



ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS TÉCNICAS LEAN MANUFACTURING EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Titulación:

Grado de ingeniería mecánica

Alumno (nombre y apellidos):

Víctor Carrión Navarro

Enunciado TFG / TFM:

Estudio de la implementación de las técnicas Lean Manufacturing en una línea de
producción

Director/a del TFG / TFM:

María José Saura Agel

Codirector/a del TFG / TFM:

-

Convocatoria de entrega del TFG / TFM:

Junio 2019

Agradecimientos

Este estudio no habría sido posible sin la ayuda de terceras personas que, directa o indirectamente me han permitido la completa realización del mismo. Es por ello que quiero agradecerles el apoyo y ayuda que me han otorgado:

A mi familia, que me ha permitido realizar todos los estudios, apoyándome en todo momento y velando porque todo fuera bien.

A mis compañeros del departamento de ingeniería de producción, por facilitarme todo el estudio guiándome cuando más perdido estaba y compartiendo su conocimiento conmigo siempre que lo requería.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
1. Glosario	8
2. Introducción	9
2.1. Abstract	9
2.2. Objeto.....	9
2.3. Alcance	10
2.4. Requisitos	10
2.5. Justificación y utilidad	11
2.6. Diagrama de Gantt del estudio	11
3. Estudio de Lean Manufacturing	12
3.1. ¿Qué es Lean Manufacturing?	12
3.2. Principios básicos	13
3.3. PRIMER PILAR: <i>Just In Time (JIT)</i>	13
3.3.1. 8 Wastes (8 desperdicios)	13
3.3.2. Sistema <i>pull</i>	15
3.3.3. Método <i>kanban</i>	17
3.3.4. <i>Heijunka</i>	18
3.4. SEGUNDO PILAR: <i>Kaizen</i>	18
3.4.1. 5s	19
3.4.2. <i>Single Minute Exchange of Dies (SMED)</i>	19
3.4.3. 5 WHY'S	19
3.4.4. <i>Kairyo</i>	20
3.5. TERCER PILAR: Control Total de la Calidad.....	21
3.5.1. <i>Value Stream Mapping (VSM)</i>	21
3.5.2. Gestión visual	22
3.5.3. <i>Six Sigma</i>	23
4. Caso práctico: descripción de la línea	25
4.1. Producto final.....	25

4.2.	Sistema de producción	26
4.3.	Ubicación	27
4.4.	Distribución	28
4.5.	ERP.....	29
4.6.	Logística.....	30
5.	Define (Definir).....	31
5.1.	Actores involucrados.....	31
5.2.	Antecedentes	31
5.3.	Exigencias del cliente	32
5.4.	Proceso de producción.....	32
5.5.	Value Stream Mapping Actual.....	34
5.6.	Objetivos	36
5.7.	Beneficios esperados.....	37
5.8.	Valoración económica	38
5.8.1.	Ahorro en línea de producción.....	38
5.8.2.	Ahorro en <i>picking</i>	38
5.8.3.	Ahorro global.....	39
6.	Measure (Medir)	40
6.1.	Clasificación de datos.....	40
6.2.	Validación de datos disponibles.....	41
6.3.	Toma de datos.....	41
6.4.	Validación de los datos tomados	42
6.5.	Modificaciones recientes	42
6.6.	Valoración de los datos disponibles	43
6.7.	Variabilidad del proceso a lo largo del tiempo.....	44
6.8.	Estado actual vs estado futuro	45
6.9.	5s y gestión visual.....	45
7.	Analyze (Analizar).....	47
7.1.	Valoración del sistema actual.....	48
7.1.1.	Ventajas de este sistema:.....	48
7.1.2.	Desventajas de este sistema:	49

7.2.	Capacidad productiva.....	50
7.3.	Value Stream Mapping ideal	52
7.4.	Costes del estudio	53
8.	Improvement (Mejorar)	54
8.1.	Propuestas y valoraciones.....	54
8.1.1.	Reducción del desplazamiento del producto.....	54
8.1.2.	Modificación del sistema de producción	55
8.2.	Actuación.....	58
8.2.1.	BOM (Bill Of Material).....	58
8.2.2.	Estantería de colocación	58
8.2.3.	Sistema <i>kanban</i>	59
8.2.4.	Sistema pull.....	77
9.	Control.....	79
9.1.	Método de implementación de las soluciones	79
9.2.	Control del nuevo proceso	80
9.2.1.	Sistema <i>pull</i>	80
9.2.2.	<i>Kanban</i>	80
9.3.	<i>PokaYoke</i>	81
9.3.1.	Sistema <i>pull</i>	81
9.3.2.	<i>Kanban</i>	81
9.4.	Método de medición.....	82
9.5.	Value Stream Mapping Futuro	83
9.6.	Capacidad del nuevo proceso	84
9.7.	Posibles mejoras futuras	85
10.	Conclusiones.....	86
11.	Bibliografía	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación de los diferentes medios productivos.....	12
Tabla 2: Ejemplo de aplicación del método 5 Why's.....	20
Tabla 3 % de defectos por millón de unidades producidas según el nivel de Sigma	24
Tabla 4: Objetivos.....	37
Tabla 5: Valoración económica en línea	38
Tabla 6: Valoración económica en <i>picking</i>	39
Tabla 7: <i>Cycle time</i> en función del modelo E-Box	43
Tabla 8: Comparación de tiempos entre línea principal y línea E-Box.....	44
Tabla 9: Comparación de tiempos futuros entre línea principal y línea E-Box.....	45
Tabla 10: Tabla 5 Why's.....	47
Tabla 11: Capacidad de las líneas principal y E-Box (actual y futuro)	51
Tabla 12: Costes económicos del estudio.....	53
Tabla 13: Tabla de cantidad de materiales para autonomía de 2 días	60
Tabla 14: Cantidad de material STEP 1.....	64
Tabla 15: Cantidad mínima de material para autonomía de 2 horas (STEP 1)	65
Tabla 16: Tabla de ubicaciones de material (STEP 1)	66
Tabla 17: Cantidad mínima de material para 2 días (STEP 2)	68
Tabla 18: Descripción de los componentes del STEP 2	69
Tabla 19: Distribución del material del STEP 2 en estantería	69
Tabla 20: Ubicación de materiales en línea	70
Tabla 21: Cantidad necesaria para STEP 3	71
Tabla 22: Descripción de los contenedores del cableado del STEP 3	72
Tabla 23: Ubicación cableado STEP 3	73
Tabla 24: Cantidad mínima para 2 días de componentes electrónicos STEP 3	75
Tabla 25: Comparativa DL principal vs DL E-Box con la mejora implementada	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de Gantt del estudio	11
Figura 2: Esquema de funcionamiento de las diferentes formas de sistemas <i>pull</i>	16
Figura 3: Metodología <i>kaizen</i>	18
Figura 4: Gráfico de mejora a lo largo del tiempo mediante el uso de <i>kaizen</i> y <i>kairyo</i>	20
Figura 5: Ejemplo de representación de desviación estándar	23
Figura 6: Gráficos de niveles de sigma	23
Figura 7: Set Free Sigma.....	25
Figura 8: Ubicación de la línea E-Box.....	27
Figura 9: Estructura actual de la línea E-Box	28
Figura 10: Esquema de proceso de producción de E-Box	33
Figura 11: Value Stream Mapping Actual	34
Figura 12: Cálculo de <i>Takt time</i>	43
Figura 13: Value Stream Mapping ideal (2h de stock)	52
Figura 14: Futura ubicación de la línea	54
Figura 15: Representación de FIFO	61
Figura 16: Distribución de las cajas en STEP 1 ,.....	66
Figura 17: Estructura colgador	73
Figura 18: Esquema de la línea con los cajones	76
Figura 19: Distribución final de la línea E-Box	77
Figura 20: Value Stream Mapping del estado futuro	83

1. Glosario

Takt time: Tiempo en el que se tiene que realizar cada proceso para cumplir con la demanda del cliente en el plazo requerido por el mismo.

