificultades, las cuales, con la creación de la ficha de calidad que se pretende crear en este proyecto, se analizarán para su prevención en las futuras producciones.

El movimiento de colocar los insertos en los sectores es una operación que conlleva más tiempo y esfuerzo, en concreto, el inserto con forma hexagonal se comprobó que era el que más problemas ocasionaba debido a su compleja forma y que en algunas ocasiones el tornillo



prisionero se atascaba. Estas dificultades encontradas en los puestos 2 y 4 es donde se encuentran los cuellos de botella.

De esta manera, se ocasionan esperas de los puestos 1 y 3 que no pueden continuar trabajando porque han de esperar a recibir las piezas de los puestos 2 y 4, de igual manera que los stocks se saturan.

En cuanto al puesto de calidad de la línea de montaje, el operario del puesto se encuentra saturado. La mayor parte de los problemas con los que se encuentra son por falta de apriete de los tornillos, la manera de comprobarlo es agitando los solectrones, si estos suenan significa que no están correctamente apretados. Si esto ocurre en la primera capa, no supone un problema pues solamente tiene que dar una vuelta de apriete más, el problema es cuando esto sucede en el resto de las capas, pues supone desmontar la pieza, lo cual conlleva una gran cantidad de tiempo.

Otro problema que se detectó en el puesto de calidad fueron los insertos mal apretados, al igual que en el caso de los tornillos, la operación de reapriete supone una gran pérdida de tiempo.

Estos dos últimos problemas suponen una carga de trabajo excesiva para el operario del puesto, así como una gran pérdida de tiempo y por consiguiente, un retraso en el envío de las piezas al cliente, quien no las recibe a tiempo.

2.4.3 Segunda producción

En esta producción se cambia la disposición de la Escuela, se crea un nuevo Layout con el objetivo de reducir el espacio y que las dos líneas se encuentren más cerca entre ellas y del centro de mecanizado. El centro de mecanizado es la única área que no puede moverse de sitio debido a su volumen, con lo cual continua en la misma posición que en la primera producción.

En la siguiente ilustración (Ilustración 38) se muestra como es el Layout en la segunda producción:

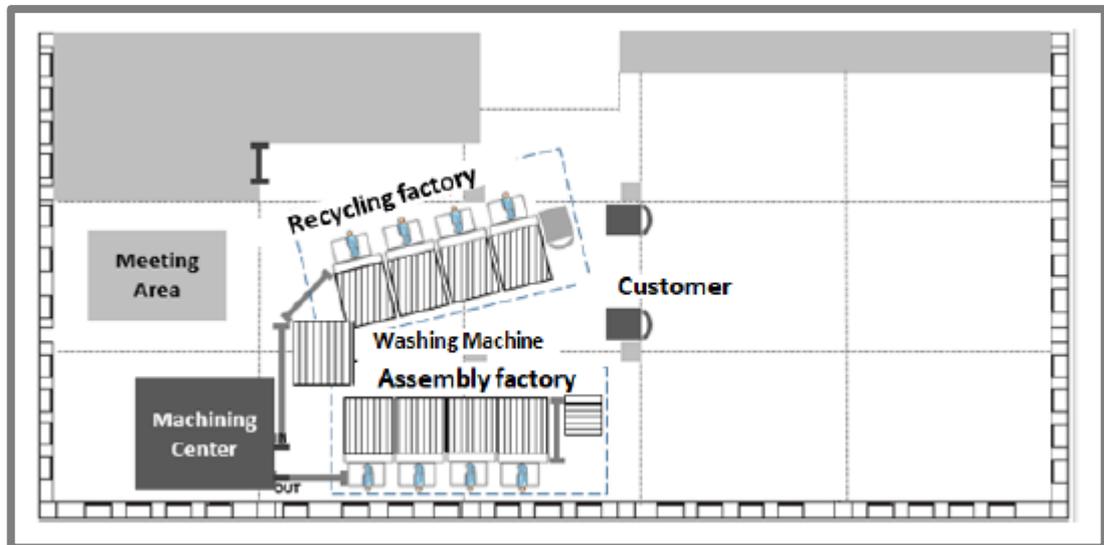


Ilustración 38: Layout de la segunda producción. Fuente: TFM Sánchez Nava,F

En esta segunda producción se elimina el puesto de calidad en ambas líneas, de tal manera que el control de calidad lo debe hacer cada operario en su puesto, esto se conoce como autocontrol, en el caso de que detecte una anomalía en la pieza deberá repararlo con el fin de que no llegue al final de proceso y finalmente, al cliente. Esta es una manera de implicar al operario en su trabajo y hacerle consciente de la calidad que está produciendo.

De tal manera que en ambas líneas se elimina el puesto número 5 y se reduce a únicamente cuatro puestos por línea.

Se equilibran los puestos de trabajo, con el fin de que en cada puesto se realice las operaciones con el mismo esfuerzo y conlleve el mismo tiempo.

A partir de esta producción se trabaja con lotes unitarios.



2.4.4 Tercera producción

En esta tercera y última producción se sigue trabajando con lotes unitarios, esto se debe a que los solectrones pueden ser de distintas combinaciones de colores y además existe una mayor variedad de colores como se puede apreciar en la Ilustración 39, esto, en materia de calidad, significa que las posibilidades de error aumenten ya que los colores se duplican.



Ilustración 39: Colores nuevos de sectores 3ª producción

Esta aparición de nuevas piezas implicaría una ampliación de las estanterías de los puestos de trabajo, esto supondría una ampliación de la fábrica y que los logísticos recorrieran mucho más trayecto, justo lo contrario a lo que se quiere y en lo que en las anteriores producciones se ha tratado de eliminar. Como lo que se pretende es agilizar el proceso y reducir todas las operaciones que no aportan valor, esto sería contradictorio. Por lo tanto, se ha de cambiar el sistema productivo y pensar en una manera más eficiente para poder conseguir el ansiado Tackt Time.

La solución que se da es la creación de unos kits (Ilustración 41), de tal manera que el operario tiene en una caja todo el material que necesita para realizar la operación correspondiente. Se crea la figura de kitter, esto es una persona responsable de la preparación de los kits en función del tipo de producto que ha demandado el cliente siguiendo unas instrucciones (Ilustración 40).

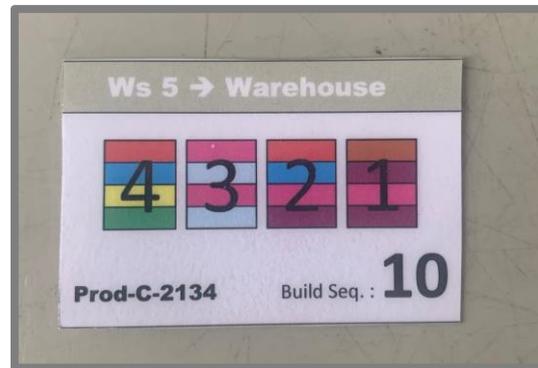


Ilustración 40: Tarjetas Kanban para montaje de lotes



Ilustración 41: Idea de Kit

Algunos de los errores que en este caso se pueden producir al emplear el kit es, la confusión de los colores de los sectores al estar juntos, no como en el caso de las dos primeras producciones que cada puesto contaba únicamente con un único color, lo mismo ocurre con los insertos.

Por otra parte, en esta producción la lavadora de los insertos es otra (Ilustración 42).



Ilustración 42: Lavadora de la tercera producción

El Layout de la tercera producción puede ser de la siguiente manera:

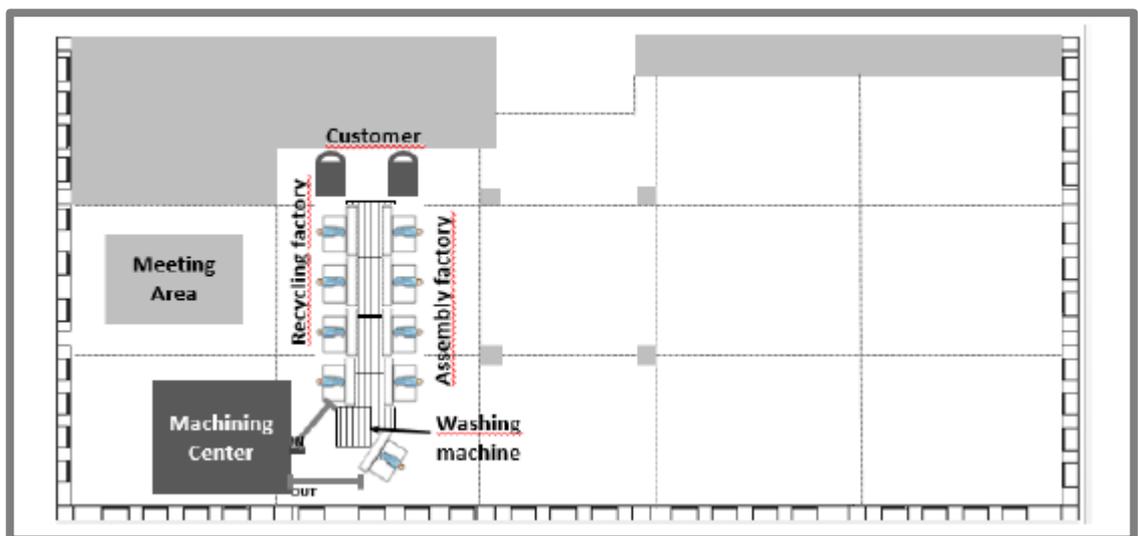


Ilustración 43: Layout de la tercera producción. Fuente: TFM Sánchez Nava, F



3. GESTIÓN DE LA CALIDAD

3.1 LEAN MANUFACTURING

La palabra inglesa “Lean” se podría traducir como “sin grasa, delgado”, si lo aplicamos a los procesos productivos esto querría decir que son “ágiles, flexibles”, capaces de adaptarse a las necesidades del cliente.

El “Lean Manufacturing” significa producción ajustada, esta, a diferencia de las producciones en masa, es Lean porque utiliza menos recursos.

Se trata de un sistema de organización del trabajo que se centra en la mejora del sistema de producción.

El objetivo de los sistemas Lean es eliminar todo aquello que no aporta valor y todo tipo de despilfarro, generar más valor con el menor número de recursos posible o de otra manera, “hacer más con menos”. Todo ello al mínimo coste posible y siempre apoyándose en el capital humano de la empresa. (Rajadell y Sánchez, 2010)

Se entiende como despilfarro todo aquello que no aporta valor al producto y que el cliente no está dispuesto a pagar por ello, son actividades que consumen tiempo, recursos y espacio.

Los despilfarros se han clasificado tradicionalmente en siete tipos, son los siguientes (Taiichi Ohno,1980):

1. Errores / Defectos: no hacerlo bien a la primera.
2. Movimientos: realizar movimientos innecesarios mientras una persona realiza una actividad.
3. Transporte: movimientos innecesarios cuando se mueve materia prima o componentes, suele ser causado por un Layout mal diseñado.
4. Esperas: tiempo en el que tanto las personas como las maquinas están paradas por falta de material o información, es el resultado de una secuencia de trabajo ineficiente.
5. Procesos superfluos: realizar actividades que son innecesarias pero que son imprescindibles en el proceso.



6. Sobreproducción: producir más cantidad de un producto de lo que hace falta, más rápido de lo requerido o antes de lo necesario, en otras palabras, poner más valor añadido a un producto de lo esperado.
7. Stocks: almacenar o producir stock más de lo indicado, tener más stock del que se necesita para satisfacer las necesidades más inmediatas de los clientes.

Los pilares del Lean Manufacturing son los siguientes (Rajadell y Sánchez, 2010):

- ✓ Mejora continua de la calidad y la productividad.
- ✓ Eliminación del despilfarro
- ✓ Implicación del personal y respeto por los trabajadores, se considera que las personas son el capital más importante de la empresa. Los trabajadores son los que están en contacto con el medio de trabajo, si surge un problema son los primeros en detectarlo y poner una solución. La colaboración y comunicación por su parte es un factor clave para un buen funcionamiento de una empresa Lean.
- ✓ Lead Times o tiempos de ciclo corto.
- ✓ Hacerlo bien a la primera, esto supondrá que no se den defectos, pero para ello habrá que detectar la causa de un problema y ponerle solución para que no vuelva a ocurrir.
- ✓ Eliminar actividades que no aportan valor al producto.
- ✓ Proceso “pull”, se produce bajo demanda, el objetivo es tener el menor stock posible.
- ✓ Ser flexible, es necesario saber adaptarse a la demanda y ser capaces de producir diferentes tipos de productos.
- ✓ Buena relación con los proveedores.
- ✓ Reducción de costes: la mejora de los procesos, la disminución de defectos y evitar el sobrestock contribuye a una disminución de los costes de la empresa.
- ✓ Formación constante del personal.



Una manera muy visual de representación de las herramientas Lean es a través de la casa Lean (Ilustración 44):



Ilustración 44: La casa Lean

Como se puede observar, la casa está dividida por diferentes elementos, se comienza por la base o los cimientos que son los que sustentarán a la empresa y le aportarán una estabilidad para la realización de los procesos de una forma segura, estos son la gestión visual, la filosofía que sigue la compañía, la estandarización de los procesos, y por último Kaizen (cambiar de manera continua para mejorar) y Heijunka (método para reducir las desigualdades en la producción y minimizar las sobrecargas), lo que orientará hacia la mejora continua y hacia una logística y una producción ordenada.

El corazón de la casa se centra en la mejora continua, la cual no se conseguiría sin las personas, sus equipos y su trabajo por conseguir la reducción del despilfarro.



Por otra parte, los pilares de la casa se componen por el Just In Time (Justo a Tiempo), es decir, fabricar lo que se necesita en el momento que se requiere y Jidoka, una serie de herramientas y procedimientos que contribuyen a la detección de anomalías en el proceso.

Estos pilares, aparte de apoyarse en la base y cimientos, son los que sustentan el tejado de la casa, este está compuesto por los objetivos finales de la empresa que son conseguir en el Lead Time requerido los productos solicitados por el cliente con la máxima calidad y el mínimo coste.

En resumen, una empresa que aplique la filosofía Lean gozará de una cultura empresarial flexible, será capaz de producir lo que el cliente demanda en el momento justo, con la cantidad requerida y con la calidad que se espera, para ello trabaja por estar en constante mejora y por superarse cada día para ser lo más productiva y eficiente posible.

3.1.1 Kaizen

Kaizen es el resultado de la combinación de las palabras japonesas “Kai”, que significa cambio y “zen” mejor, es decir, hacer un cambio para mejorar (Ilustración 45). Esto implica una serie de actuaciones concretas para mejorar de manera continua y gradual y sin interrupciones. Estamos hablando de un proceso de mejora continua.



Ilustración 45: Mejora continua

Un punto muy importante que destacar es la implicación todo el personal de una compañía para su obtención, desde los altos directivos hasta operarios. Estos últimos son los primeros interesados, pues son los que van a detectar los problemas y los que mejor van a saber qué



cambio se necesita, aparte de ser quienes van a agradecer la posterior solución. De esta manera también se pretende valorar más el conocimiento de los operarios, siendo la alta dirección y el resto de personal un apoyo. Así se cambia el concepto tradicional de organización, puesto que normalmente la dirección se encuentra en la cúspide de la pirámide y los trabajadores en la base, y en este caso se concibe al revés.

Se basa en el *know-how*, en el saber hacer, manteniendo lo que ya se tiene. Se hace uso de herramientas de calidad y está basado en el ciclo PDCA. Normalmente estos cambios son a largo plazo, se realizan cambios pequeños, pero que, sumando pequeñas y numerosas mejoras, se consiguen grandes resultados que harán ser más eficientes, todo ello con unas inversiones no muy altas.

Según Kaizen existen dos tipos de clientes, el cliente final o cliente externo y el cliente interno. Se persigue la plena satisfacción del cliente cumpliendo las especificaciones de los productos, los plazos de entrega, reducción de costes etc.

Por otra parte, dota de gran importancia al tratamiento de los datos, ya que a través de ellos se analiza qué problemas existen y a partir de ahí se solucionan. Todo lo que no se mide no se puede mejorar y lo que no se mejora, al final acaba empeorando.

3.1.2 VSM: Value Stream Mapping

El *Value Stream Mapping*, o *Mapa de la Cadena de Valor*, es una cartografía que muestra la situación de un momento determinado de un proceso productivo y todas las actividades que lo conforman. Es una herramienta clave en una empresa Lean, ya que ayuda a conseguir los objetivos de optimización de los procesos al máximo.

El *Value Stream Mapping*, en adelante VSM, se trata de una forma de representación de los flujos de una empresa, tanto los flujos materiales como los flujos de información que se dan desde el proveedor hasta el cliente. El objetivo principal es identificar aquellas actividades que no aportan valor a la cadena y eliminarlas para ser más eficientes, es un plan de mejora. Se plasma en un papel, de manera que es una herramienta muy visual y que de un vistazo permite



identificar el proceso que sigue un producto desde el inicio hasta el final. (Rajadell y Sánchez, 2010).

Para su creación es necesaria la participación y aportación de datos de todos los miembros de la empresa, en especial los que están involucrados en la implantación de la cultura “Lean”.

En la elaboración del VSM se debe tener en cuenta diferentes factores (Ambit BST,2020).

1. Demanda del cliente: a partir de la demanda que quiere el cliente se debe calcular el número de productos a fabricar en un día para poder satisfacer esa demanda correctamente.
2. Procesos: añadir los diferentes procesos, materiales y de información, se plasman en la cartografía de izquierda a derecha según vayan sucediendo. Estos datos serán el tiempo de ciclo, número de unidades (lote), tiempo de cambio entre productos, tiempo de trabajo por turno, o el tiempo disponible de la maquinaria.
3. Inventarios: son las unidades con las que se cuenta después de que finalice un proceso, tanto de materia prima o producto final, se representa a través de un triángulo en el que se indica con un número la cantidad de este stock.
4. Proveedores, clientes y tiempos de entrega: se representan los tiempos por parte del proveedor de la materia prima a recepcionar, la entrega a los clientes del producto final y las frecuencias de estos tiempos.
5. Flujo de información: a través de flechas se trazan los flujos de información que se dan, si son en forma de zigzag significa que la información se comunica de forma digital, de lo contrario es de forma manual.
6. Flujo material: en este caso la flecha es más gruesa.
7. Línea de tiempo: se representa la duración de todo el proceso, o Lead Time, el tiempo que se necesita para completar todo el proceso. Desde que se recepciona la mercancía hasta que se envía al cliente final.



En la Ilustración 46 se puede observar un ejemplo de un VSM.

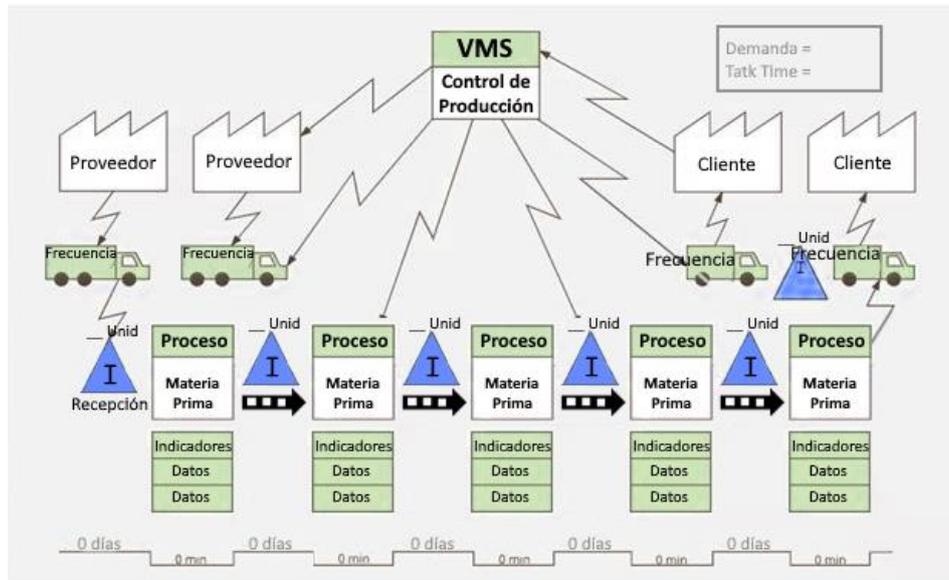


Ilustración 46: VSM. Fuente: Ambit BST

3.1.3 Herramientas Lean

3.1.3.1 Metodología 5S

Metodología de calidad creada hacia 1980 que consiste en la puesta en práctica de las 5S, cada una de las cinco palabras japonesas que comienzan por S, son las siguientes y siguen un orden:

1. Seiri – Seleccionar: consiste en separar lo necesario de lo inútil, separar lo que se necesita de lo que estorba y no se va a utilizar y va a terminar siendo un despilfarro, sirve para evitar la acumulación de objetos innecesarios en un futuro y mantener solamente lo imprescindible.
2. Seiton – Ordenar: definir una localización para cada objeto y colocarlo ordenadamente, facilitará su identificación y a la vez se ahorrará tiempo. Una frase que define muy bien este concepto es “Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar”.



3. Seiso – Limpiar: eliminar la suciedad del puesto de trabajo tras su uso para mantenerlo limpio siempre.
4. Seiketsu – Estandarizar: crear estados de referencia que permitan identificar una situación correcta de una incorrecta, es el resultado de las tres primeras “S”, en el caso de que se dé una desviación conviene indicar que se debe hacer.
5. Shitsuke – Practicar: consiste en la puesta en práctica de las anteriores “S”, conseguir que se creen hábitos y ser constantes en el mantenimiento de las normas que se han establecido.

Las 5S contribuyen a la implantación de un proceso de mejora continua de manera segura y que perdure en el tiempo a través de unos estándares.

Consiste en establecer estándares para conseguir una serie de objetivos:

- ✓ Trabajar en un entorno de trabajo limpio y ordenado, ya sea en las instalaciones de la empresa o el propio puesto de trabajo, tanto en las oficinas como en la planta.
- ✓ Que de un vistazo se pueda identificar lo que se necesita haciendo cualquier defecto visible y que se pueda solucionar de manera rápida
- ✓ Aumentar la productividad
- ✓ Trabajar en un lugar seguro, reducir el riesgo de accidentes para así que disminuya el número de ellos.
- ✓ Reducir movimientos y desplazamientos inútiles que suponen una pérdida de tiempo, también se reduce el tiempo de cambio de herramientas.
- ✓ Mejorar la imagen de la empresa y evitará reclamaciones relativas a la calidad de los productos

Todo ello contribuirá a que los trabajadores estén satisfechos con su lugar de trabajo, que sean más productivos y estén más motivados, será beneficioso tanto para ellos como para la empresa.



Ilustración 47: Metodología 5S

3.1.3.2 Kanban

El sistema Kanban tiene su origen en la empresa japonesa Toyota en el año 1975, su creador fue Taiichi Ohno, creador también del sistema “Pull” o “Tirar de la producción”. El flujo pull consiste en que el material se sustituye al mismo tiempo que se consume en el proceso.

La palabra “Kanban” proviene de la palabra “kan” que significa tarjeta con signos o señal visual y “ban” que significa tablero, aplicado a la producción es un signo enfrente de la producción que le indica al trabajador la necesidad de producir, puede ser una tarjeta, una caja vacía etc

El sistema Kanban se podría definir como “un sistema de información completo, que controla de manera armónica la fabricación de los productos necesarios, en la cantidad y el tiempo adecuado, en cada uno de los procesos que tienen lugar en el interior de la fábrica” (Rajadell y Sánchez,2010).



Los principales objetivos de la implantación de un sistema “pull” mediante el uso de las señales “Kanban” son:

- ✓ Conseguir que las unidades que se produzcan coincidan con las necesidades que existen en ese momento, esto se consigue reduciendo el nivel de stock y procurando que el operario solo produzca las unidades que se han retirado en el proceso posterior.
- ✓ Implantación de un sistema visual que permita identificar fácilmente donde existe un problema.
- ✓ Facilitar un flujo continuo de la producción y conseguir nivelar el proceso.

3.1.3.3 Técnica SMED

Las técnicas SMED, en inglés las siglas de “*Single Minute Exchange of Die*” o también conocido como cambio rápido de herramienta, tienen por objetivo la reducción del tiempo de cambio. Se trata de una herramienta de mejora más, la cual requiere de constancia y esfuerzo por parte de la empresa por conseguir tiempos de preparación cada vez más cortos.

Normalmente se pone como ejemplo el tiempo que se tarda en la Fórmula 1 en hacer el cambio de ruedas y en echar gasolina a un coche en una carrera, donde el tiempo es un factor significativo.

El tiempo de cambio se define como el tiempo que se da entre la última pieza producida del producto “A” y la primera pieza del producto “B”.

El término “*Single Minute Exchange of Die*” originalmente significaba que el tiempo de cambio fuera un número en minutos inferior a un número de dos cifras, es decir, de menos de 10 minutos. Esto es así porque si se reducía el tiempo de preparación se reduciría el tamaño de los lotes y por consiguiente los stocks tanto de materia prima como de producto terminado para trabajar en series de producción cortas. Actualmente, los tiempos de preparación se han llegado a reducir a menos de un minuto.



La técnica SMED fue creada por los japoneses en la organización científica del trabajo, su creador fue Shigeo Shingo cuando trabajaba para la empresa Toyota en los años setenta.

Existen diversos tipos de tiempos de cambio, alguno de ellos son los siguientes:

- Preparación para la producción
- Cambio de utillajes y herramientas
- Cambiar piezas a ensamblar u otros materiales
- Cambiar parámetros estándar

¿Cuál es la diferencia entre los tiempos de cambios largos y los tiempos de cambios cortos?

Si el tiempo de cambio es costoso debido al tiempo requerido y a una pérdida de capacidad, lo más normal es reducir su frecuencia y minimizar los cambios. De esta manera se aumenta el tamaño del lote y por consiguiente aumenta el stock y se reduce la rotación de las existencias.

Un tamaño de lote pequeño aumenta los costes de lanzamiento, pero el objetivo de la técnica SMED es reducir este coste de manera que llegue a ser insignificante. Si este coste llega a ser insignificante se podrá producir la cantidad que se desee y no será necesario invertir en inventarios y será posible trabajar bajo pedido. En muchas ocasiones, el coste de tener producto terminado almacenado genera unos costes muy altos.

Los grandes lotes impiden que la producción se mezcle y haya una variedad de productos más amplia en un lote. La producción mezclada es aquella que permite que en un mismo lote haya distintos tipos de productos. El hecho de que haya una mayor variedad de productos dota de mayor flexibilidad a la empresa y le permite que tenga una mayor rapidez de respuesta al mercado.

La producción en pequeños lotes genera la misma cantidad de unidades si el tiempo de cambio de serie es mínimo. Por ello lo más importante es trabajar en su reducción al máximo.

Por el contrario, si se dan pocos cambios de serie, se tiende a la obsolescencia de los productos.



Por último, diferenciar entre dos tipos de tiempos, por un lado, los tiempos internos, estos son los trabajados cuando la máquina está parada, y los tiempos externos, corresponden al trabajo que se realiza cuando la maquina está en marcha.

Como conclusión, cuanto más se trabaje por reducir el tiempo de cambio de serie, más productiva será la empresa, pues reduce el tiempo de fabricación, a la vez que produce más y se reduce el stock.

3.1.3.4. Técnica Poka-Yoke

“Es bueno hacer las cosas bien la primera vez, pero es aún mejor hacer que sea imposible hacerlas mal desde la primera vez.” (Shigeo Shingo. 1960). (De Domingo, J; Arranz, A (2006)).

Uno de los objetivos de la Calidad Total es conseguir los “cero defectos”, para ello se ha aplicado la técnica “Poka-Yoke”, término japonés que significa “a prueba de error”, de manera que un dispositivo detecta un error antes de que se convierta en un fallo. El objetivo es impedir que se produzca un producto que no cumple con los requisitos y garantizar los “cero defectos” al 100%.

Esta herramienta también fue creada en la década de los sesenta por Shigeo Shingo en la empresa Toyota en la década de los 60.

Normalmente se aplica a las operaciones de mayor valor, de manera que no se deposita la responsabilidad en las personas (ya que la posibilidad de equivocación puede suponer un grave peligro), y a su vez estas operaciones se realizan con mayor rapidez y calidad. Si se detecta un fallo, el Poka-Yoke alertará al trabajador de manera visual o sonora para su arreglo.

Existen dos tipos de Poka-Yoke, de proceso y de producto, los poka-yokes de proceso se aplican directamente en el puesto de trabajo, de manera que en el momento en donde se ha podido crear el error se detecta y se soluciona, de tal forma que no llega al final del proceso. Si el producto con el defecto llega hasta el final, el coste de este a medida que avanza en la cadena será mayor. El poka-yoke una vez que detecta un producto no conforme, bloquea el sistema y no deja avanzar hasta que se soluciona.



Por ejemplo, un sensor de temperatura a la entrada de un proceso, si la temperatura no es la correcta, el Poka-Yoke alertará, parará el proceso y no dejará que el sistema inicie. De esta manera se ahorra en posteriores inspecciones, ahorrando tiempo y costes. De esta manera la técnica Poka-Yoke tiene tres funciones:

- Función de Parada
- Función de Control
- Función de Aviso

El diseño y validación del Poka-Yoke sigue el siguiente orden que se muestra en la Ilustración 48.



Ilustración 48: Técnica Poka-Yoke

3.1.3.6 Jidoka

Jidoka, es la palabra japonesa que en inglés se traduce como “Automation with a human touch”, *Autonomización de los defectos o Automatización con enfoque humano*, se trata de un sistema de control autónomo de defectos.

Consiste en delegar autoridad a los operarios de la línea, de tal manera que pueden parar la producción si detectan un problema de seguridad, de calidad o un mal funcionamiento de las máquinas.

Se trata de un compromiso por parte de la empresa con la mejora continua en hacer las cosas “bien a la primera”. Estos pulsar un botón, una lámpara conocida como “Andon”, en el momento en el que detectan una irregularidad o un defecto en la producción, a su vez el resto de personal es alertado del problema.

Existen tres tipos de luces (Ilustración 49), una luz verde significa que no está habiendo problemas en la producción; una luz ámbar que el operario ha detectado un problema, pero es capaz de solucionarlo por sí mismo; mientras que una luz roja es que se ha detectado un



problema mayor que hace parar la producción y el operario requiere de la ayuda de sus compañeros y del supervisor.



Ilustración 49: Luz Andon

De esta manera se anima al personal de la línea a involucrarse en la solución de los problemas y a hacerles partícipes de todo lo que ocurre en el día a día de la planta, motivándoles a encontrar la causa raíz del problema ocurrido. No es necesario la previa aprobación de los directivos o personal de calidad, ya que al operario es considerado como un inspector de calidad.

La resolución de los problemas se hace inmediatamente después de su detención, así se minimiza la repetición de estos a tiempo y se evita que sean detectados en una etapa posterior del proceso, lo cual puede generar grandes costes y pérdida de productividad.