Lead time: Tiempo que tarda un producto desde que el cliente lo solicita hasta que lo recibe.

Cycle time: Tiempo dedicado a procesos que añaden valor al producto, por ejemplo el ensamblaje del cableado al cuerpo de la caja eléctrica.

Changeover: Cambio de orden. Es la acción de cambiar el modelo de producto que se está fabricando. Esta acción puede venir acompañada de preparación de material.

Picking: Acción que se realiza antes de otra. Un *picking* es una preparación de material para facilitar el trabajo de la siguiente etapa ya sea para ahorrar tiempo, espacio,... En el caso de este estudio se realiza lejos de la zona de montaje.

ERP: Sistema de control informático de la empresa. Es el 'cerebro' de la empresa: es el que controla la producción, el *stock*, los proveedores y clientes,...

E-Box: Caja eléctrica. Es el producto fabricado en la línea objeto de estudio.

Outdoor 2: Línea de producción a la cual pertenecen tanto la línea principal como la línea E-Box.

VRF: Variable Refrigerant Flow. Tipo de aire acondicionado que se fabrica en la línea principal.

2. Introducción

2.1. Abstract

In an air conditioning Company in Vacarisses (Barcelona) there is a production line that does not achieve the time that the client requires. For that reason, this study will use the lean manufacturing tools and ideas to meet customer needs.

This study will have an investigation of information about lean manufacturing (such as Kanban, pull and push systems, PokaYokes,...) and its application in a practical case, following a DMAIC method. Moreover, there will be an improvement in the line flexibility due to the amount machine models that are produced in the plant.

2.2. Objeto

Este estudio se centra en una empresa dedicada a la fabricación y venta de productos de climatización. En su planta de Vacarisses (Barcelona) se producen 5 gamas de aires acondicionados y bombas de calor. Para poder abastecer toda la demanda, la planta cuenta con 12 líneas de montaje. Este estudio se centrará en una de estas líneas, más específicamente en una sub-línea, la de E-Box de outdoor 2 (VRF).

La línea de producción de outdoor 2 (VRF) se encarga de la producción de unidades exteriores de equipos VRF (Variable Refrigerant Flow). En esta línea se fabrican un total de 51 modelos diferentes de equipos de aire acondicionado. Estos equipos se diferencian en potencia, componentes o función. De la gran cantidad de componentes que incluye el producto de esta línea, destaca la E-Box.

La E-Box es una caja eléctrica que se instala en el equipo de refrigeración para llevar el control tanto eléctrico como electrónico de la máquina. Esta parte no es un componente cualquiera ya que es más compleja que las demás debido a la gran cantidad de cables, componentes electrónicos y piezas que contiene. Tanto es así que necesita su propia línea de montaje.

La línea de producción de E-Box es una sub-línea de la línea principal de outdoor 2 (VRF). Cuenta con 4 estaciones de trabajo y 1 test que comprueba que el producto funciona a la perfección y cumple los requisitos de calidad que el cliente final exige. Hay un total de 17 modelos diferentes de cajas electrónicas, que varían según el modelo de máquina refrigerante a la que tenga que instalarse.

Actualmente, esta línea de montaje no es capaz de suministrar su producto al ritmo que tiene la línea principal, por lo que es el cuello de botella.

De este modo, este estudio se centrará en aplicar las herramientas e ideas de *lean manufacturing* por tal de cumplir los requisitos del cliente: reducir el tiempo de ciclo de la línea E-Box, optimizando el proceso de producción y reduciendo los desperdicios presentes actualmente.

Durante todo el informe se hablará del cliente, que en este caso será la línea de producción principal de montaje de equipos VRF. A no ser que se especifique expresamente, el cliente NO será el consumidor final (quien recibe el equipo VRF ya acabado en su planta).

También cabe añadir que en este informe se introducirán continuamente palabras procedentes del japonés y del inglés. Estas palabras son conocidas mundialmente gracias al *lean manufacturing* y estarán siempre escritas en cursiva.

2.3. Alcance

Este estudio se realiza desde el departamento de ingeniería de producción y sujeto a la política de empresa. Por tanto, se trabajará únicamente con las responsabilidades que corresponden a dicho departamento y teniendo en cuenta la validación y aprobación de los compañeros afectados.

El estudio comenzará con la descripción de la situación actual y concluirá con el control de las modificaciones implementadas. El proceso de mejora se detendrá cuando se cumpla el objetivo de tener un *cycle time* inferior al *takt time* de la línea.

El proyecto comenzará con el estudio de la situación actual y concluirá una vez se haya determinado el control de las modificaciones implementadas. Únicamente se buscará cumplir con el requisito del cliente, por lo que muchas otras mejoras que se puedan hacer quedarán exentas.

2.4. Requisitos

Tal y como se define más adelante en el informe, tanto el cliente como la empresa donde se encuentran ambas líneas serán las que impongan unos requisitos que se deberán cumplir. Este estudio pretende cumplir los requisitos del cliente (mejora de calidad de la producción) respetando siempre la política y filosofía de la compañía.

2.5. Justificación y utilidad

El problema determinado por el cliente merece que se realice un estudio ya que puede suponer la obtención de ahorros significativos. Por ello, antes de aventurarse a la realización de un proyecto, es preferible realizar un estudio para comprobar la viabilidad de las modificaciones. Esto podría suponer una mayor satisfacción del cliente, un aumento de la productividad y una reducción de posibles errores y defectos.