3.2 CONCEPTOS GENERALES DE LA CALIDAD TOTAL

3.2.1 Calidad total

En la actualidad, la calidad es uno de los objetivos principales de las organizaciones y cada vez de forma más acentuada, ha pasado a ser una estrategia competitiva entre las empresas. Para ello, es necesario conocer que significa la palabra calidad en su sentido más amplio, no solamente en lo que se refiere a la calidad de un producto o un servicio.



A continuación, algunas definiciones del concepto de calidad. Estas nos permitirán conocer en qué aspectos hay que centrarse para la consecución de la calidad y que errores se han de evitar.

- La Calidad según la norma UNE: “Calidad es el conjunto de características y propiedades de un producto o un servicio que le confieren su aptitud para satisfacer unas necesidades expresadas o implícitas”. (Norma UNE- 66001). (Carot Sierra, Carrión García y Jabayoles Vivas,2020).

Estas características han de ser medibles y cuantificables y no solamente aplicable a productos, sino también a los servicios, además de los requisitos especificados por el cliente la organización ha de fijarse unos propios que cumplir en su actividad diaria.

- La calidad según Ishikawa: “Trabajar en calidad, consiste en diseñar, producir y servir un producto o servicio que sea útil, lo más económico posible y siempre satisfactorio para el usuario”. (Kaoru Ishikawa). (Carot Sierra, Carrión García y Jabayoles Vivas, 2020).
- La calidad según Taguchi: “La calidad de un producto es la mínima pérdida impuesta a la sociedad durante la vida de dicho producto.” “La pérdida impuesta a la sociedad coincide con la pérdida de la empresa a largo plazo”. (Genuchi Taguchi). (Carot Sierra, Carrión García y Jabayoles Vivas,2020).

La Gestión de la Calidad Total se define como el modelo de gestión de la calidad de una organización basada en la participación de todos sus miembros y haciendo uso de los recursos que dispone, con el objetivo de lograr la satisfacción del cliente. Pero de la misma manera que se quiere lograr la satisfacción del cliente, también se quiere la de los empleados, accionistas, y sociedad en general. Está ligado al concepto de mejora continua y pretende obtener una calidad óptima en todos los departamentos de la organización.

El término de calidad a lo largo de los años ha ido evolucionando, se podría decir que ha pasado por distintas fases a medida que la sociedad también avanzaba y evolucionaba:

1. Primera fase (hacia 1920): Control de Calidad: el objetivo principal era cumplir con las especificaciones establecidas, el control de la calidad se realizaba una vez en el producto final, es decir la calidad se comprobaba al final del proceso, esto suponía unos costes



muy altos y una pérdida de dinero, así como un incremento en el precio del producto final.

2. Segunda fase (a partir de 1950): Aseguramiento de la Calidad: el objetivo en este caso era cumplir con las necesidades de los clientes, reducir los costes, eliminar defectos y ser más competitivo. Se hacía mayor hincapié en el control de los procesos y sistemas de calidad, la calidad había que lograrla, no comprobarla. Este era un proceso en el que todos los departamentos tenían que colaborar, incluyendo a proveedores tanto internos como externos.
3. Tercera fase (a partir de 1970): Gestión de la Calidad Total: el término de Calidad Total es el más avanzado tras todas las transformaciones que ha sufrido el concepto de Calidad. El objetivo es satisfacer a todas las personas relacionadas con la organización, tanto al cliente interno como al cliente externo, la calidad ha de gestionarse y estar en constante mejora. La calidad ha de considerarse un factor estratégico para la empresa.

Algunos de sus principios son los siguientes:

- Conseguir la plena satisfacción de las necesidades y expectativas del cliente, este es el objetivo fundamental de la Calidad Total. Se trata de lograr la competitividad de la organización a través de la satisfacción de las necesidades de los clientes a un coste económico.
- Diseño e implantación de la mejora continua del proceso, seguimiento de esta y evaluación de los resultados.
- Implicación de la Dirección y posterior divulgación a los niveles intermedios para que finalmente abarque a todo el personal.
- Implicación de los proveedores en el plan de mejora continua de la empresa.
- Seguimiento del sistema de calidad implantado, analizarlo, estudiar los resultados y elaborar planes de mejora.



- Conseguir la calidad en todos los procesos y en todas las actividades de la organización. No solo se debe conseguir la calidad en un producto o en un servicio, sino también en su proceso.
- Hacer las cosas bien a la primera, es mejor prevenir para evitar costes futuros causados por una no calidad.

La Gestión de la Calidad Total la podríamos definir como:

- ✓ Gestión: compromiso por parte del equipo directivo de la organización.
- ✓ Calidad: el objetivo es cumplir con las expectativas del cliente, asumirlo y conseguirlo.
- ✓ Total: compromiso de toda persona involucrada en el proceso, desde el proveedor hasta el cliente, crear consciencia de ello.

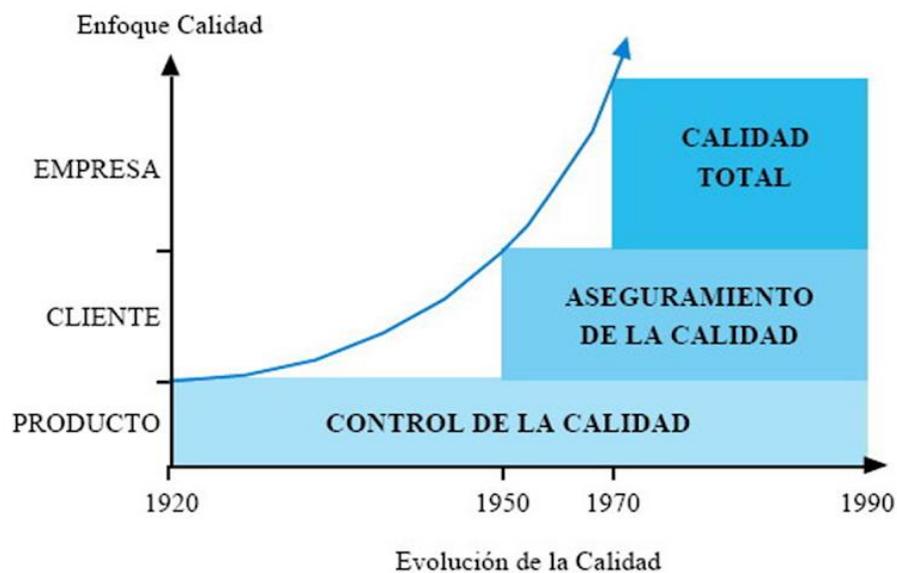


Ilustración 50: Evolución de la Calidad

Para comprender mejor la evolución del concepto de Calidad, resulta conveniente destacar a diferentes autores que han intervenido en su desarrollo y explicar brevemente las aportaciones



de cada uno de ellos, gracias a estas personas se ha podido llegar hasta donde se está hoy en día.

- Edward Deming: creador de la rueda de Deming o más conocido como ciclo PDCA.
- Walter Shewart: fue quien se encargó de la difusión de la rueda de Deming o el ciclo PDCA. Además, desarrolló el Control Estadístico de Procesos, cuyo objetivo es centrarse en el control del proceso, más que el producto, de tal manera que se asegura que se están cumpliendo con las especificaciones previamente establecidas.
- Joseph Duran: autor de la trilogía “Planificación de la Calidad, Control de la Calidad y Mejora de la Calidad”, considera más importante la implicación del personal y el trabajo en grupo que la inspección.
- Kaoru Ishikawa: creador de los “Círculos de la Calidad”, cuyo objetivo es mejorar la calidad de los procesos. Creador del diagrama causa-efecto o conocido también como “Diagrama de Ishikawa”, herramienta destinada a encontrar la causa raíz de un problema.
- Taiichi Ohno: vicepresidente de la empresa Toyota, creador del sistema Just In Time (Justo a Tiempo), con el principal objetivo de que el cliente reciba el producto final en el momento adecuado, la cantidad requerida y con la calidad esperada, eliminando todo posible desperdicio. También elaboró la lista de los “7 despilfarros”.
- Masaaki Imai: autor del libro “Kaizen, la llave del éxito competitivo japonés”, destaca el empleo de la mejora continua como clave del éxito.
- Genichi Taguchi: creador del método Taguchi, utiliza la estadística para establecer unos límites de control que garantizan un mínimo de calidad en los productos y rechaza aquellos que no cumplen con ella. (De Domingo y Arranz, 2006).

3.2.2 Mejora continua- Ciclo PDCA- Ciclo de Deming

Uno de los principios básicos para alcanzar la Calidad Total es la mejora continua, o también conocido como el Ciclo PDCA o Ciclo de Deming.

Su creador fue el profesor William Edwards Deming, pero realmente quien difundió su uso fue el físico norteamericano Walter Shewhart en 1939, que desarrolló un ciclo de resolución de problemas.



Este consta de cuatro puntos, las siglas PDCA provienen de las palabras inglesas *Plan, Do, Check* y *Act*, en español se conoce como PHVA. El objetivo es que la calidad esté en constante mejora para disminuir los fallos, mejorar la eficiencia y eficacia y conseguir la resolución de problemas.

Se basa en lo siguiente:

Plan – Planificar: para ponerle solución a un problema hay que realizar una acción correctiva y para lograrlo hay que seguir un plan y establecer que pasos se van a seguir y que método es el más adecuado para su consecución. Para ello es necesario planificar todo aquello que se quiere mejorar. Se deben responder a preguntas tales como: qué, por qué cómo, cuándo, dónde, quién.

- Qué problema queremos solucionar, identificarlo.
- Definir el problema
- Analizarlo
- Crear medidas de contención

Do – Hacer: una vez que se ha decidido que acciones realizar, ponerlas en marcha. Durante esta etapa es importante registrar que problemas se han presentado para tenerlo en cuenta para próximas ocasiones.

Check – Verificar: medir que los resultados conseguidos en la etapa “D” corresponden con los objetivos propuestos en la etapa “P”. Si la diferencia es muy grande conviene analizar cuál ha sido la causa. Es importante que los problemas no vuelvan a ocurrir para así poder asegurar la mejora.

Act – Actuar: establecer las acciones oportunas para corregir las desviaciones detectadas, establecer acciones de mejora. En el caso de que todo fuera según lo establecido, no sería necesario tomar más acciones.

Independientemente del resultado obtenido, el ciclo ha de volver a comenzar, se deben establecer nuevos objetivos cada vez que el ciclo reinicia para así conseguir la mejora continua y reevaluar las actividades para incorporar nuevas mejoras.

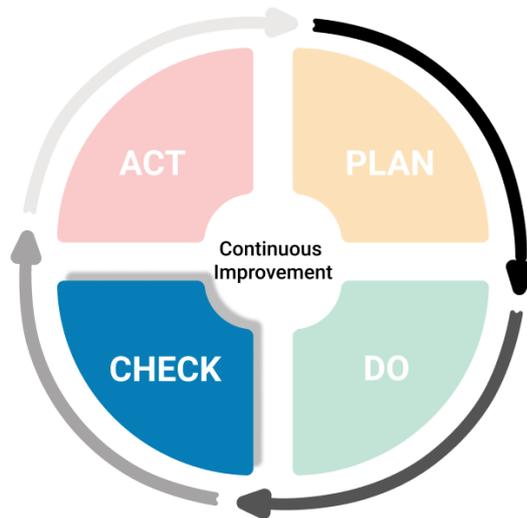


Ilustración 51: Ciclo PDCA. Fuente: Kanbanize

Toda empresa que aplique este método de mejora continua a todos los problemas que se le presenten, será capaz, en un corto espacio de tiempo, de mejorar sus resultados ya que una vez que se ha identificado el problema se le garantiza el control real de este, la implantación de unas medidas de contención, unas acciones correctivas, la propuesta de soluciones y un seguimiento del problema para evitar su repetición en el futuro y el mantenimiento de la mejora realizada.

3.2.3 Metodología Six-Sigma

Six-sigma o en español conocido como Seis- Sigma, es una metodología de mejora de procesos creada en los años ochenta por el ingeniero Bill Smith, de la empresa Motorola, con el objetivo de reducir los defectos en los productos a un nivel casi nulo y radical, y llegar a niveles que rozaran la perfección y el principio “cero defectos”.

Motorola se propuso mejorar diez veces sus niveles de calidad en cinco años, en 9 años se había logrado mejorarlo cien veces con respecto al objetivo que se habían marcado.

Estadísticamente hablando, Six-Sigma, significa “seis desviaciones estándar de la media”, lo cual se traduce matemáticamente a menos de 3,4 defectos por cada millón de unidades producidas, esto es lo mismo que garantizar una eficiencia del 99,99966%.



Por ejemplo, si una fábrica de tornillos produce un millón de tornillos, se admite únicamente que haya 3 o 4 malos.

Esto significa que una empresa que emplee el Six-Sigma, dejará de utilizar la media como métrica para analizar los resultados y empleará la desviación estándar la cual representa la variación de un conjunto respecto a su media.

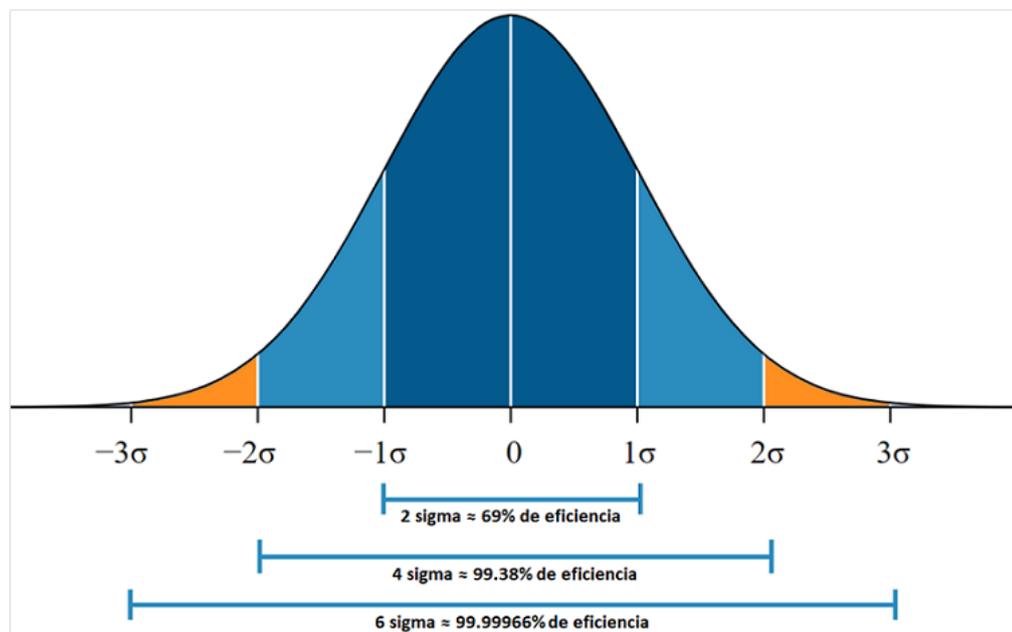


Ilustración 52: Six Sigma. Fuente: Cesuma

Por otra parte, Six-Sigma, utiliza la metodología DMAIC, en inglés las siglas de *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*, cinco fases que se han de seguir en cada proceso. (Conexión Esan, 2016).



DMAIC	
Define -Definir	La dirección de la empresa deberá definir el proceso que va a ser objeto de mejora, fijará el equipo que lo llevará a cabo y se impondrán los objetivos de mejora, entre ellos reducir los defectos a menos de 3,4 por un millón.
Measure - Medir	Tras obtener los datos del proceso, se realizan mediciones y una evaluación de estos. Se compara el resultado obtenido con el objetivo inicial para verificar si las mejoras implantadas han sido satisfactorias.
Analyze - Analizar	En este paso el objetivo principal es identificar la causa raíz del problema y comenzar a tratarlo.
Improve - Mejorar	Momento de tratar las acciones de mejora que se trataron en el punto anterior. La involucración del personal es su aplicación es clave.
Control	Es el momento de asegurar una continuidad de las acciones implementadas y garantizar su eficacia. La mejora continua a lo largo del tiempo es imprescindible, este es el principio de la mejora continua.

Ilustración 53: Tabla DMAIC. Fuente: Elaboración propia

3.3 LAS 7 HERRAMIENTAS BÁSICAS DE LA CALIDAD

Las Siete Herramientas Básicas de la Calidad se trata de un conjunto de técnicas gráficas enfocadas a resolver los problemas relacionados con la calidad de los procesos, mejorarlos, medir la calidad de los servicios y detectar los principales factores que ocasionan un problema. Se denominan herramientas básicas porque su uso es sencillo y pueden ser empleadas por personas que estén poco habituadas a tratar con herramientas de estadística.

Su creador fue Kaoru Ishikawa, un químico industrial japonés y profesor de ingeniería de la Universidad de Tokio experto en control de la calidad. Es el creador de una de estas siete herramientas, el diagrama de Ishikawa. Se le considera el padre del análisis científico de las



causas de los problemas industriales. Fue el encargado de reunir siete herramientas de calidad que él consideró básicas.

Hay una frase que identifica su profunda creencia en la importancia de la calidad: "Estoy convencido de que la paz y la prosperidad mundial necesitan un control de calidad. Por lo tanto, el control de calidad debe enseñarse y difundirse en todo el mundo" (Kern, Johannes. 2021).

Estas herramientas son siete por un motivo, esto se debe a que los samuráis, guerreros japoneses, utilizaban siete herramientas o armas en su actividad militar.

Ishikawa aseguró que el 95% de los problemas se pueden resolver si se saben usar correctamente estas siete herramientas que presenta.

Estas herramientas son las siguientes:

- ✓ Hoja de recogida de datos
- ✓ Histogramas
- ✓ Diagrama de Pareto
- ✓ Diagrama de causa-efecto
- ✓ Gráficos de control
- ✓ Diagrama de dispersión
- ✓ Estratificación

3.3.1 Hoja de recogida de datos

Una hoja de recogida de datos consiste en un formato diseñado para ser plasmado en una hoja impresa en la cual aparece una recopilación de datos relacionados con la producción. El objetivo es analizar estos datos y hacer un seguimiento para la resolución de los problemas que se han detectado. Estos datos se recogen en función de unos objetivos concretos

Los datos posteriormente son analizados y evaluados a través de otras herramientas, el objetivo es sacar unas conclusiones del comportamiento del proceso y detectar tendencias y comportamientos anómalos.



Por norma general, suelen plasmarse en tablas formadas por columnas de manera que la información se obtiene de manera muy visual y ordenada. También pueden tener formato de lista. A parte, hay que destacar su sencilla realización.

En la ilustración 54 se muestra un ejemplo de una hoja de recogida de datos de los tipos de defectos que se pueden encontrar en un producto, clasificándolos según el día de la semana en el que se produjo, la máquina de la que proviene y el operario que lo detectó.

Equipo	Oper.	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
		am	pm	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm
Máq 1	A	0X XΔ	00x •□	□Δ X	Δ• □	•□ □0x	□Δ X	Δ• ΔΔ	ΔΔ ••□	••□ □	ΔΔ
	B	••□ □Δ	0•□ □0x	0X Δ	□□ X	□Δ 0X	••□	••□ □00	••□ 00	□□ X	□
Máq 2	C	•0x	•□0 x	Δ		□Δ X	••□ □	•□ □x			□□ 00
	D	Δ• □	□Δ X	□Δ X	□	Δ	0•□ □0x		•□ □0x		Δ

□ Arañazo
X Golpe
• Rebaba
Δ Deformación
0 Otros

Ilustración 54: Hoja de recogida de datos

3.3.2 Histogramas

Los histogramas, o también conocidos como diagramas de distribución de frecuencias, son una representación gráfica de datos a través de barras verticales de una distribución de frecuencias de una variable continua, en la que cada una de las barras representa una clase. Se refleja la dispersión de los valores respecto a la media (De Domingo y Arranz, 2006).

Un histograma permite conocer el número de veces que se repite un resultado cuando se realizan mediciones sucesivas con el objetivo de identificar los problemas que surgen en la calidad del proceso.



Esta herramienta resulta muy útil cuando se tiene un gran número de datos que se desean ordenar para analizar de manera más detallada y poder tomar decisiones sobre ellos.

También es una manera muy eficaz de presentar la información al resto de personas ya que resulta muy claro y visual.

Permite comparar los resultados conseguidos con las especificaciones establecidas previamente y comprobar si el proceso satisface al cliente. Permite saber si se han dado cambios en el proceso.

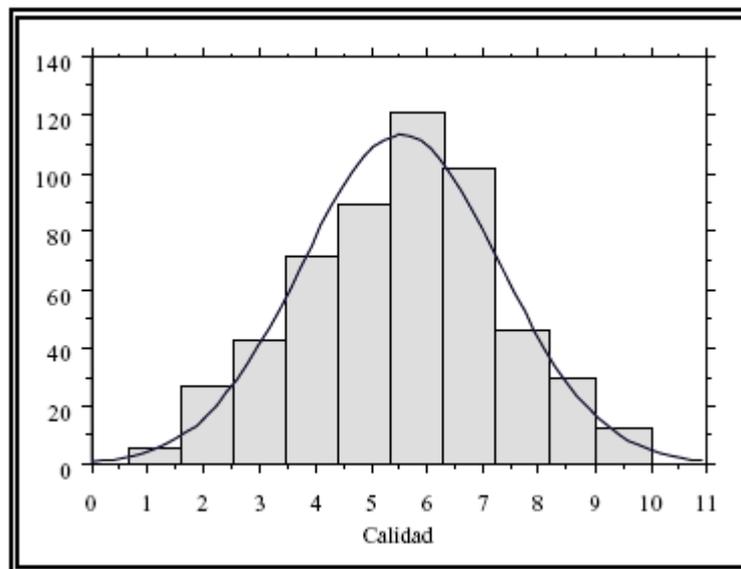


Ilustración 55: Histograma

3.3.3 Diagrama de Pareto

“El 80% de los problemas se pueden solucionar, si se eliminan el 20% de las causas que los originan” (Pareto,V). (De Domingo,2005).

El diagrama de Pareto o llamado también análisis ABC, es una herramienta que permite ordenar los datos en un histograma de frecuencias (gráfico de barras rectangulares) en orden descendente de izquierda a derecha en donde se muestra la frecuencia con la que se comportan estos datos. Además, se incorpora una curva de frecuencias acumuladas que refleja la influencia de cada factor respecto del total.



Su origen se encuentra en un estudio que realizó Pareto sobre la distribución de la riqueza en Europa, concluyendo que el número de personas ricas era mucho menor al de personas pobres, de esta manera se visualizaba la influencia de la minoría vital.

También es conocido como la regla 80-20 (%), de manera que se clasifican los problemas según su importancia y se da mayor prioridad a los que han de resolverse con mayor rapidez. El 80% representa los problemas de menor gravedad y el 20% los que realmente son importantes, también se conoce como “*pocos vitales, muchos triviales*”, es decir, que hay muchos problemas sin importancia y pocos que sean realmente importantes (Pareto,V). (De Domingo, 2005).

En la gráfica los “poco vitales” se sitúan a la izquierda mientras que los “muchos triviales” se sitúan a la derecha.

En resumen, lo que permite esta herramienta es establecer un orden a la hora de la toma de decisiones.

Su empleo sirve para:

- ✓ Tratar y eliminar los problemas que más preocupan a las empresas
- ✓ Detectar la causa raíz de un problema y estudiarlo en profundidad para evitar su reaparición.
- ✓ Decidir los elementos que han de mejorar
- ✓ Analizar los datos relativos a las máquinas, productos, departamentos etc.
- ✓ Medir y cuantificar el impacto de las acciones de mejora en comparación a anteriores resultados

Aplicación:

1º Identificar los problemas que se van a tratar

2º Determinar los factores de estudio

3º Recogida de datos

4º Completar una hoja de recogida de datos ordenándolos de mayor a menor, calculando los valores acumulados y el porcentaje sobre el total.



5º Realizar el diagrama,

- Dibujar el eje vertical izquierdo, vertical derecho y horizontal.
- Construir el gráfico de barras
- Trazar el gráfico lineal

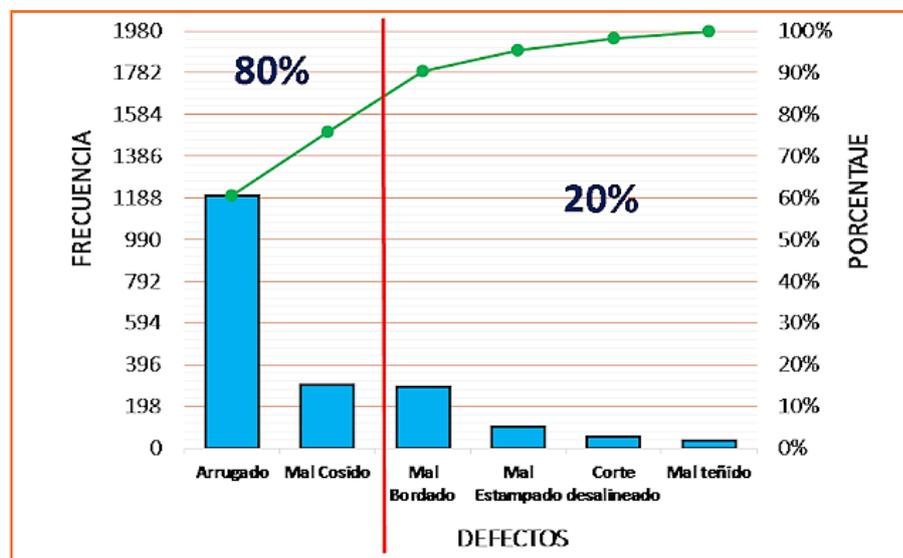


Ilustración 56: Diagrama de Pareto

En la Ilustración 56 el eje vertical izquierdo representa la frecuencia o el coste del factor, el eje vertical derecho el porcentaje acumulado del factor, mediante barras verticales se representa la magnitud de cada factor, mediante una línea se unen los valores de los distintos factores y mediante una línea vertical se diferencia que factores quedan a la izquierda como “poco vitales” y a la derecha los “muchos triviales”.

3.3.4 Diagrama causa-efecto

El *diagrama de causa-efecto*, también es conocido como *diagrama de espinas de pescado*, por la forma que tiene o *diagrama de Ishikawa*, ya que este fue su autor como se ha explicado anteriormente.

Se trata de representar la relación entre un efecto y sus posibles causas, identificar todas las posibles causas de un problema de manera estructurada y visual por grupos según su categoría



o factores influyentes, así se identifica el origen del problema y se puede proponer una posible solución.

Gracias a esta manera de estructuración del problema se permite una mejor comprensión de este, ayuda a un mejor análisis y a que todas las personas entiendan el problema de la misma manera, a su vez también se aprende a identificar las ideas más relevantes.

Por otro lado, el objetivo es acumular el mayor número de ideas y soluciones, favoreciendo al pensamiento creativo del personal, se recomienda hacer este trabajo en grupo para obtener un mayor número de soluciones y diferentes perspectivas.

Esta herramienta se complementa muy bien con el diagrama de Pareto, para priorizar las medidas de acción más relevantes y según sus prioridades y para cuantificar los efectos.

A la hora de representarlo gráficamente, se dibuja una espina de pescado, se parte de una flecha horizontal hacia la derecha, formado por las siguientes partes:

- Una columna vertebral o espina central: de donde saldrán las espinas
- Cabeza: donde se ubica el problema de calidad que se quiere tratar y solucionar
- Espinas: donde se encuentran las posibles causas o factores influyentes
- Espinas menores: donde se determinan las causas menores, las subcausas.

Los factores que influyen a la hora de determinar las causas normalmente son 6, conocido como las 6 M's:

1. Man (Hombre): hace referencia a la mano de obra presente en un proceso productivo, se comprueba la capacidad de las personas y si tienen conciencia de la calidad a cumplir, sentido de responsabilidad y pertenencia.
2. Materiales: materia prima y recursos disponibles para la producción, se comprueba si se está haciendo un buen uso de estos.
3. Medio ambiente: factores como el clima influyen en la producción, se controla aquello que es previsible y se estudia cómo hacerlo en lo que no es posible de controlar.



4. Métodos o procedimientos: analizar si alguno de los pasos de una operación no aporta valor al conjunto y es posible su eliminación.
5. Máquinas o equipos: valorar si el funcionamiento de la maquinaria es óptimo y si se están usando de la mejor manera posible.
6. Medidas: controlar los procesos de medición y calibración son los correctos.

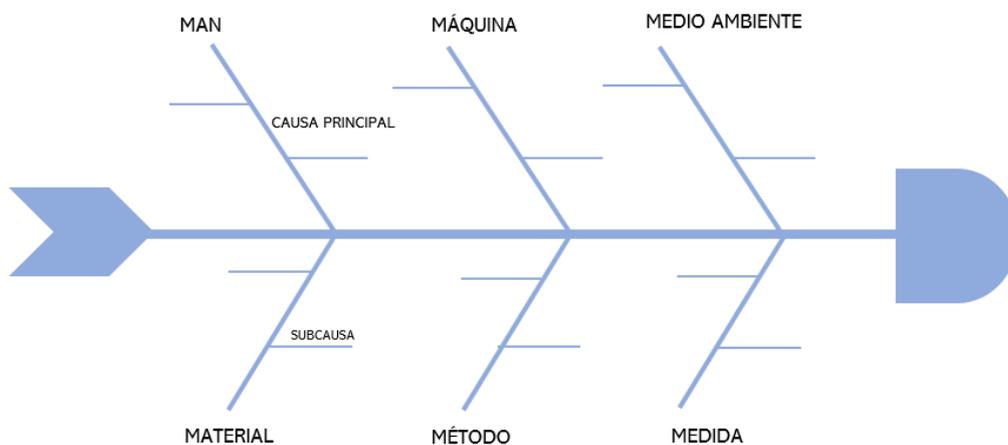


Ilustración 57: Diagrama de Ishikawa

Se recomienda realizar la búsqueda de la causa raíz del problema contestando a preguntas tales como:

- ✓ ¿Quién?
- ✓ ¿Qué?
- ✓ ¿Dónde?
- ✓ ¿Cuándo?
- ✓ ¿Cómo?
- ✓ ¿Cuánto?



3.3.5 Gráficos de control

El gráfico de control o también conocido como gráfico de Shewhart, carta de control o diagrama de comportamiento de proceso fue creado en 1920 por Walter Andrew Shewhart, de ahí su nombre. Fueron la primera técnica estadística aplicada al control de la calidad.

Consiste en una gráfica con unos datos interpretados de forma cronológica y unos límites establecidos que permiten detectar cuando se da una inestabilidad en el proceso.

Todo proceso presenta una variabilidad, y esta variabilidad en el proceso se debe a dos tipos de causas:

- Causas controlables: son factores esporádicos que desestabilizan el proceso, son de fácil e inmediata identificación. El objetivo es controlar estas causas y eliminarlas. Algunos ejemplos de estas son: falta de calidad de la materia prima, falta de formación de los operarios, errores en las máquinas...
- Causas aleatorias: son factores que afectan en poca medida en el proceso, son de difícil detección y de presencia aleatoria.