2.6. Diagrama de Gantt del estudio

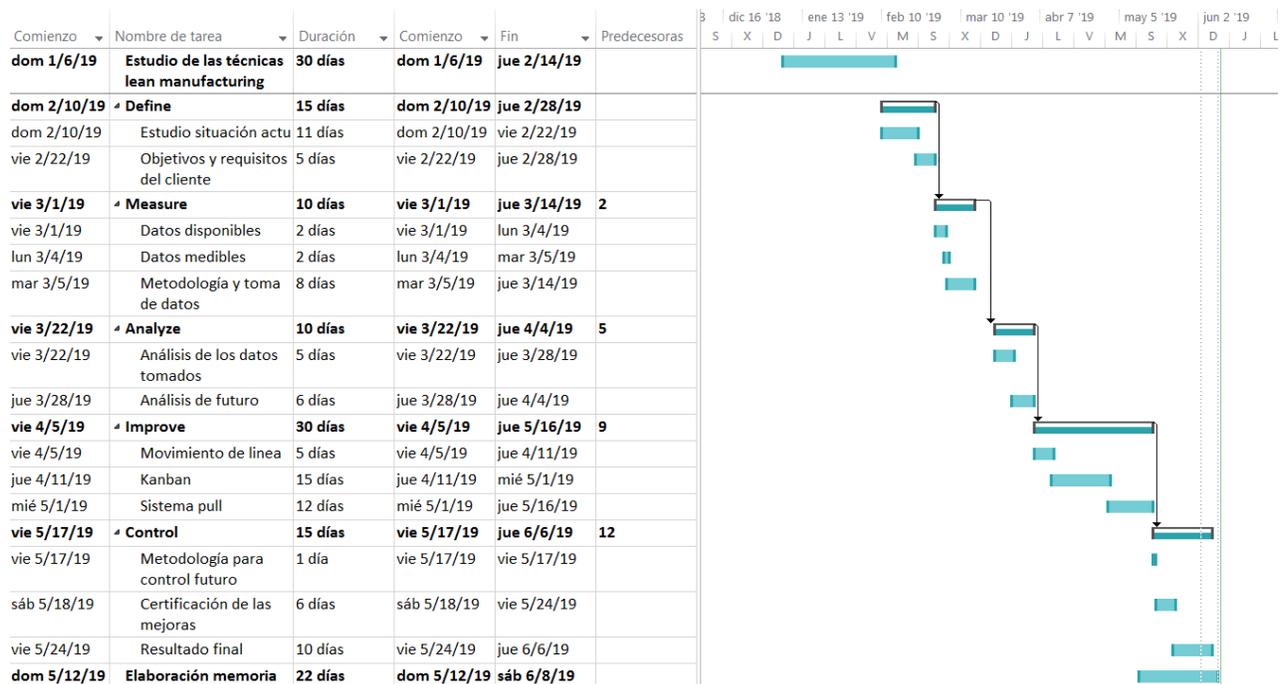


Figura 1: Diagrama de Gantt del estudio

Este estudio tomará aproximadamente 150 días en llevarse a cabo. Como se puede observar en la anterior figura, se seguirá un orden muy concreto definido por la metodología Six Sigma. Además, se realizará un estudio de las técnicas de *lean manufacturing* antes de entrar en el caso práctico y se finalizará con la elaboración de esta memoria.

3. Estudio de Lean Manufacturing

3.1. ¿Qué es Lean Manufacturing?

Lean manufacturing es una filosofía creada por Eiji Toyoda y Taiichi Ohno en 1950. Ese año, Ohno y Toyoda decidieron cambiar el sistema de producción de su fábrica de automóviles TOYOTA con tal de reducir los desperdicios a 0 y aumentar la productividad al máximo. Para ello decidieron estudiar el sistema de producción de FORD, que era el máximo referente en cuanto a producción en aquella época gracias a su sistema de producción en masa. No obstante, después de 3 meses en la fábrica de la compañía americana, Toyoda se percató que ese sistema no era compatible con su compañía debido a las condiciones de ambas empresas eran muy distintas. En ese momento decidió crear un sistema que le permitiera ser competitivo: el *lean manufacturing*.

Actualmente Toyota es la quinta empresa más productiva del mundo y la primera en el ámbito de la automoción, superando a General Motors (agrupación a la cual pertenece Ford).

Este sistema de *lean manufacturing* nació enfocado únicamente a la fabricación de automóviles de la compañía japonesa. No obstante, debido al gran impacto que tuvo, las mejoras que este acarrea y la gran versatilidad y flexibilidad que le caracterizan, se ha ido extendiendo a occidente, y a día de hoy muchas compañías lo han implementado en sus métodos de producción.

Para poder reducir a 0 los desperdicios generados en un sistema y maximizar la productividad del mismo, *lean manufacturing* utiliza una serie de técnicas y herramientas de soporte. Una prueba de ello son la filosofía *Just In Time* (justo a tiempo), *Kaizen* (mejora continua) y *PokaYoke* (a prueba de fallos). Además, la filosofía de *lean manufacturing* suele utilizar la metodología de resolución de problemas de *Six Sigma*.

	Pre-industrial 1890 Producción Artesana	Producción en masa 1910	Producción Lean 1980
Mirada	<ul style="list-style-type: none"> Personal altamente capacitado Trabajador realiza todos los pasos del proceso Personal con conocimientos en diseño, mantenimiento y materiales Auto-aprendizaje 	<ul style="list-style-type: none"> Personal altamente especializado Trabajador solo realiza una tarea Mano de obra poco calificada Profesiones especializadas 	<ul style="list-style-type: none"> Empleados capacitados Grupo de empleados trabajando en equipo Asignación de responsabilidades Derecho de proponer mejoras
Producto	<ul style="list-style-type: none"> Productos personalizados Variación en calidad Bajo volumen de producción 	<ul style="list-style-type: none"> Productos estandarizados Enfocados en volumen no en calidad Fáciles de usar y reparar 	<ul style="list-style-type: none"> Enfocado en el cliente Buena calidad Variedad de productos
Entorno de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> Gran variedad de trabajos Organizaciones descentralizadas Maquinarias multipropósito 	<ul style="list-style-type: none"> Gerencia toma las decisiones Trabajo repetitivo y monótono Maquinarias dedicada 	<ul style="list-style-type: none"> Respeto por los empleados Cortos tiempos de fabricación del producto Mejora continua

Tabla 1: Comparación de los diferentes medios productivos

3.2. Principios básicos

La filosofía *lean* sigue una serie de principios básicos que se clasifican en tres pilares que sostienen toda la filosofía. En estos se refleja la idea de eliminar todos los desperdicios. En cuanto a desperdicios se entiende todo aquello (recursos materiales, recursos humanos, tiempos) que no entra en el mínimo necesario para satisfacer al cliente (aquello por lo que el cliente no está dispuesto a pagar). Por tanto, aquello que sea necesario deberá optimizarse y aquello que no lo sea eliminarse.

3.3. PRIMER PILAR: *Just In Time (JIT)*

La ideología *Just In Time* (justo a tiempo) tiene como idea principal que los suministros de fábrica o el producto a vender deben estar en el sitio adecuado, en la cantidad adecuada, en el momento adecuado. De esta manera no habrá sobre-stocks, sobreproducción o material acumulado, por lo que se ahorrará espacio, inventario y tiempo y se optimizarán los recursos empleados.

Esta metodología de trabajo se ha querido extender a otros recursos, como maquinaria u operarios. De esta manera se han creado sistemas flexibles que permiten que el equipo disponible pueda realizar diversas funciones dentro de un mismo proceso de producción, en función de la demanda. De esta manera, cada componente de una línea de producción se creará en el tiempo mínimo, y en la cantidad mínima para mantener unidos todos los procesos.

3.3.1. 8 Wastes (8 desperdicios)

Uno de los principios básicos y pilares base de *lean manufacturing* es la clasificación de los 8 desperdicios. Se considera un desperdicio aquel recurso que no es aprovechado para realizar un producto o prestar un servicio. La optimización de todo proceso debe centrarse en la eliminación de estos, ya que generan gastos y no añaden valor al producto final.

Los 8 desperdicios se ordenan según sus letras iniciales en inglés, **DOWNTIME** (tiempo de inactividad), con el fin de facilitar su memorización:

1. Defects – Defectos

La calidad del producto debe ser algo primordial e imperativo para todo proceso. Una falta de calidad genera descontento en el cliente.

2. Overprouction – Exceso de producción

Un exceso de producción o *sobrestock* genera gastos de almacenamiento de productos que, por el momento, no serán vendidos. Además, generar más de lo que se va a vender indica que la línea está sobrecapacitada, por lo que se están destinando demasiados recursos para realizar una producción que es innecesaria.

3. Waiting time – Tiempo de espera

Un tiempo de espera indica un tiempo en el que no se está produciendo (al menos al ritmo al que está capacitada la línea). Por tanto, hay recursos desaprovechados. Un buen ejemplo de ello es una línea en la que los tiempos de trabajo de cada estación no estén equilibrados. Si una estación tarda 10 minutos en trabajar un producto y la siguiente tarda 5 minutos, el operario de la segunda estación tendrá que esperar 5 minutos sin producir hasta que el operario de la primera operación acabe, lo que implica que se está desaprovechando un recurso humano muy importante.

4. Non utilized talent – Talento Humano no utilizado

Es muy importante que toda persona (independientemente de su cargo, capacidades o estudios) tenga la posibilidad de tener voz y expresar su opinión e ideas sobre cualquier tema. Más allá de la opinión y la voz, este desperdicio también incluye desaprovechar la habilidad y conocimiento de las personas.

5. Transport – Transporte

El transporte de material o información debe realizarse únicamente cuando sea necesario. Este genera (además de una pérdida de tiempo y recursos) la posibilidad de que el producto sufra daños, fatiga del personal y dificultad en la comunicación de información.

6. Inventory – Inventario

El inventario ocupa espacio que podría ser utilizado para otros fines que aumenten la productividad. Además, puede generar pérdidas de tiempo para el operario a la hora de manipularlo.

7. Motion – Movimientos

Los movimientos, por lo general, son acciones que solo generan pérdidas de tiempo. Exceptuando algunos casos en los cuales el movimiento es estrictamente necesario (en cuyo caso se deberá minimizar el desplazamiento), se producen movimientos (tanto de material como humano) debido a una escasa organización y falta de métodos de trabajo.

8. Extra-Processing – Reprocesos

Lean Manufacturing no trata de trabajar duro sino de trabajar inteligente. Volver a trabajar un producto en el cual ya se ha trabajado anteriormente se considera una acción evitable que genera pérdidas de tiempo, de recursos humanos y de recursos materiales. Todo esto genera un sobre costo innecesario.

3.3.2. Sistema *pull*

El sistema *pull* es un sistema de producción que se adapta a las necesidades del cliente, ya que como su nombre indica, el cliente final es el que 'tira' del proceso productivo. Esta metodología sigue la filosofía de *Just In Time* (JIT). Así pues, se impone que no se fabrique ningún producto que no haya sido solicitado previamente por el cliente. De esta manera se reducen sobre-stocks y se optimizan los recursos disponibles, reduciendo pérdidas de tiempo en fabricación de productos que no se van a vender a corto plazo y espacio de almacenamiento de los mismos y centrándose en aquellos que son prioritarios.

Este tipo de sistema requiere de continua comunicación entre fabricante y cliente. El cliente debe informar de qué quiere, cuándo lo quiere y dónde lo quiere y el fabricante deberá adaptarse a dichas órdenes.

Logísticamente, este sistema de producción es más complejo ya que la producción variará más frecuentemente y de manera más impredecible. Por ello se contemplan 3 formas de almacenamiento de material en línea:

- ***Supermarket pull system:***

Este sistema permite tener todo el material necesario para la producción en línea (incluso el que no se vaya a usar inmediatamente). A medida que un producto se agote, se repone. Aunque es el más común y es muy efectivo, requiere de un gran espacio para almacenar todo el material.

- ***Sequencial pull system:***

Este sistema requiere de una planificación de la producción. Mediante esta planificación se prepara el material necesario para poder cumplirla, dejando de lado el material que no requiera. La reposición se hará cuando quede poco material para producir, dependiendo de las características del proceso. Este sistema es utilizado en procesos en los que hay demasiado material (o material muy voluminoso) como para hacer un supermercado ya que ocupa un espacio mucho más reducido. No obstante, requiere de una buena planificación de la producción o bien un

buen método de aprovisionamiento (rápido y flexible), ya que de no darse estas condiciones, el sistema se vuelve obsoleto.

- **Mixed pull system:**

Este sistema combina los dos anteriores. Clasificando los productos según la frecuencia con la que son utilizados, se hace un supermercado con los más utilizados. Con los que no son tan frecuentes, se suministran realizando un sistema secuencial. Este sistema requiere de una planificación ya que es el sistema más difícil de sincronizar y equilibrar. El sistema *pull* mixto normalmente se utiliza cuando hay alrededor de un 80% del material que se puede almacenar en forma de supermercado.

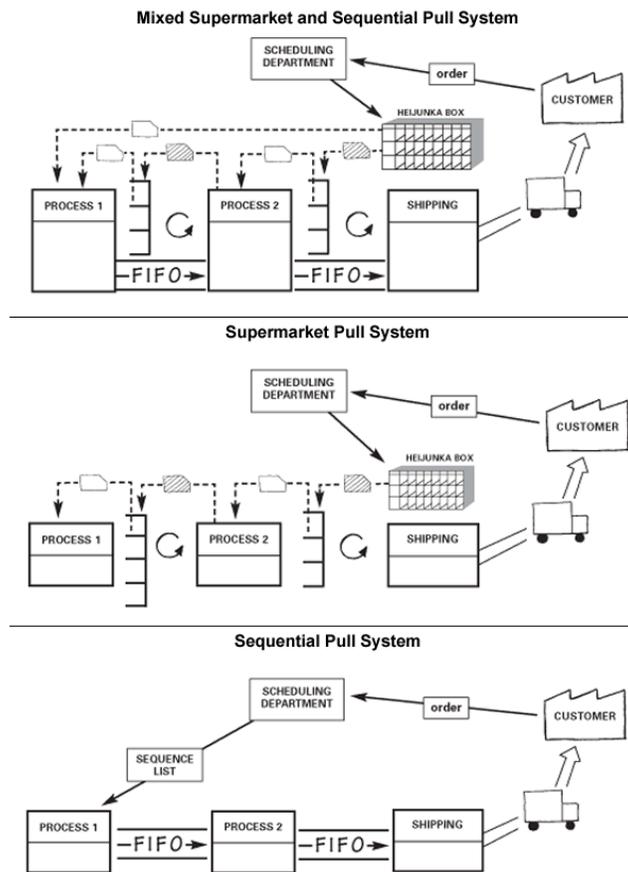


Figura 2: Esquema de funcionamiento de las diferentes formas de sistemas *pull*.

3.3.3. Método *kanban*

Kanban es una palabra japonesa que significa signo. Este método se centra sobretudo en la forma en la cual se suministra el material necesario para realizar la producción. *Kanban*, hace referencia a su significado ya que el sistema facilita la comunicación entre operaciones en la cual la operación posterior avisa, mediante una señal o signo, a la operación que le precede sobre qué material o componente debe suministrarle. Este método es imprescindible para la implementación de un sistema *pull*.

Usualmente y aprovechando que el método *kanban* estandariza un lote de material a suministrar a la línea vinculado a un contenedor, la señal se suele mostrar mediante una etiqueta en el contenedor donde se almacena el material en línea. De esta manera se simplifica la comunicación entre proveedor-reponedor-operario.

La señal utilizada para la comunicación entre operaciones (usualmente etiquetas, placas metálicas o señales electrónicas) debe contener, como mínimo, información de:

- Material a proporcionar (identificativo como referencia o descripción)
- Cantidad de material (uds)
- Ubicación del material de partida (identificación del lugar de procedencia)
- Ubicación final del material en línea (identificación del lugar en línea)

Se puede añadir más información según las necesidades y características del sistema utilizado así como códigos de barras y/o imágenes.