Por otra parte, existen dos tipos de gráficos de control:

1. Datos por variables: los gráficos de control por variables se emplean en aquellas ocasiones en las que los procesos que se estudian presentan valores numéricos como, por ejemplo, peso, temperatura, coste, dimensiones...
2. Datos por atributos: los gráficos de control por atributos se presentan en aquellas ocasiones en las que los datos del proceso no se pueden medir, son características cualitativas, no cuantificables numéricamente.

En este tipo de gráficos, un producto se admite o se rechaza en función del número de piezas no conformes detectadas en un lote. Los gráficos de control por atributos más comunes son aquellos que miden las unidades defectuosas respecto a la producción total, respecto a la muestra, el número de defectos detectados por muestra o por unidad.



Normalmente, los gráficos de control por variables proporcionan más información acerca del proceso, acerca de la anomalía y las variaciones producidas, y permiten establecer unas soluciones de manera más eficaz.

Los gráficos de este tipo más comunes son los que controlan el valor medio y la variabilidad a través de la media y la desviación típica.

Un proceso, cuanto menos variabilidad presente, más estable será y producirá productos con mayor calidad de forma más eficiente y eficaz.

A la hora de representar la información en el gráfico, se establece una línea central que representa el objetivo del proceso y unos límites de control, tanto superiores como inferiores. En el momento en el que se sobrepasan estos límites se está fuera de control. Se diferencian tres tipos de límites:

1. Límite superior de control: es el máximo valor que se acepta en el proceso, también se conoce con las siglas LSC.
2. Límite inferior de control: es el mínimo valor aceptado en el proceso, LIC
3. Límite central de control: se representa a través de una línea central en el gráfico, es el punto más estable del proceso, cuanto más cerca estén los puntos a esta línea más estable es el proceso, LCC.



Ilustración 58: Gráfico de control. Fuente: López Lemos, 2016



Estos límites de control se establecen tomando como referencia la distribución de Gauss o distribución normal. En este modelo, los datos se agrupan alrededor de la media. El valor de la media suele establecerse como el límite central del proceso.

Los gráficos de control se usan para estudiar la estabilidad en un proceso, para controlar cuando se debe ajustar el proceso y cuando hay que dejarlo como está, de esta manera se asegura que un proceso funciona correctamente. Permite hacer un seguimiento del proceso y observar si ha mejorado o empeorado con el tiempo. Es una herramienta que sirve para la detección de problemas.

A parte de realizar un análisis y controlarlo, hay que mejorarlo. Con el gráfico de control se identifica donde se ha generado el error y que posibles soluciones se pueden plantear.

Se considera que un proceso se encuentra fuera de control en los siguientes casos:

- ✓ Se detecta un valor fuera de los límites del 95%
- ✓ Se detectan tres valores consecutivos fuera de los límites del 75%
- ✓ Se detectan en cuatro o más valores consecutivos tendencias crecientes o decrecientes.
- ✓ Se detectan más de seis valores seguidos por encima o por debajo de la media
- ✓ Se detecta que los valores siguen una tendencia y no se reparten de manera aleatoria

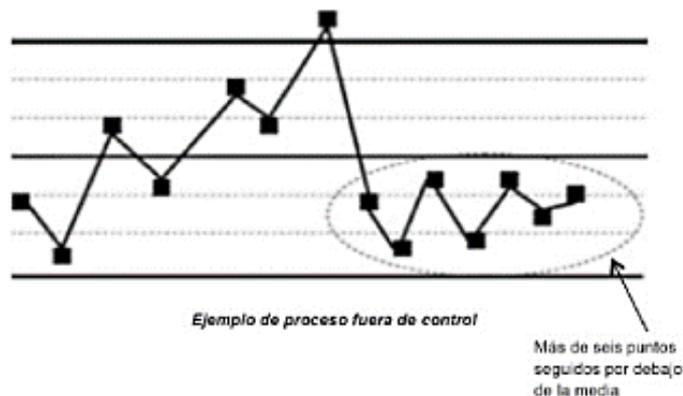


Ilustración 59: Proceso fuera de control. Fuente: López Lemos, P (2016)



3.3.6 Diagrama de dispersión

El diagrama de dispersión o también conocido como diagrama de correlación, es un tipo de herramienta que permite analizar si dos variables muestran dependencia entre sí, permiten identificar la relación, pero no las causas ni el carácter de las variables. Una vez que se conoce la dependencia, se puede predecir el comportamiento. Permite estudiar los problemas o causas relacionadas con la calidad, o un problema de calidad y su posible causa.

Los datos se muestran en el gráfico como un conjunto de puntos, cada uno con el valor de una variable que determina la posición en el eje horizontal (x) y el valor de la otra variable determinado por la posición en el eje vertical (y).

Generalmente se emplea para:

- ✓ Probar la existencia de la relación y la intensidad que se da entre las variables
- ✓ Verificar la existencia de la relación
- ✓ Conocer los valores de una variable difícil de medir a través de la relación que tenga con otra variable.

Para probar cuan independientes son las variables entre si se estudia la correlación, esta puede ser de tres tipos:

- Correlación positiva: se da cuando hay una relación proporcional entre las variables, es decir, aumentan o disminuyen a la vez.
- Correlación negativa: se produce cuando el comportamiento de las variables es distinto, por ejemplo, cuando una aumenta y la otra disminuye.
- Correlación nula: no existe ningún comportamiento entre las variables

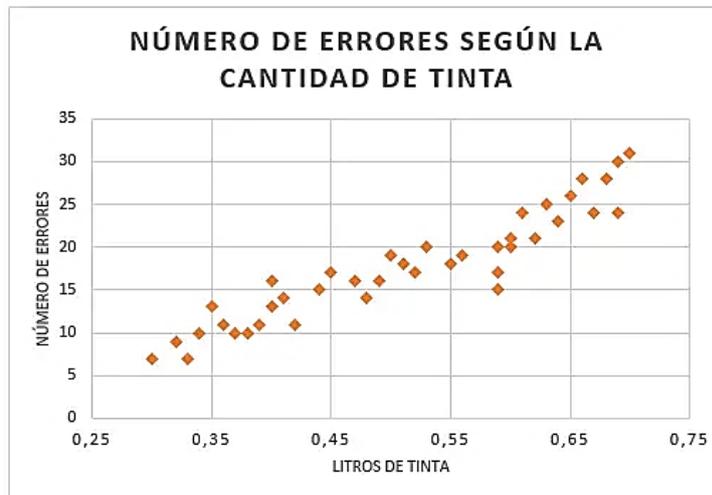


Ilustración 60: Diagrama de dispersión

3.3.7 Estratificación

La estratificación o muestreo estratificado es una herramienta que consiste en dividir los datos disponibles con características similares en distintos grupos o categorías. El objetivo es eliminar la heterogeneidad de los datos.

La palabra estrato significa categoría, clase o tipo, por lo tanto, los datos estarán agrupados por características comunes en materia de calidad. La estratificación también se conoce como segmentación de datos.

Se representa a través de gráficos lineales o histogramas, aunque este último es la forma más común de representarlo. Se utiliza para conocer que tipos de datos mejor contribuyen a resolver un problema, o bien detectar los problemas o encontrar oportunidades de mejora.

Aplicación:

- ✓ Analizar las conclusiones del estudio de un conjunto de datos, esto servirá para la posterior aplicación de otras herramientas de resolución de problemas como puede ser histogramas, diagramas de dispersión, diagramas de barras, lineales, de sectores, histogramas o el diagrama de Pareto.
- ✓ También se puede aplicar a la hora de estudiar la relación entre dos variables empleando el diagrama de correlación.



- ✓ Comprobar si los datos existentes se pueden agrupar según una categoría.
- ✓ Si el paso anterior ha sido posible, se procede a realizar los subgrupos de datos y se emplea una de las herramientas que hemos mencionado anteriormente.
- ✓ Una vez se ha empleado la herramienta seleccionada se estudian las conclusiones y de nuevo se realiza el estudio con otro subgrupo de datos.

Algunos ejemplos de estratos más comunes a la hora de clasificar son:

- Turnos
- Personal
- Proveedores
- Días de la semana
- Unidades organizativas
- Máquinas
- Líneas

El estudio será más completo cuando mayor sea el número de subgrupos en la estratificación.





4. CONTROL DE CALIDAD DEL SOLECTRÓN

Una vez introducida la Calidad Total, sus herramientas y el funcionamiento de la Escuela Lean, en este capítulo se va a analizar los defectos que se pueden detectar en un solectrón tras su producción, bien en el muro de calidad presente en la primera producción, o bien una vez que el cliente final lo reciba tras la segunda y tercera producción.

El hecho de que un solectrón llegue defectuoso al cliente tendrá un impacto más negativo que si se detecta en el muro de calidad, los costes serán mayores, ya que si se detecta en el muro de calidad el defecto se puede reparar antes de su envío al cliente y por lo tanto los costes y la penalización que reciba la empresa será menor.

Tras este análisis, la herramienta de calidad que se ha decidido implantar para la resolución de este problema ha sido la hoja de recogida de datos.

Se ha creado una ficha de control con los defectos detectados para que los alumnos de las próximas formaciones de la Escuela Lean puedan tratarlos y resulte más sencillo clasificar estos defectos encontrados. Esto ayudará a que su detección sea más rápida, que exista el menor número posible de no conformidades y se puedan registrar los datos de las producciones.

Para ello se ha analizado los defectos que surgieron en las distintas producciones y, además, tras haber estudiado la pieza, se han hallado algunos más que podrían darse.

Cada posible error se ha cotado con un nivel según la gravedad que supone:

- Gravedad A: se considera un error grave, afecta al correcto funcionamiento del producto y a su estética.
- Gravedad B: se considera un error moderado, no impide en gran medida el correcto funcionamiento del producto y a su efecto estético.
- Gravedad C: se considera un error leve, apenas se aprecia el error estéticamente y no afecta a su funcionalidad.

Esta ficha de control se ha creado a través de la herramienta Excel. Este documento Excel se encuentra dividido en cinco hojas las cuales se explicarán detalladamente más adelante en el punto 4.2 y son las que emplearán los alumnos.



4.1 POSIBLES DEFECTOS

A continuación, se va a explicar en profundidad los defectos que se han detectado y aquellos que se ha pensado que podrían surgir, son los siguientes:

4.1.1 Apriete de tornillos -E1 y apriete de tornillos prisioneros - E2

En primer lugar, uno de los defectos más comunes que surgen en la simulación de las producciones es normalmente la falta o el exceso de apriete de los tornillos que unen las capas del solectrón (Ilustración 61).



Ilustración 61:Falta apriete de tornillo

Estos pueden encontrarse sueltos debido a una falta de apriete o, por el contrario, encontrarse demasiado apretados, lo cual posteriormente dificulta el encaje de los sectores. Este defecto es el que más pérdida de tiempo ocasiona en la primera producción en el puesto de calidad, ya que si los tornillos se encuentran poco apretados en la primera capa se puede arreglar rápidamente, pero si esto ocurre en el resto de las capas supone tener que desmontar toda la pieza para apretar el tornillo, de ahí esta gran pérdida de tiempo. Es por esta razón por la que en la segunda producción se decide implantar el autocontrol en los puestos de trabajo.



- ✓ Método de control: la primera manera en la que se detecta es visualmente si el tornillo se encuentra en la primera capa, después se comprueba agitando el solectrón, si este suena, lo más probable es que algún tornillo del resto de las capas no se encuentre lo suficientemente apretado.

En el caso del puesto de calidad o muro de calidad de la primera producción, si el operario detecta que algún tornillo se encuentra suelto o demasiado apretado realizará estas comprobaciones y en el caso de que detecte una anomalía re trabajará el producto apretando o aflojando con un destornillador de tal manera que el solectrón podrá volverse a incorporar en la producción.

A este defecto se le ha cotado una gravedad de nivel B ya que no afecta en gran medida al producto de manera estética y parcialmente a su funcionamiento.

Por otra parte, los tornillos prisioneros son los encargados de dar sujeción a los insertos en el interior de los sectores. Estos tornillos nunca han de soltarse del todo, han de quedarse introducidos un mínimo, ya que posteriormente facilita el apriete del prisionero debido a que son de tamaño pequeño e introducirlos del todo resulta complicado.

Uno de los fallos que pueden detectarse es, al igual que los tornillos, la falta o el exceso de apriete. En el caso de que falte un par de apriete los insertos se encontrarán sueltos, y en el caso de que haya un par de más, su desatornillado será difícil e incluso puede llegar a trasroscarse, lo que ocasionaría una pérdida de tiempo.

En las simulaciones, un fallo recurrente que suelen detectar los alumnos es que el inserto hexagonal no encaja correctamente, esto da lugar a pérdidas de tiempo. En el resto de insertos es frecuente que estén mal apretados.

- Método de control: al igual que en los tornillos, el apriete de los prisioneros se comprobará agitando el solectrón, de esta manera se percibirá si los insertos están lo suficientemente apretados o no. En este caso, el control visual resulta más complicado que en los tornillos debido a que su tamaño es menor.



A este defecto se le ha cotado un nivel de gravedad B por la misma razón que en el anterior fallo (apriete de tornillos -E1).

4.1.2 Presencia de tornillo – E3 y presencia de tornillo prisionero – E4

Un error que se puede detectar es la falta de un tornillo de unión entre capas (Ilustración 62) o el de un prisionero porque al operario se le haya podido olvidar realizar esta operación (Ilustración 63).



Ilustración 62: Falta de tornillo



Ilustración 63: Falta de tornillo prisionero

- Método de control: la manera de detectarlo es difícil en el caso de los tornillos a excepción de si sucede en la primera capa, que de un vistazo se puede detectar. Si esto ocurre en el resto de las capas, la forma de la que se puede detectar es agitando el solectrón, si este suena, puede deberse a la falta de un tornillo. En el caso de los prisioneros, se puede detectar de manera visual más fácilmente ya que ninguno se encuentra oculto.

A este defecto se le ha cotado un nivel de gravedad A ya que tanto funcional como estéticamente afecta en gran medida al producto.

4.1.3 Tipo de tornillo corresponde – E5

Un fallo que se puede detectar, aunque es menos común, es localizar un tornillo en donde debería encontrarse un prisionero y viceversa.

A este defecto se le ha cotado un nivel de gravedad B ya que la función que realizan ambos tornillos es similar entre ellas.



4.1.4 Posición de sector según letra – E6

Uno de los errores que más tipos de variaciones puede generar es la incorrecta posición de los sectores según el orden que estos deben seguir. Los sectores han de seguir el orden alfabético A-B-C-D, esto se debe a que la forma geométrica de los sectores está diseñada específicamente para que las piezas encajen entre sí como si fueran piezas de un puzle. En el caso de que no se siga este orden establecido, las piezas probablemente encajen, pero no de forma perfecta. El hecho de que encajen aun habiéndose posicionado mal genera mayor confusión (además de que los sectores sean del mismo color), es por ello por lo que los operarios han de estar atentos en esta operación.

- Método de control: comprobar que los sectores siguen el orden especificado, es decir, A-B-C-D. Si no lo siguen, el solectrón estará incorrectamente ensamblado.

A este defecto se le ha cotado una gravedad de nivel B ya que son defectos que estéticamente pueden pasar desapercibidos, pero funcionalmente sí que afectan.

Los ejemplos que se muestran en las ilustraciones 64, 65, 66, 67 y 68 son algunos, pero puede haber alguna variedad más.



Ilustración 64: Incorrecta posición de sector



Ilustración 65: Incorrecta posición de sector



Ilustración 66: Incorrecta posición de sector



Ilustración 67: Incorrecta posición de sector

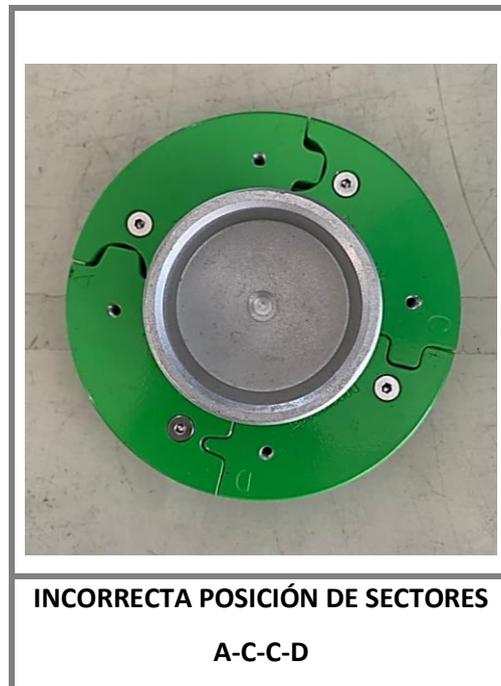


Ilustración 68: Incorrecta posición de sector

4.1.5 Orden de capa según color especificado – E7

Otro de los defectos que el cliente se puede encontrar es un solectrón distinto al que se había demandado, es decir, si el cliente había demandado un solectrón con los colores verde, amarillo, azul y rojo (en orden ascendente) y recibe uno con los colores en distinto orden, por ejemplo, amarillo, verde, rojo y azul.

La probabilidad de que ocurra este error en las tres producciones es distinta por los siguientes motivos:

- Primera producción: la probabilidad de que se dé la confusión en el color de las capas es muy poco probable que ocurra pues los solectrones se demandan siempre con la misma secuencia de colores y, además, cada puesto monta un solo color, por lo que detectar este error en el puesto sería sencillo al detectar un sector diferente al resto. El



- problema que puede ocurrir en este caso sería responsabilidad de la logística, que aprovisionara piezas incorrectas.
- Segunda producción: en este caso las probabilidades aumentan pues en un puesto se pueden montar sectores de dos colores distintos, por ejemplo, se puede montar una capa de un color y un sector de la siguiente capa con un inserto.
 - Tercera producción: es cuando es más probabilidad existe de que pueda darse este defecto por diferentes motivos:
 - En el kit se dispone de los cuatro colores distintos que conforman el solectrón, en vez de uno como en la primera producción o dos en la segunda, lo que da lugar a confusión, teniendo en cuenta el ritmo de las operaciones que es más alto.
 - En un puesto se pueden montar dos sectores de dos capas distintas, es decir, dos colores diferentes.
 - Se duplican los colores, aumenta la probabilidad de confusión, pues se trabaja con ocho colores en vez de cuatro.
 - Método de control: en las tres producciones el orden de los colores viene especificado en las tarjetas Kanban, las cuales hay que cumplir, si el solectrón que recibe el cliente es diferente a los especificado nos encontraríamos antes una no conformidad.

A este defecto se le ha cotado una gravedad de nivel A, ya que el hecho de que un cliente reciba un producto que no había pedido se penaliza como error grave.

Algunos ejemplos de este tipo de fallo pueden ser los siguientes (Ilustración 69,70 y 71):



**ORDEN INCORRECTO: PRIMERA
CAPA CON INSERTOS**

Ilustración 69: Orden de capas incorrecto



**ORDEN INCORRECTO EN TERCERA Y
CUARTA CAPA**

Ilustración 70: Orden incorrecto de capas



Ilustración 71: Orden incorrecto de capas

4.1.6 Corresponde tipo de inserto – E8

Otro de los fallos que puede ocurrir es la confusión en el posicionamiento de los insertos en su lugar correspondiente, esto se debe a que algunos insertos entran en el hueco de otros, por ejemplo, en el hueco del inserto tanto hexagonal como ovalado entra el inserto circular (Ilustración 72 y 73).

A este defecto se le ha cotado un nivel de gravedad C ya que solamente afecta estéticamente.



INSERTO CIRCULAR EN HUECO HEXAGONAL

Ilustración 72: Inserto circular en hueco hexagonal



INSERTO CIRCULAR EN HUECO OVALADO

Ilustración 73: Inserto circular en hueco ovalado



4.1.7 Presencia de inserto – E9

Otro de los defectos en relación con los insertos es la ausencia de uno de ellos (ilustración 74), al operario se le puede olvidar montar uno de ellos y si es uno de la segunda capa puede pasar desapercibido y llegar al cliente. En la cuarta y última capa este error se detectaría con mayor rapidez al ser visible.

A este defecto se le ha cotado una gravedad nivel A ya que la falta de esta pieza, sobre todo en la primera capa, estéticamente se aprecia bastante y funcionalmente también afecta ya que se considera una pieza importante.

- Método de control: se detecta de manera visual.



Ilustración 74: Falta de inserto



4.1.8 Correcto color en sector – E10

Equivocación de color de uno de los sectores de una capa, por ejemplo, en una capa de color verde, que uno de los cuatro sectores sea amarillo.

La probabilidad de que se de este fallo es diferente según las distintas producciones, al igual que ocurre en el defecto anteriormente mencionado de confusión en el orden de colores de las capas.

- Primera producción: es menos probable que ocurra ya que en cada puesto se monta exclusivamente un solo color, en este caso la equivocación podría ser responsabilidad de la logística que aprovisionara mal las piezas.
- Segunda producción: existen más probabilidades de que ocurra ya que el operario monta dos capas diferentes, es decir, dos colores diferentes y puede montar mal uno de los cuatro sectores de la primera capa o el único de la segunda capa al mezclar estos.
- Tercera capa: también es más probable que pueda ocurrir debido al aumento de colores de los sectores, ocho en vez de cuatro, y porque también se montan dos capas diferentes por lo que puede montar mal uno de los cuatro sectores.

A este defecto se le ha cotado una gravedad nivel B.

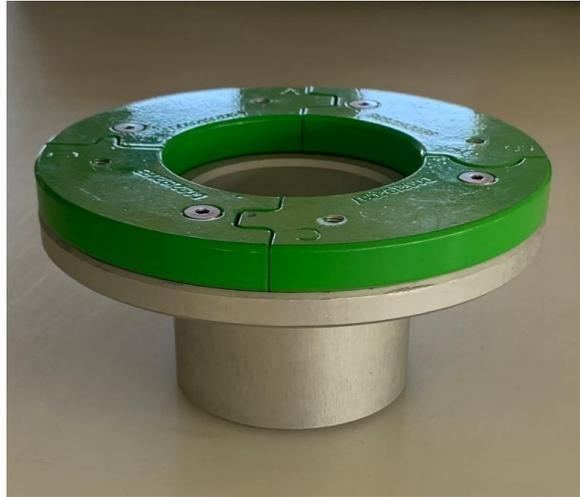
4.1.9 Base corresponde – E11

Por último, en el análisis realizado de los diferentes tipos de defectos que se pueden encontrar en el solectrón se detectó uno en relación con la base.

Hay dos opciones de montar el producto, uno es con la parte de menor diámetro hacia arriba (Ilustración 76), que es como normalmente lo demanda el cliente, o al revés, con la parte de menor diámetro como base (Ilustración 75).

El cliente lo solicita de una de las dos maneras, si se recibe de una manera contraria a lo solicitado se imputará como producto defectuoso.

A este defecto se le ha cotado un nivel de gravedad A, ya que si el cliente recibe un producto que no cumple las especificaciones que él había demandado se considera grave.



BASE NO CORRESPONDE

Ilustración 75: Base no corresponde



BASE NO CORRESPONDE

Ilustración 76: Base no corresponde



4.2 ELEMENTOS DE CONTROL

En referencia al Excel que hemos mencionado anteriormente, se encuentra estructurado de la siguiente manera;

- La primera y segunda hoja del fichero consiste en unas tablas nombradas “tipos de fallos” en las que se explica brevemente los diferentes defectos, se indica el método de control y la gravedad del defecto (Ilustraciones 77 y 78), la diferencia que existe entre ellas es que las tarjetas Kanban de las producciones 1 y 2 son distintas a las de la producción 3 debido a la incorporación de los nuevos colores al igual que ocurre en las fichas de control.
- La tercera y cuarta hoja contienen las tablas de la Ilustraciones 80 y 81, estas hojas son las fichas de control, se encuentran divididas en columnas y cada una de ellas trata un defecto. La diferencia entre ellas radica en que la primera de ellas trata los defectos que pueden surgir en la primera y segunda producción y, la segunda tabla, para los defectos de la tercera producción, esto se debe al aumento de los colores de los sectores en la tercera producción, lo que hace que la posibilidad de error aumente. En estas tablas, se ha añadido en la última columna de la tabla, una casilla donde indicar el número de defectos que han surgido en una producción según el nivel de gravedad (A, B o C) y una suma del total.
- En la última hoja se muestra un esquema del soletrón en donde se indica gráficamente la localización de los puntos de control a través de los códigos asignados (Ilustración 82).

Las fichas de control contienen los siguientes puntos:

- ✓ Códigos: a cada defecto se le ha asignado un código, se interpretarán como E1, E2, E3... (“E” de la palabra “error”) para una identificación más rápida
- ✓ Tipos de defectos
- ✓ Método de control: se indica el método de control empleado para cada defecto



- ✓ Puesto de trabajo: ayudará a saber en qué puesto se ha creado el error, por ejemplo, si en la primera producción en la capa amarilla falta el sector rectangular, se sabrá que ha sido responsabilidad del operario del puesto 2.
- ✓ Gravedad del defecto: se asignará la letra A, B o C en función del siguiente criterio:
 - Letra A: error grave
 - Letra B: error moderado
 - Letra C: error leve
- ✓ Nº de producción: se asigna una fila de casillas para cada producción



Código	Gravedad	Puntos de control	Método de Control	Especificación	Fallos
A	B	Apriete tornillos	Control visual y auditivo Par de apriete		Los sectores del solectrón pueden encontrarse sueltos o excesivamente apretados debido a una falta de apriete de los tornillos que los sujetan.
B	B	Apriete tornillos prisioneros	Control auditivo		Los insertos de los sectores pueden encontrarse sueltos o excesivamente debido a una falta de apriete de los tornillos prisioneros.
C	A	Presencia de tornillo	Control visual y auditivo		Falta de un tornillo de unión entre capas
D	A	Presencia de tornillo prisionero	Control visual y auditivo		Falta de un tornillo prisionero que sujete un inserto
E	B	Tipo de tornillo corresponde	Según especificación	En sectores: tornillos En insertos: prisioneros	Confusión entre tornillo y tornillo prisionero, posicionarlo en lugar equivocado
F	B	Posición de sector según letra	Según especificación	Orden A,B,C,D	Confusión en el orden de posición de los sectores según su letra. Ejemplo orden correcto: A,B,C,D Ejemplo orden incorrecto: A,B,C,A
G	A	Orden de capa según color especificado	Según tarjeta Kanban		Orden de capas distinto al indicado en la tarjeta Kanban
H	C	Corresponde tipo de inserto	Según especificación	H: hexagonal circular R: rectangular O: ovalado	Confusión en la colocación de insertos. Ejemplo: en vez de colocar el inserto hexagonal en su posición, colocar el inserto circular
I	A	Presencia de inserto	Control visual		Ausencia de algún inserto en un sector que lo requiere
J	B	Correcto color de sector	Según especificación	Todos los sectores han de ser del mismo color	Equivocación de color de un sector en una capa. Ejemplo: en una capa de color verde colocar un sector amarillo
K	A	Base corresponde	Según especificación		Usar la base en la posición contraria a la indicada, si la parte de menor diámetro debía estar hacia arriba, usar la que esta hacia abajo o viceversa

Ilustración 77: Tipos de fallos P1 y 2



Código	Gravedad	Puntos de control	Método de Control	Especificación	Fallos
A	B	Apriete tornillos	Control visual y auditivo Par de apriete		Los sectores del solectrón pueden encontrarse sueltos o excesivamente apretados debido a una falta de apriete de los tornillos que los sujetan.
B	B	Apriete tornillos prisioneros	Control auditivo		Los insertos de los sectores pueden encontrarse sueltos o excesivamente debido a una falta de apriete de los tornillos prisioneros.
C	A	Presencia de tornillo	Control visual y auditivo		Falta de un tornillo de unión entre capas
D	A	Presencia de tornillo prisionero	Control visual y auditivo		Falta de un tornillo prisionero que sujete un inserto
E	B	Tipo de tornillo corresponde	Según especificación	En sectores: tornillos En insertos: prisioneros	Confusión entre tornillo y tornillo prisionero, posicionarlo en lugar equivocado
F	B	Posición de sector según letra	Según especificación	Orden A,B,C,D	Confusión en el orden de posición de los sectores según su letra. Ejemplo orden correcto: A,B,C,D Ejemplo orden incorrecto: A,B,C,A
G	A	Orden de capa según color especificado	Según tarjeta Kanban		Orden de capas distinto al indicado en la tarjeta Kanban
H	C	Corresponde tipo de inserto	Según especificación	H: hexagonal C: circular R: rectangular O: ovalado	Confusión en la colocación de insertos. Ejemplo: en vez de colocar el inserto hexagonal en su posición, colocar el inserto circular
I	A	Presencia de inserto	Control visual		Ausencia de algún inserto en un sector que lo requiere
J	B	Correcto color de sector	Según especificación	Todos los sectores han de ser del mismo color	Equivocación de color de un sector en una capa. Ejemplo: en una capa de color verde colocar un sector amarillo
K	A	Base corresponde	Según especificación		Usar la base en la posición contraria a la indicada, si la parte de menor diámetro debía estar hacia arriba, usar la que esta hacia abajo o viceversa