Para aplicar el método *kanban*, se debe establecer un tiempo de reposición estándar. Esto implica que el puesto de trabajo debe tener material para producir un tiempo determinado. El tiempo de reposición ideal será aquel que tenga un correcto balance entre movimiento de reposición y *stock* en línea.

Hay 6 normas que se deben cumplir para el correcto funcionamiento del método *kanban*:

1. El cliente procesa los productos del pedido en las cantidades precisas especificadas en el *kanban*.
2. El proveedor suministra en las cantidades y secuencias precisas especificadas por el *kanban*.
3. Ningún artículo se mueve sin un *kanban*.
4. Todas las piezas y materiales siempre tienen un *kanban* adjunto.
5. Las piezas defectuosas y las cantidades incorrectas nunca se envían al siguiente proceso.
6. El número de *kanban* se reduce cuidadosamente para reducir los inventarios y revelar problemas.

3.3.4. *Heijunka*

Heijunka es una palabra japonesa que significa nivelación. Así pues, la aplicación del *heijunka* en una línea de producción significa nivelar la cantidad de productos a fabricar diariamente, es decir, producir cada día la misma cantidad de productos. Reduciendo la variancia en la producción de diferentes días se consigue un mejor aprovechamiento de los recursos y una mejor planificación, mejorando así la producción y reduciendo gastos y desperdicios.

3.4. SEGUNDO PILAR: *Kaizen*

Kaizen es una palabra japonesa que significa “cambio a mejor”. Así pues, *kaizen* representa una filosofía de mejora continua. En el apartado de la industria tiene como objetivo eliminar los desperdicios en un sistema de producción y aumentar el valor añadido del producto final mediante pequeñas acciones que mejoren el proceso.

Esta filosofía da importancia a las ideas de todo el personal. De esta manera todos los trabajadores de la empresa tienen la posibilidad de aportar mejoras, soluciones y recomendaciones.

- Todas las personas, todos los días. Un 0,1% de mejora al día durante 1 año es más eficiente que una gran mejora del 20% al año.
- Metodología de trabajo en 4 pasos:
 1. Planificar e identificar el problema/desperdicio, recopilar información y buscar una solución.
 2. Implementar la solución.
 3. Evaluar y controlar la solución.
 4. Si no se ha conseguido el objetivo, volver al primer paso, si se ha conseguido estandarizar la solución y prevenir la reaparición del desperdicio.



Figura 3: Metodología Kaizen

3.4.1. 5s

El método de las 5s es una herramienta *kaizen* que utiliza *lean manufacturing* con la finalidad de mejorar la productividad en el lugar de trabajo mediante el orden y la organización del puesto.

El método tiene 5 etapas:

- *Seiri* (Clasificación): Eliminar aquel material que sea prescindible.
- *Seiton* (Orden): Organizar el lugar de trabajo.
- *Seiso* (Limpieza): Limpiar el espacio de trabajo.
- *Seiketsu* (Estandarización): Establecer una organización estándar, marcando lugares, protocolos, normas y previniendo el desorden.
- *Shitsuke* (Mantener la disciplina): Seguir cuidando del puesto de trabajo, evitando empeorar las condiciones de trabajo que se han obtenido mediante las etapas anteriores.

Con la aplicación de este método se consigue una mejora en la calidad del área de trabajo, aumentando la seguridad, calidad de producción y las condiciones laborales del trabajador y reduciendo tiempos, gastos y riesgos de accidentes.

3.4.2. *Single Minute Exchange of Dies (SMED)*

SMED es un método cuyo objetivo es reducir el tiempo de adaptación a los cambios de órdenes de fabricación a menos de 10 minutos. Este método se utiliza en maquinaria, en procesos que se deben realizar para adaptar la máquina a un modelo de producto diferente, como por ejemplo cambios de molde o cambios de software.

3.4.3. 5 WHY'S

Uno de los métodos que presenta *lean manufacturing* para resolver problemas es el método de los 5 *why's* (5 porqués). Este método consiste en preguntarse por qué repetidas veces (normalmente con 5 veces ya basta) hasta dar con una respuesta coherente que encaje con el origen del problema. Además es aconsejable cambiar el enfoque del problema para poder llegar a conclusiones diferentes.

PROBLEMA A ESTUDIAR	W1	W2	W3	W4	W5	Resultado del Análisis	
¿Por qué no escribe el bolígrafo?	Porque no tiene tinta	¿Y por qué no hay?: Porque no se ha repuesto	¿Y por qué no hay repuesto?: Porque nadie revisa el nivel			Incluir estándar de inspección	
	Porque la tinta está seca	¿Y por qué está seca?: Porque la temperatura es elevada	¿Y por qué es elevada?: Porque se deja junto a una estufa	¿Y por qué se deja junto a una estufa?: Porque no hay otro sitio donde dejarlo	¿Y por qué no hay otro sitio?: Porque no hay portabolígrafo	Instalar un portabolígrafo	
		¿Y por qué está seca?: Porque el bolígrafo se deja abierto	¿Y por qué se deja abierto?: Porque no existe especificación que indique su cierre				No influye que se quede abierto
	Porque su punta está chafada				¿Y por qué se cae?: Porque se cae de la mano de quien escribe		No ocurre
		¿Y por qué está esta chafada?: Porque el bolígrafo se ha golpeado	¿Y por qué está golpeado?: Porque el bolígrafo se cae constantemente al suelo			¿Y por qué se cae?: Porque se resbala de la mesa	¿Y por qué se resbala?: Porque hay pendiente

Tabla 2: Ejemplo de aplicación del método 5 Why's

3.4.4. Kairyo

El término *kairyo* significa innovación. La innovación, por el contrario que *kaizen*, busca una gran mejora sustancial (como avances tecnológicos) en vez de muchas pequeñas mejoras. Para ello, solo se involucra una pequeña parte del personal (la denominada élite). Cabe destacar que para la aplicación de este método se necesita de una notable inversión, mientras que para el *kaizen* no es necesaria.



Figura 4: Gráfico de mejora a lo largo del tiempo mediante el uso de *kaizen* y *kairyo* simultáneamente

La idea de *lean manufacturing* es mezclar ambas ideas ya que si únicamente se realizan pequeñas mejoras, llegará un punto en el que no se podrá seguir avanzando. Sin embargo, si combinamos ambos métodos siempre se podrán hacer mejoras de las innovaciones introducidas, mejorando así la eficiencia del método.

3.5. TERCER PILAR: Control Total de la Calidad

La calidad es primordial para los japoneses. Una falta de calidad en la producción se traduce en insatisfacción del cliente y, por tanto, pérdidas. Se puede decir que *lean manufacturing* genera una producción enfocada al cliente y garantiza que se cumplan todos sus requisitos.

La calidad se controla de diferentes formas:

1. En cada proceso, el operario debe asegurarse que la acción que ejecute se realice cumpliendo y verificando el criterio de calidad pertinente.
2. Todos los controles de calidad se ponen a disposición de todo el personal de la empresa. De esta manera, todo trabajador puede visualizar cual es el estado de la calidad en la producción y qué puntos hay que mejorar de esta.
3. *Jidoka* es una filosofía japonesa que pretende parar una línea de producción cuando se detecta una anomalía o defecto en cualquier equipo fabricado o en fabricación (defecto de calidad). De esta manera se asegura que no se produzcan modelos defectuosos y, por lo tanto, centrar en la fabricación en modelos buenos que sí generan un beneficio. Esta idea expresa claramente la importancia y prioridad que tiene la calidad para las empresas japonesas.
4. El mismo operario que ha cometido el error será el encargado de resolverlo. Esto no implica hacer responsables o señalar a operarios sino de seguir la corriente *lean manufacturing* en la que el operario se compromete con la empresa. Además, es una muestra de que todos los puntos anteriores se cumplen.
5. Controles de calidad en posiciones estratégicas de la línea para garantizar que el producto cumple completamente con los requisitos del cliente.

Para lograr la mejora de los procesos (tanto productivos como administrativos) e implantar sus principios básicos, *lean manufacturing* proporciona una serie de herramientas:

3.5.1. *Value Stream Mapping (VSM)*

El *Value Stream Mapping* (Mapa de Flujo de Valor o VSM) es una herramienta que permite visualizar todo el proceso que se realiza en un proceso de producción. Se trata de una representación gráfica, en el que se muestran todas las etapas de un proceso de producción y sus

correspondientes tiempos (*takt time*, *lead time*, tiempo de valor añadido, tiempo en cambio de orden,...) además de otra información como el stock disponible en cada paso o la superficie de cada estación. Con este mapa, se puede observar con facilidad todos los procesos prescindibles que no añaden valor al producto final.

Además de aportar toda la información anteriormente comentada, el *Value Stream Mapping* permite también la visualización del intercambio de información entre las diferentes etapas o estaciones durante el proceso de producción.

3.5.2. Gestión visual

En *lean manufacturing* es muy importante que todos los trabajadores dispongan de la información básica sobre la producción. Esto es debido a que la filosofía japonesa pretende involucrar a todos y cada uno de los trabajadores, haciendo que sean conscientes de la importancia que tienen en la empresa. Cabe recordar que la producción la realizan entre todos los operarios y se considera que deben estar informados continuamente para poder realizar mejor sus tareas y ver porqué salen o no salen las cosas. Esta información debe ser accesible, fácil y rápido de entender para todos. Así pues, se incentiva el uso de tableros informativos cerca de los puestos de trabajo en los que se incluirá información gráfica como tablas, gráficos, esquemas e incluso imágenes, utilizando diferentes colores y estilos para facilitar y agilizar la comprensión del lector.

La información básica que se pretende aportar es:

1. Consejos de seguridad
2. Indicadores de resultados
3. Tablas comparativas de productividad y calidad
4. Resultados, semanales, diarios y mensuales
5. Objetivos estandarizados por área y generales
6. Acciones preventivas y correctivas
7. Señalización de ubicación
8. Avisos
9. Abstenciones
10. Información de la maquinaria (paros, averías,...)

La información mencionada puede ampliarse según el criterio de la empresa.

3.5.3. Six Sigma

Six Sigma (Seis Sigma) trabaja con estadísticas, más concretamente con la variabilidad y la desviación típica. La variabilidad es la diferencia que hay entre el valor más alto y el valor más bajo de un conjunto de datos mientras que la desviación típica es una medida estadística que representa la variación de los datos respecto a la media.

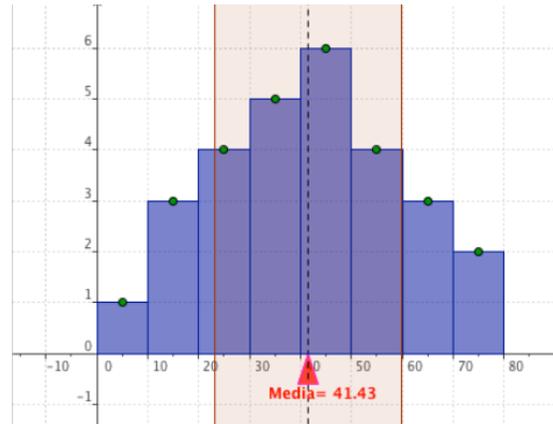


Figura 5: Ejemplo de representación de desviación estándar

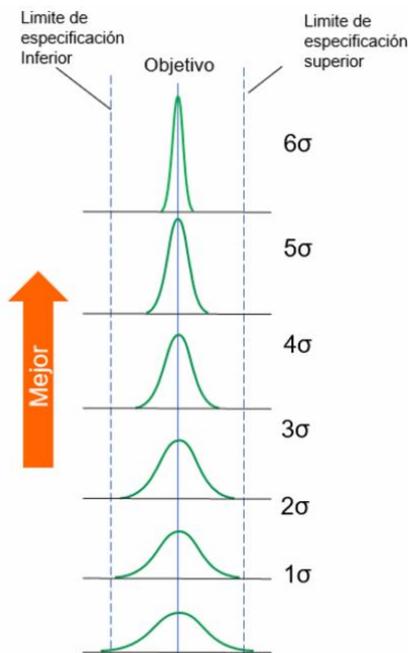


Figura 6: Gráficos de niveles de sigma

El objetivo de *Six Sigma* es reducir la variabilidad de los procesos productivos mediante acciones correctivas. El hecho de que haya mucha variabilidad en un proceso, implica que hay mucha más probabilidad de que los productos resultantes presenten en defectos de producción. Para lograr que haya 0 defectos, todos los equipos tienen que ser idénticos (variabilidad mínima) y que estos equipos estén dentro de la zona designada como correcta. Para ello se intenta reducir la variabilidad hasta tal punto en el que seis veces la desviación típica esté dentro de un intervalo que define si un producto es correcto o es defectuoso (de ahí el nombre de la metodología).

Como se puede ver en la figura 5, cuanto mayor sea la sigma, mayor número de datos contenidos en ella. De este modo, si se consigue que 6 sigma esté dentro del intervalo de producto correcto, la gran mayoría de datos (productos en este caso) serán correctos. Este método pretende llegar a un máximo de 3,4 defectos por millón de unidades producidas.

Nivel σ	DPMO	% Defectos	% Rendimiento
0	933.193	93%	7%
1	690.000	69%	31%
2	308.537	31%	69%
3	66.807	7%	93%
4	6.210	0,14%	99,86%
5	233	0,02%	99,98%
6	3,4	0,0003%	99,9997%
7	0,02	0,000002%	100,0000%

Tabla 3: % de defectos por millón de unidades producidas en función del nivel de Sigma.

La metodología que sigue *Six Sigma* para lograr el objetivo es el **DMAIC** y consiste en los siguientes pasos:

1. **Define (Definir):** Esta fase pretende establecer un objetivo final, reduciendo o eliminando el problema. Además, también se definen cuáles serán las herramientas y medios para lograrlo.
2. **Measure (Medir):** Se trata de entender el proceso actual y como se produce dicho problema.
3. **Analyze (Analizar):** Como su nombre indica, se busca el análisis del problema para determinar que es el causante.
4. **Improve (Mejorar):** Se busca la mejora del proceso, determinando cómo se va a solucionar el problema y minimizando los recursos destinados a este.
5. **Control (Controlar):** Se basa en verificar que se está cumpliendo con los objetivos del proyecto. Además se asegura que la mejora permanezca instaurada en el proceso y valorar tanto económicamente como cualitativamente los resultados obtenidos en producción

4. Caso práctico: descripción de la línea

4.1. Producto final

La línea de montaje principal “outdoor 2” es capaz de producir hasta 51 modelos diferentes de máquinas VRF (Variable Refrigerant Flow). Estas varían en potencia, función o características de los componentes. La caja eléctrica fabricada en la línea E-Box, se instala en el lateral del producto final y carga con todo el peso del control electrónico de la máquina.