Ilustración 78: Tipos de fallos P3



FICHA DE CONTROL DE CALIDAD
PRODUCCIONES 1 Y 2
DEFECTOS DETECTADOS EN MÓDULO DE CALIDAD Y EN CLIENTE

Código	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32	E33	E34	E35	E36	E37	E38	E39	E40	E41	E42	E43	E44	E45	E46	E47	E48	E49	E50	E51	E52	E53	E54	E55	E56	E57	E58	E59	E60	E61	E62	E63	E64	E65	E66	E67	E68	E69	E70	E71	E72	E73	E74	E75	E76	E77	E78	E79	E80	E81	E82	E83	E84	E85	E86	E87	E88	E89	E90	E91	E92	E93	E94	E95	E96	E97	E98	E99	E100	E101	E102	E103	E104	E105	E106	E107	E108	E109	E110	E111	E112	E113	E114	E115	E116	E117	E118	E119	E120	E121	E122	E123	E124	E125	E126	E127	E128	E129	E130	E131	E132	E133	E134	E135	E136	E137	E138	E139	E140	E141	E142	E143	E144	E145	E146	E147	E148	E149	E150	E151	E152	E153	E154	E155	E156	E157	E158	E159	E160	E161	E162	E163	E164	E165	E166	E167	E168	E169	E170	E171	E172	E173	E174	E175	E176	E177	E178	E179	E180	E181	E182	E183	E184	E185	E186	E187	E188	E189	E190	E191	E192	E193	E194	E195	E196	E197	E198	E199	E200	E201	E202	E203	E204	E205	E206	E207	E208	E209	E210	E211	E212	E213	E214	E215	E216	E217	E218	E219	E220	E221	E222	E223	E224	E225	E226	E227	E228	E229	E230	E231	E232	E233	E234	E235	E236	E237	E238	E239	E240	E241	E242	E243	E244	E245	E246	E247	E248	E249	E250	E251	E252	E253	E254	E255	E256	E257	E258	E259	E260	E261	E262	E263	E264	E265	E266	E267	E268	E269	E270	E271	E272	E273	E274	E275	E276	E277	E278	E279	E280	E281	E282	E283	E284	E285	E286	E287	E288	E289	E290	E291	E292	E293	E294	E295	E296	E297	E298	E299	E300	E301	E302	E303	E304	E305	E306	E307	E308	E309	E310	E311	E312	E313	E314	E315	E316	E317	E318	E319	E320	E321	E322	E323	E324	E325	E326	E327	E328	E329	E330	E331	E332	E333	E334	E335	E336	E337	E338	E339	E340	E341	E342	E343	E344	E345	E346	E347	E348	E349	E350	E351	E352	E353	E354	E355	E356	E357	E358	E359	E360	E361	E362	E363	E364	E365	E366	E367	E368	E369	E370	E371	E372	E373	E374	E375	E376	E377	E378	E379	E380	E381	E382	E383	E384	E385	E386	E387	E388	E389	E390	E391	E392	E393	E394	E395	E396	E397	E398	E399	E400	E401	E402	E403	E404	E405	E406	E407	E408	E409	E410	E411	E412	E413	E414	E415	E416	E417	E418	E419	E420	E421	E422	E423	E424	E425	E426	E427	E428	E429	E430	E431	E432	E433	E434	E435	E436	E437	E438	E439	E440	E441	E442	E443	E444	E445	E446	E447	E448	E449	E450	E451	E452	E453	E454	E455	E456	E457	E458	E459	E460	E461	E462	E463	E464	E465	E466	E467	E468	E469	E470	E471	E472	E473	E474	E475	E476	E477	E478	E479	E480	E481	E482	E483	E484	E485	E486	E487	E488	E489	E490	E491	E492	E493	E494	E495	E496	E497	E498	E499	E500	E501	E502	E503	E504	E505	E506	E507	E508	E509	E510	E511	E512	E513	E514	E515	E516	E517	E518	E519	E520	E521	E522	E523	E524	E525	E526	E527	E528	E529	E530	E531	E532	E533	E534	E535	E536	E537	E538	E539	E540	E541	E542	E543	E544	E545	E546	E547	E548	E549	E550	E551	E552	E553	E554	E555	E556	E557	E558	E559	E560	E561	E562	E563	E564	E565	E566	E567	E568	E569	E570	E571	E572	E573	E574	E575	E576	E577	E578	E579	E580	E581	E582	E583	E584	E585	E586	E587	E588	E589	E590	E591	E592	E593	E594	E595	E596	E597	E598	E599	E600	E601	E602	E603	E604	E605	E606	E607	E608	E609	E610	E611	E612	E613	E614	E615	E616	E617	E618	E619	E620	E621	E622	E623	E624	E625	E626	E627	E628	E629	E630	E631	E632	E633	E634	E635	E636	E637	E638	E639	E640	E641	E642	E643	E644	E645	E646	E647	E648	E649	E650	E651	E652	E653	E654	E655	E656	E657	E658	E659	E660	E661	E662	E663	E664	E665	E666	E667	E668	E669	E670	E671	E672	E673	E674	E675	E676	E677	E678	E679	E680	E681	E682	E683	E684	E685	E686	E687	E688	E689	E690	E691	E692	E693	E694	E695	E696	E697	E698	E699	E700	E701	E702	E703	E704	E705	E706	E707	E708	E709	E710	E711	E712	E713	E714	E715	E716	E717	E718	E719	E720	E721	E722	E723	E724	E725	E726	E727	E728	E729	E730	E731	E732	E733	E734	E735	E736	E737	E738	E739	E740	E741	E742	E743	E744	E745	E746	E747	E748	E749	E750	E751	E752	E753	E754	E755	E756	E757	E758	E759	E760	E761	E762	E763	E764	E765	E766	E767	E768	E769	E770	E771	E772	E773	E774	E775	E776	E777	E778	E779	E780	E781	E782	E783	E784	E785	E786	E787	E788	E789	E790	E791	E792	E793	E794	E795	E796	E797	E798	E799	E800	E801	E802	E803	E804	E805	E806	E807	E808	E809	E810	E811	E812	E813	E814	E815	E816	E817	E818	E819	E820	E821	E822	E823	E824	E825	E826	E827	E828	E829	E830	E831	E832	E833	E834	E835	E836	E837	E838	E839	E840	E841	E842	E843	E844	E845	E846	E847	E848	E849	E850	E851	E852	E853	E854	E855	E856	E857	E858	E859	E860	E861	E862	E863	E864	E865	E866	E867	E868	E869	E870	E871	E872	E873	E874	E875	E876	E877	E878	E879	E880	E881	E882	E883	E884	E885	E886	E887	E888	E889	E890	E891	E892	E893	E894	E895	E896	E897	E898	E899	E900	E901	E902	E903	E904	E905	E906	E907	E908	E909	E910	E911	E912	E913	E914	E915	E916	E917	E918	E919	E920	E921	E922	E923	E924	E925	E926	E927	E928	E929	E930	E931	E932	E933	E934	E935	E936	E9
--------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	----

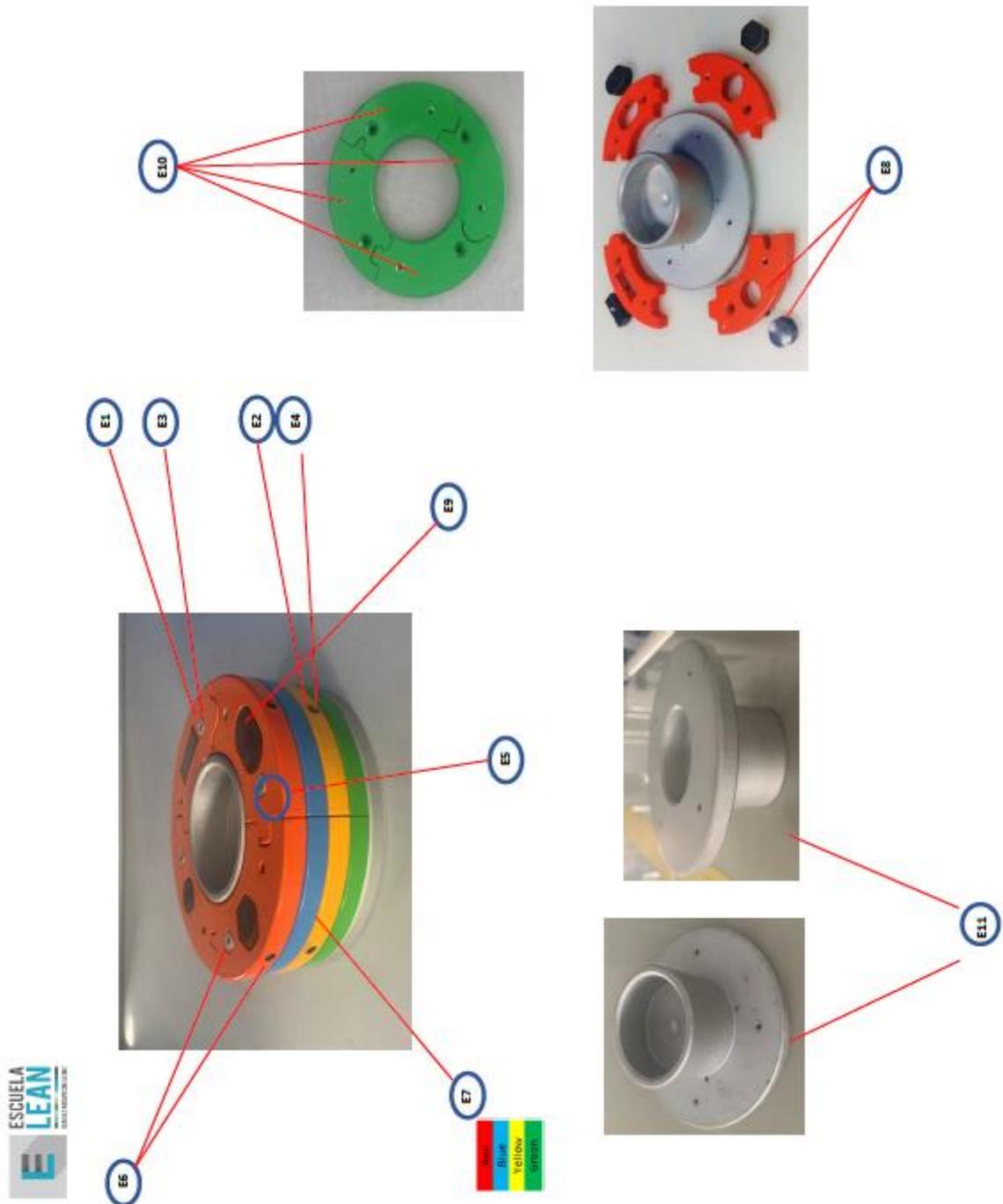


Ilustración 81: Códigos





5 ESTUDIO ECONÓMICO

5.1 Introducción

El presente proyecto trata acerca de la creación de una ficha para el Control de Calidad del solectrón, producto con el que se trabaja en la Escuela Lean. En el caso del coche esta herramienta ya existe y ha servido de apoyo para la creación de esta nueva.

El objetivo principal es facilitar a los alumnos de las próximas formaciones una ficha en la que puedan registrar los defectos que surgen en el solectrón en las distintas producciones y hacer un seguimiento de ellos.

El material necesario para el desarrollo del proyecto es, por una parte, de tipo informático, ya que lo que se pretende es la creación de esta hoja de recogida de datos que será creada a través de Excel y, por otra parte, material bibliográfico.

En la gestión de este proyecto se ha puesto especial interés en la gestión de la Calidad Total, así como en el desarrollo de sus herramientas principales para la posible puesta en práctica de una de ellas en el presente proyecto.

En este apartado se expondrán los puntos fundamentales de la gestión del proyecto, con una breve exposición del personal involucrado en el desarrollo del estudio.

5.2 Jerarquía del proyecto

Para la realización de este proyecto ha sido necesaria la participación de tres personas:

- Director del proyecto: responsable de calidad
- Técnico de calidad
- Auxiliar administrativo

La persona encargada de dirigir y organizar el proyecto será un responsable de calidad, su función será la de desarrollar la idea del proyecto, así como su planificación y el presupuesto económico. Por otra parte, será el encargado de la gestión de las personas implicadas en el proyecto, concretará las tareas de cada uno de ellos, y los acompañará en todas las etapas del



proyecto. Será necesaria su aprobación en cada una de las fases en las que se distribuye el proyecto, así como su aprobación final para la puesta en práctica de dicha ficha.

Por otra parte, el trabajo del técnico de calidad será, analizará y definir los diferentes defectos que se encuentran en un solectrón una vez que este está completamente ensamblado, así como definir las especificaciones concretas que se deberán seguir.

Todo ello se hará bajo las directrices del director del proyecto, se pondrá en común las ideas de ambos y se debatirá que es lo mejor para la consecución del objetivo final. A su vez, será el encargado del mantenimiento posterior de la ficha de control, así como la adaptación de futuras modificaciones y mejoras que puedan surgir a lo largo de las distintas producciones.

Además, existe la figura del auxiliar administrativo. Esta persona es la encargada de reunir toda la información acerca del proyecto y redactar una memoria en la que plasmar todo el desarrollo del proyecto, así como la realización de la ficha del control de calidad, es muy importante que este trabajo sea realizado de manera muy minuciosa puesto que el objetivo es que sea empleada por los alumnos de la Escuela Lean y sea lo más intuitiva, clara y concreta posible.

5.3 Fases del desarrollo del proyecto

El presente proyecto ha seguido las siguientes fases:

- **Fase 1: Necesidad y decisión de elaboración del proyecto**

En esta etapa se lleva a cabo un análisis general de las necesidades que existen en la Escuela Lean en relación con materia de calidad. Se llega a la conclusión de que, en el caso del coche existe una ficha para el seguimiento de los defectos, pero que, en el caso del solectrón esta herramienta no existe por el momento. Es por ello por lo que se decide la realización de esta herramienta como propósito de este proyecto.

- **Fase 2: Planificación del proyecto**

En esta fase se decide las necesidades que se deben cubrir para la elaboración del proyecto, se estructura el orden que se va a seguir y se especifica las tareas que realizarán los participantes del proyecto.



- **Fase 3: Recopilación de información**

Antes de comenzar el desarrollo, será necesario comprender el funcionamiento de la Escuela, en qué consiste la producción del solectrón y las partes que conforman la pieza. Esta información es fundamental para la detección de los posibles defectos y comprender el motivo de su aparición. Por otra parte, se recopila bibliografía relacionada con el Lean Manufacturing, con la Calidad Total y con las siete herramientas básicas de la calidad, información necesaria como base teórica del proyecto.

- **Fase 4: Ejecución del proyecto**

Esta fase es la más extensa de todas, en ella el auxiliar administrativo elabora la memoria a partir de toda la información recopilada por el director del proyecto y el responsable de organización, y, por otra parte, se procede a la elaboración de la ficha de control y los diferentes documentos que la complementan, así como el presente estudio económico, bibliografía e introducción al trabajo.

- **Fase 5: Seguimiento**

Una vez que el proyecto ya está implantado y en uso, es necesario realizar un análisis de seguimiento para comprobar el correcto funcionamiento de la ficha de control y si fuera necesario, realizar modificaciones en función de si han sido detectadas otras anomalías o mejorar aquellas que ya habían sido detectadas.

5.4 Estudio económico

En este apartado se va a desarrollar el estudio económico del proyecto propiamente dicho, en él se van a analizar los costes de cada fase y de todas las actividades que lo conforman de manera detallada, así como la influencia de cada una de ellas en relación con el coste total del proyecto. Para ello, se va a analizar los siguientes costes:

1. Cálculo de las horas efectivas anuales y de las tasas por hora de los salarios.
2. Cálculo de las amortizaciones del equipo.



3. Coste por hora y por persona de los materiales calificados como consumibles.
4. Coste por hora y por persona de los costes indirectos.
5. Horas de personal dedicadas a cada una de las etapas.

5.4.1 Horas efectivas anuales

Para conocer el número total de horas efectivas por año es necesario conocer primeramente total de días no trabajados anualmente, se calcula de la siguiente manera:

Concepto	Días / horas
Año medio: (365,25)	365,25
Sábados y domingos: (365 * 2/7)	-104,36
Días efectivos de vacaciones:	-22
Días festivos reconocidos:	-12
Media de días perdidos por enfermedad	-10
Cursillos de formación, etc.:	-4
Total estimado días efectivos:	213
Total horas/año efectivas (8 horas/día):	1.704

Tabla 1: Horas efectivas anuales

Si se quiere transformar a semanas los datos mostrados en la Tabla 1, sería de la siguiente manera que se refleja en la Tabla 2:

Concepto	Días / horas
Año medio (semanas):	52
Vacaciones y festivos:	-5
Enfermedad:	-1
Cursos de formación:	-1
Total semanas:	45

Tabla 2: Semanas efectivas anuales

5.4.2 Salarios

En la siguiente tabla, Tabla 3, se muestra los salarios de los trabajadores del proyecto, así como la parte correspondiente a la Seguridad Social:



Concepto	Director del proyecto	Técnico de calidad	Auxiliar Administrativo
Sueldo	23.139 €	18.632 €	11.119 €
Seguridad Social (35%)	8.099 €	6.521 €	3.892 €
Total:	31.238 €	25.153 €	15.011 €
Coste horario:	18,59 €	14,97 €	8,94 €
Coste Semanal:	709,95 €	571,66 €	341,16 €

Tabla 3: Salarios del personal

5.4.3 Amortizaciones

En este apartado se va a calcular el coste de la amortización del equipo informático que se ha usado para el desarrollo del proyecto, se ha considerado un periodo de amortización de 5 y 10 años, con cuota lineal.