Para abastecer los 51 modelos de maquinaria, habrá 17 modelos distintos de E-Box agrupados en 3 tamaños diferentes: pequeño (S), mediano (M) y grande (L). Estas, a su vez, contienen diversos componentes de cableado, placas electrónicas, reactores y sujeciones. Estos componentes también variarán según el modelo de máquina en la cual se tenga que instalar la caja eléctrica. No obstante, debido a la semejanza de unas con otras, se pueden hacer 4 agrupaciones de modelos de E-Box que presentan, exceptuando algunos componentes o cantidades de componentes, el mismo ensamblaje.



Figura 7: Set Free Sigma.

4.2. Sistema de producción

El material necesario para el correcto funcionamiento de la línea se suministra según orden de fabricación. Es decir, si se prevé una producción de 25 unidades del modelo 1 de E-Box, se suministra el material necesario para esas 25 unidades de ese modelo. Este sistema, pese a seguir una orden de fabricación, sigue claramente un modelo *push*, ya que se suministra el material según unas previsiones (que pueden cumplirse o no) y la línea produce según el stock que tiene disponible en orden de llegada.

El suministro del material se hace mediante carros. Desde el almacén se preparan diariamente las órdenes de fabricación necesarias para los dos días siguientes. Debe haber material en línea para al menos 2 días, por lo que normalmente hay como mínimo 3 o 4 carros en línea.

No existe un sistema FIFO ya que cada carro se sitúa en el espacio que haya libre, sin seguir un orden. Posteriormente, el operario busca el carro con la orden que se va a producir y abastece la línea con el material de dicho carro.

El material se separa según la orden de fabricación a la cual pertenece. Dichas órdenes de fabricación varían mucho en cuanto a las unidades a producir: hay algunas de 1 sola unidad y otras de hasta 25 unidades. Si la orden de fabricación es muy pequeña, se puede aprovechar un mismo carro para 2 órdenes diferentes siempre y cuando se identifiquen correctamente.

Para garantizar un suministro con la cantidad correcta de material en cada orden, el operario de almacén debe realizar una manipulación del material antes de suministrar un carro a la línea, ya que todo el material es suministrado desde proveedor en lotes estandarizados.

La línea cliente trabaja sobre pedido. Esto quiere decir que todos los productos que se fabrican ya han sido demandados por el cliente. Por este motivo es importante tener un *lead time* reducido, ya que la respuesta ante la demanda debe ser lo más rápida posible para mayor satisfacción del cliente. Además, trabajar de esta manera también implica mayor grado de flexibilidad ya que las órdenes serán muy variadas.

Los operarios de la línea E-Box trabajan siguiendo el modelo de flujo continuo. Debido a las grandes dimensiones que tiene la caja eléctrica, no se estima la opción de trabajar por lotes. De esta manera se puede garantizar un mínimo espacio ocupado por unidades *WIP (Work in Progress)*.

4.3. Ubicación

Actualmente la línea de producción se encuentra ubicada paralelamente a la línea de producción principal (cliente).

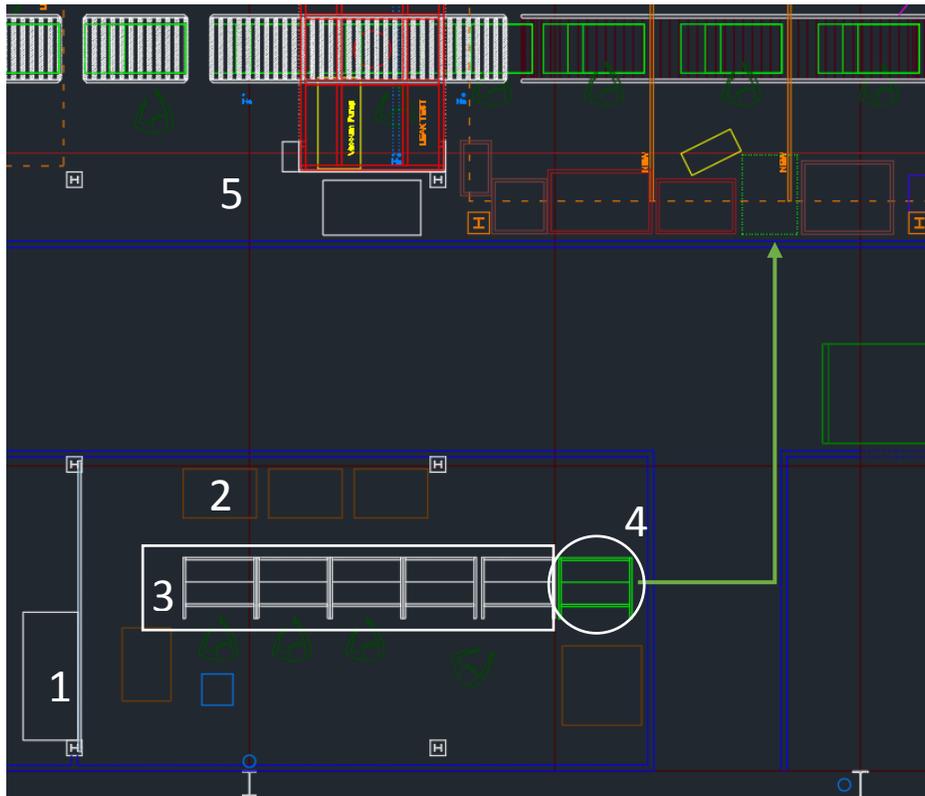


Figura 8: Ubicación de la línea E-Box.

En la figura 8 se puede observar el *layout* de la línea. En ella se pueden distinguir 5 elementos:

1. **Carro de chapas.** El carro de chapas se utiliza para suministrar la base de la E-box a la zona de montaje. La chapa es la estructura externa del producto que se generará en esta línea. Cada vez que se vacía este carro, el operario lo mueve hasta la zona de estampaciones para recoger más material. Una vez cargado el nuevo material retorna a la ubicación en la línea.
2. **Carros/pallets de material.** El material suministrado se almacena en línea antes de ser usado mediante el uso de estos carros o pallets (dependiendo del material). El operario mueve el material orden a orden a las estanterías de la línea de trabajo para trabajar más cómoda y ágilmente.

3. **Línea de producción.** Esta es la línea de producción de E-Box. Consta de 4 estaciones de trabajo y 1 test. Esta línea se describe más detalladamente en el apartado 3.1 Distribución.
4. **Carro para transporte.** Una vez acabado el producto deberá ser entregado a la línea de producción principal. Este movimiento se realiza mediante este carro, que hace el movimiento descrito por la línea verde hasta su posición final, recorriendo un total de 8 metros en cada trayecto (ida y vuelta 16 metros).
5. **Línea de producción principal.** Línea en la que se produce el producto final. Es el cliente de la línea de producción de la E-Box. Se encuentra a una distancia de 6 metros respecto a la línea de cajas eléctricas.

4.4. Distribución

La línea de producción de E-Box se compone de 4 estaciones de trabajo y 1 test. La estructura mide 6 metros de largo y 1,2m de ancho.

A una altura de poco menos de 1 metro se encuentra una carrilera que hace de guía y permite el movimiento del producto a lo largo de las estaciones.