El equipo se va a dividir según dos usos, en primer lugar, el coste que supone como “equipo de desarrollo”, es decir, el uso que se le ha dado al equipo para realizar la recopilación de la información necesaria y la creación de la memoria y la ficha de control.

Por otra parte, el equipo que se ha empleado para la edición de la memoria y la ficha de control.

Dichos costes quedan reflejados en las tablas que se presentan a continuación, las Tablas 4 y 5.

Concepto	Coste total	Periodo de amortización	Amortización/año	
Portatil Lenovo IdeaPad3 15.6" FullHD Intel Core i3-1115G4, 8GB RAM, 256GB SSD	700 €	5 años	140 €	
Software de desarrollo	Microsoft Windows 10	145 €	5 años	29 €
	Microsoft Word 10 Estudiantes	50 €	5 años	10 €
	Microsoft Excel 10 Estudiantes	50 €	5 años	10 €
	Microsoft PowerPoint 10 Estudiantes	50 €	5 años	10 €
Total a amortizar/año:	199 €			



Tipo	Amortización
Diaria	0,55 €
Semanal	3,83 €
Horaria	0,07 €

Tabla 4: Costes del equipo de desarrollo

Concepto	Coste	Periodo de amortización	Amortización/año	
Portatil Lenovo IdeaPad3 15.6" Full HD Intel Core i3-1115G4, 8GB RAM, 256GB SSD	700€	5	140 €	
Software de desarrollo:	Microsoft Windows 10	145 €	5	29 €
	Microsoft Word 10 Estudiantes	50 €	5	10 €
	Microsoft PowerPoint 10 Estudiantes	50 €	5 años	10 €
	Microsoft Excel 10 Estudiantes	50 €	5	10 €
	Microsoft 3d Builder	0 €	5	0 €
Microsoft Wireless Mobile Mouse 1850 Rojo	14 €	10	1 €	
HP LaserJet MFP M234sdw 6GX01F, Impresora Láser	310 €	10	31 €	
Total a amortizar/año:	231 €			

Tipo	Amortización
Diaria	0,63 €
Semanal	4,44 €
Horaria	0,08 €

Tabla 5: Costes del equipo de edición



5.4.4 Coste del material consumible

En la Tabla 6 se muestra el coste que ha supuesto por persona y por horas de trabajo el consumo de los siguientes materiales consumibles:

Concepto	Coste
Folios A4 y A3 para impresora	30 €
Suministros para impresora (tóner)	140 €
Material de oficina	40 €
Otros:	200 €
Coste total anual:	410 €
Coste anual total por persona:	137 €
Coste horario por persona:	0,05 €

Tabla 6: Coste del material consumible

5.4.5 Costes indirectos

Se entiende por costes indirectos aquellos que no se atribuyen directamente al proyecto, es decir, que no son exclusivos del proyecto en sí, como, por ejemplo, electricidad, agua, internet, gasolina del coche con el que han realizado los desplazamientos los trabajadores etc. En la Tabla 7 se encuentran desglosados.

Concepto	Coste
Internet	212 €
Calefacción	165 €
Electricidad	240 €
Alquiler	400€
Coste anual total:	1017 €
Coste anual por persona:	339 €
Coste horario por persona:	0,20€

Tabla 7: Costes indirectos



5.4.6 Horas de personal dedicadas a cada fase del proyecto

En la siguiente tabla (Tabla 8), se desglosan las horas que cada trabajador ha dedicado al proyecto:

Personal	Etapas				
	1	2	3	4	5
Director	6	8	30	20	60
Técnico de calidad	3	4	30	90	140
Auxiliar administrativo	0	0	0	90	60
TOTAL	9	12	60	200	260

Tabla 8: Horas de personal dedicadas a cada fase del proyecto

5.5 Costes asignados a cada fase del proyecto

Estos costes se van a calcular en función a las horas que cada trabajador ha dedicado a cada fase proyecto, en relación con los cálculos realizados anteriormente como los salarios, amortizaciones, costes de material consumible y costes indirectos.

5.5.1 Costes Fase 1: decisión de elaboración del proyecto

En la Tabla 9 se pueden observar los costes asociados a la primera fase del proyecto.

Concepto	Personal	Horas	Coste horario	Coste total
Personal	Director	6	18,59 €	115,54 €
	Técnico de calidad	3	14,97 €	44,91 €
	Aux. Administrativo	0	8,94 €	0,00 €
Amortización	Equipo de desarrollo	9	0,07	0,63 €
	Equipo de edición	0	0	0,00 €
Material consumible	Varios	9	0,05	0,45 €
Costes indirectos	Varios	9	0,20€	1,80€
COSTE TOTAL:				163,33€

Tabla 9: Costes Fase 1



5.5.2 Costes Fase 2: Planificación del proyecto

En la siguiente Tabla 10 se reflejan los costes de la segunda fase del proyecto:

Concepto	Personal	Horas	Coste horario	Coste total
Personal	Director	8	18,59 €	148,72€
	Técnico de calidad	4	14,97 €	59,88 €
	Aux. Administrativo	0	8,94 €	0,00 €
Amortización	Equipo de desarrollo	12	0,07	0,84€
	Equipo de edición	0	0	0,00 €
Material consumible	Varios	12	0,05	0,60 €
Costes indirectos	Varios	12	0,20€	1,44€
COSTE TOTAL:				212,44€

Tabla 10: Costes Fase 2

5.5.3 Costes Fase 3: Recopilación de información

En la siguiente tabla, Tabla 11 los costes relacionados con la fase 3.

Concepto	Personal	Horas	Coste horario	Coste total
Personal	Director	30	18,59 €	557,70 €
	Técnico de calidad	30	14,97 €	449,10 €
	Aux. Administrativo	0	8,94 €	0,00 €
Amortización	Equipo de desarrollo	60	0,07	4,20 €
	Equipo de edición	0	0	0,00 €
Material consumible	Varios	60	0,05	3,00 €
Costes indirectos	Varios	60	0,20€	12€
COSTE TOTAL:				1026€

Tabla 11: Costes Fase 3

5.5.4 Costes Fase 4: Ejecución del proyecto

Como se puede observar, la fase 4 es la dedicada a la ejecución del proyecto, y por consiguiente a la que más horas se le ha dedicado, por ellos los costes son los más altos de todo el proyecto.



Concepto	Personal	Horas	Coste horario	Coste total
Personal	Director	20	18,59 €	371,8€
	Técnico de calidad	90	14,97 €	1347,3 €
	Aux. Administrativo	90	8,94 €	804,6 €
Amortización	Equipo de desarrollo	180	0,07 €	12,6 €
	Equipo de edición	20	0 €	0,00 €
Material consumible	Varios	200	0,05 €	10,00 €
Costes indirectos	Varios	200	0,20€	40€
COSTE TOTAL:				2586,3€

Tabla 12: Costes Fase 4

5.5.5. Costes Fase 5: Seguimiento

Los costes asignados en esta fase se muestran en la Tabla 13:

Concepto	Personal	Horas	Coste horario	Coste total
Personal	Director	60	18,59 €	1.115,40 €
	Técnico de calidad	140	14,97 €	2.095,80 €
	Aux. Administrativo	60	8,94 €	536,40 €
Amortización	Equipo de desarrollo	200	0,07	14,00 €
	Equipo de edición	60	0	0,00 €
Material consumible	Varios	260	0,05	13,00 €
Costes indirectos	Varios	260	0,20€	52€
COSTE TOTAL:				3826,6€

Tabla 13: Costes Fase 5

5.5 Costes totales

Los costes totales (Tabla 14) que han supuesto el desarrollo de este proyecto es la suma del conjunto de costes de las cinco fases que conforman el proyecto, estos costes, calculados en las tablas anteriores, tienen un peso diferente en función del tiempo al que se le ha dedicado a cada una de ellas.

Como se puede observar, la fase 4, es la que más costes ha supuesto debido a que es la dedicada a la propia ejecución del proyecto una vez definido el objetivo del proyecto, planificada la estructura y recopilada la información.

Sin embargo, la primera fase es a la que menos tiempo se dedicó ya que se acordó con facilidad, que era lo que se quería conseguir con la elaboración de este proyecto.



Actividad	Horas	Coste Total
Decisión de elaboración del proyecto	9	163,33 €
Presentación y difusión	12	212,44 €
Recopilación de información	60	1026 €
Análisis, búsqueda y selección	200	2586, 3€
Escritura, difusión e implantación de la distribución	260	3826,6 €
TOTAL		7850,67 €

Tabla 14: Costes totales





6 CONCLUSIONES

Al inicio de este trabajo se determinaron una serie de objetivos, siendo el principal el desarrollo de una ficha de control de calidad para el solectrón para registrar los defectos que se detecten en las producciones.

Por otra parte, se marcaron una serie de subobjetivos, entre ellos, conocer el concepto de la Calidad Tota y su evolución, así como identificar las siete herramientas básicas de la calidad, una serie de técnicas graficas que se emplean para la resolución de problemas relacionados con la calidad de los productos y los procesos. También se desarrollaron conceptos básicos del Lean Manufacturing cuyas técnicas son aplicadas en la Escuela Lean.

Además, se explicó el funcionamiento de la Escuela Lean para comprender posteriormente el origen de los fallos que surgen en las producciones.

Como se pretende en la Escuela Lean, he podido aplicar la filosofía de “Learn by doing”, es decir, aprender haciendo, y con total seguridad puedo afirmar que lo he conseguido.

Finalmente, se puede afirmar que estos objetivos han sido cumplidos de manera satisfactoria tras el tiempo y el esfuerzo que se ha dedicado a la realización de este proyecto.

Con relación a materia de calidad, he comprendido la importancia que tiene una buena y exigente gestión de la calidad en los procesos, cabe destacar que sin la implicación de todo el personal de las organizaciones no sería posible alcanzar el objetivo de “cero defectos” que persiguen las empresas hoy en día. La calidad ha pasado a formar parte de los objetivos estratégicos de las organizaciones y es un factor que determina la competitividad que pueden alcanzar estas.

La aplicación de herramientas de calidad es fundamental para la resolución de los problemas que se plantean en el día a día de las empresas, en el caso de las herramientas básicas, ofrecen la posibilidad de que sean empleadas por personas que no necesariamente tengan conocimientos muy amplios en este campo. Por esto mismo, se decidió emplear una de estas herramientas en la Escuela Lean, se implantó una hoja de control para la resolución del problema que planteaba con relación a la calidad del solectrón.



La introducción de esta herramienta se ha desarrollado con el propósito de mejorar el funcionamiento de las producciones de la Escuela, en especial será de gran ayuda para el operario del puesto de calidad de la primera producción y posteriormente para los operarios del resto de puestos que realizan el autocontrol en la segunda y tercera producción, pudiendo hacer un análisis de los errores más comunes y poder así tomar decisiones para ponerle solución y mejorar la productividad de las líneas.

Es una herramienta con un gran potencial, por una parte, contribuye al registro de los fallos que se producen internamente, esto ayuda a que se analice la causa raíz del problema y se busquen acciones correctivas para erradicar el problema y que no vuelva a ocurrir, ayuda a llevar un registro de los defectos, poder hacer un seguimiento de estos y analizarlos estadísticamente.

Esta tabla, es tan potente porque ha sido capaz de recoger casi todos los defectos que pueden ocurrir en cada una de las piezas que forman el solectrón desde la base, hasta los sectores, los insertos, los tornillos y los tornillos prisioneros.

Por otra parte, permite registrar los defectos que llegan al cliente, para de la misma manera, conocerlos y trabajar por evitar que vuelva a ocurrir mediante el uso de la ficha de control de calidad. El hecho de que el producto llegue defectuoso al cliente penaliza a la empresa, por ello la importancia de trabajar en este problema.

Es una herramienta que va a ser de gran ayuda a los alumnos y les facilitara el trabajo, a la vez que aprenderán sobre el funcionamiento de la calidad en las empresas y sobre el uso de una de sus herramientas más comunes para su control.



6. FUTURO DESARROLLO

En relación con el futuro desarrollo de esta ficha de control, podrá ser modificada por los alumnos, si al ser empleada detectan que puede ocurrir algún defecto más o que los defectos que se indican no pueden darse. Por ejemplo, esto sucedería si se introducen nuevos colores de sectores o si cambia el funcionamiento de las producciones. También podrán introducirse nuevos métodos de control que se adapten mejor que los actuales.

Además, a partir de los resultados tomados en la ficha, se podrá hacer uso de otras herramientas de calidad que han sido explicadas en este proyecto.

Por ejemplo, se podrá emplear los histogramas para conocer el número de veces que se repite un defecto en las distintas producciones. Es una muy buena herramienta para poder visualizar los datos de manera clara y ordenada.

También existe la opción de emplear un diagrama de Pareto, con la finalidad de poder ordenar los datos según la frecuencia con la que se dan y tratar aquellas que más preocupen a la Escuela.

El diagrama de espina de pescado o Ishikawa es una herramienta que puede contribuir a determinar las principales causas de uno de los defectos y estudiar las distintas posibilidades.

En definitiva, esta ficha de control queda abierta a nuevas ideas y futuros desarrollos que mejoren la calidad del solectrón de la Escuela Lean, que es el objetivo final que se ha buscado en este Trabajo de Fin de Máster desde el principio.





7 BIBLIOGRAFÍA

Alcalde San Miguel, P (2019). *Calidad: fundamentos, herramientas y gestión de la calidad para pymes*. Madrid: Parainfo

Carot Sierra, J.M; Carrión García, A; Jabayoles Vivas, J (2020). *Introducción a la Gestión de la Calidad*. Madrid: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia

De Domingo, J; Arranz, A (2006). *Calidad y Mejora Continua*. San Sebastián: Editorial Donostiarra

De Domingo, J (2005). *Gestión y Mejora Continua de la Calidad*. San Sebastián: Editorial Donostiarra

Europa Press. “Renault Consulting abre en Valladolid la primera Escuela Lean” *Europa Press* 29 de enero de 2014

Instituto Aragonés de Fomento (2022), Criterios del modelo EFQM <https://www.aragonempresa.com/paginas/excelencia-gestion-efqm-criterios> (Último acceso: 4 de mayo de 2022)

Kern, Johannes (2021). *Utilizar con éxito los diagramas de causa-efecto: El diagrama de Ishikawa en la teoría y la práctica*. (Primera edición). Editorial: Independently published

López Lemos, P (2016) *Herramientas para la mejora de la calidad: métodos para la mejora continua y la solución de problemas*. Madrid: FC Editorial

Marsh, J. (2000). *Herramientas para la mejora continua*. Madrid: AENOR

Rajadell, M; Sánchez, J.L. (2010) *Lean Manufacturing, La evidencia de una necesidad*. España: Ediciones Díaz de Santos

Renault Consulting (2014), Escuela Lean, *Catálogo 2014*

Sánchez Nava, F.J, (2021). TFM: “Parametrización de los almacenes de la Escuela Lean mediante el sistema EasyWMS”



SGS Productivity *Escuela Lean Manufacturing Valladolid, Excelencia en las operaciones*
<https://leansisproductividad.com/escuela-lean-manufacturing-valladolid> (Último acceso: 12 de junio de 2022).

SGS Productivity (15 junio de 2021) *Poka-Yoke: Técnica para potenciar la calidad y evitar errores*

Valderrey Sanz, P. (2012). *Herramientas para la Calidad Total*. Madrid: StartBook