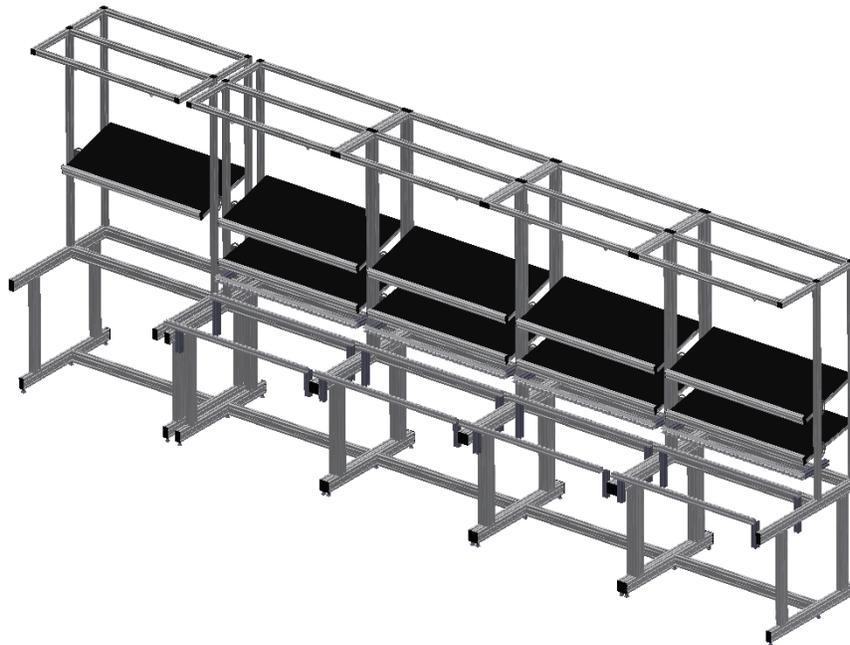


Figura 9: Estructura actual de la línea E-Box.

Las estaciones de trabajo miden 1,2 metros cada una. Estas tienen dos baldas de estantería donde los operarios colocan el material que utilizan para desarrollar su trabajo. Estas estanterías están a una altura de 1,2m la más baja y 1,45m la de arriba. De esta manera se garantiza la comodidad del trabajador.

En cuanto a la colocación del material se le da al operario total libertad. El material suministrado en carros lo coloca la persona que lo utilizará según le resulte más cómodo y más eficiente para su uso. Trabajando con órdenes de fabricación separadas, las estanterías no se llenan completamente, por lo que la distribución del material se vuelve más sencilla y practicable, sin acumulación de material y sin problemas de falta de espacio.

4.5. ERP

Toda la planta de producción está gestionada por Baan: un programa informático que actúa como un ERP creando un sistema de planificación de los recursos empresariales. Este sistema repercute en este estudio de la siguiente manera:

- Define y genera las órdenes de producción.

Según la demanda del cliente final y los recursos disponibles se genera una orden de fabricación para cada una de las líneas de producción de toda la planta. La planificación se realiza, como mínimo, con 6 semanas de antelación, no obstante se pueden ver casos en los que hay hasta 3 meses de antelación.

- Lleva la gestión de *stocks* de material.

Todo material es introducido en el ERP una vez entra en el almacén, añadiéndose al stock de dicha sección. Cuando un producto está finalizado, el ERP automáticamente descuenta cada uno de los componentes que se hayan instalado en ese equipo. Con esta metodología se produce una incertidumbre en el material que hay en línea, ya que tanto el material que está como *stock* en línea como el que está instalado en un producto que no esté finalizado todavía saldrá como disponible en el ERP cuando realmente no lo está.

4.6. Logística

El material suministrado a la línea proviene de diferentes ubicaciones:

1. Las chapas que dan forma a la estructura externa de la E-Box provienen de la sección de estampaciones. Esta sección produce piezas de chapa para toda la planta, siendo la línea E-box uno de sus clientes.
2. El cableado proviene del almacén automático. Este almacén está gestionado por un programa informático controlado por un operario. Este almacén es el que más tiempo dedica a preparar las órdenes de fabricación ya que es el lugar donde se realiza la preparación del material a suministrar a línea. Además, es el lugar que almacena más material de la caja eléctrica.
3. Todos los demás materiales provienen del almacén físico principal de materia prima.

El suministro es independiente uno de otro. No obstante, deben estar todos sincronizados ya que, de no ser así, la línea podría quedarse sin material para trabajar y verse obligada a parar la producción.

5. Define (Definir)

5.1. Actores involucrados

Primeramente, se definirán quien son los actores presentes en este proyecto y se dividirán en 4 grupos: interesados, responsables, consultados e informados:

Este proyecto tiene como principales interesados el jefe de línea y el jefe de producción ya que las mejoras afectarán a estos dos ámbitos. Estos intereses pueden extenderse a otros departamentos según las medidas que se tomen para la optimización de la línea.

En cuanto a los responsables del proyecto, será únicamente responsabilidad de las personas que lo dirigen, el departamento de ingeniería. Como aprobadores estarán tanto el jefe de línea como el jefe de producción (y los jefes de otros departamentos involucrados en el caso de que haya). Estos se harán responsables de las acciones implementadas en cuanto las aprueben.

Por último, las personas que serán consultadas ya que pueden aportar información al proyecto son el jefe de línea y los operarios que trabajan en ella. Además, estas personas también serán las informadas de los avances del proyecto ya que son los que deberán cambiar la forma de trabajar en función a la solución adoptada.

5.2. Antecedentes

La planta donde se encuentra la línea de producción a estudiar, contiene más líneas de producción, entre ellas sub-líneas de fabricación de E-Box. Pese a haber más casos de líneas de producción de cajas eléctricas que suministran a la línea principal, ninguna cuenta con un método eficiente ni con un *lead time* ejemplar. Por consiguiente, no hay ningún antecedente en la planta del cual se pueda tomar nota.

La empresa tiene más plantas distribuidas por todo el mundo. Además hay implantado un sistema en el cual toda la información de proyectos que son beneficiosos para las diferentes plantas se ponen en común. No obstante, la única idea que se puede extraer de las muchas fábricas que hay es que la E-Box la compran ya montada y lista para instalarse al equipo principal.

5.3. Exigencias del cliente

El cliente de la línea de producción E-Box es la línea principal. Esta requiere una óptima calidad de funcionamiento y sin defectos físicos. Además exige que la producción de cajas eléctricas esté sincronizada y sea solidaria con su producción. Así pues, se debe cumplir que la caja eléctrica del modelo pertinente llegue a la línea principal cuando se tenga que montar en el equipo donde tiene que ir montada. Además, por motivos de comodidad en el trabajo, no se puede hacer un *stock* en la línea cliente ya que las cajas eléctricas ocupan demasiado espacio, por lo que se tienen que suministrar una por una.

Actualmente no hay problema en cuanto a la calidad del producto entregado por lo que no se valorará la implementación de una mejora para este requisito. No obstante, sí que es importante valorar posibles soluciones al proceso de suministro de la E-Box ya que el cliente no está satisfecho. Este justifica que el *lead time* de la línea objeto de estudio es mayor que el *takt time* de la línea de producción principal. Su requisito es revertir esta situación y hacer que el *lead time* sea inferior al *takt time*.

5.4. Proceso de producción

El proceso completo de producción está estandarizado y sigue una metodología de flujo continuo. Para esta fase de definición se realiza un estudio de proveedores, procesos y clientes, determinando los movimientos de los productos entre cada sección como se representa en la siguiente figura:

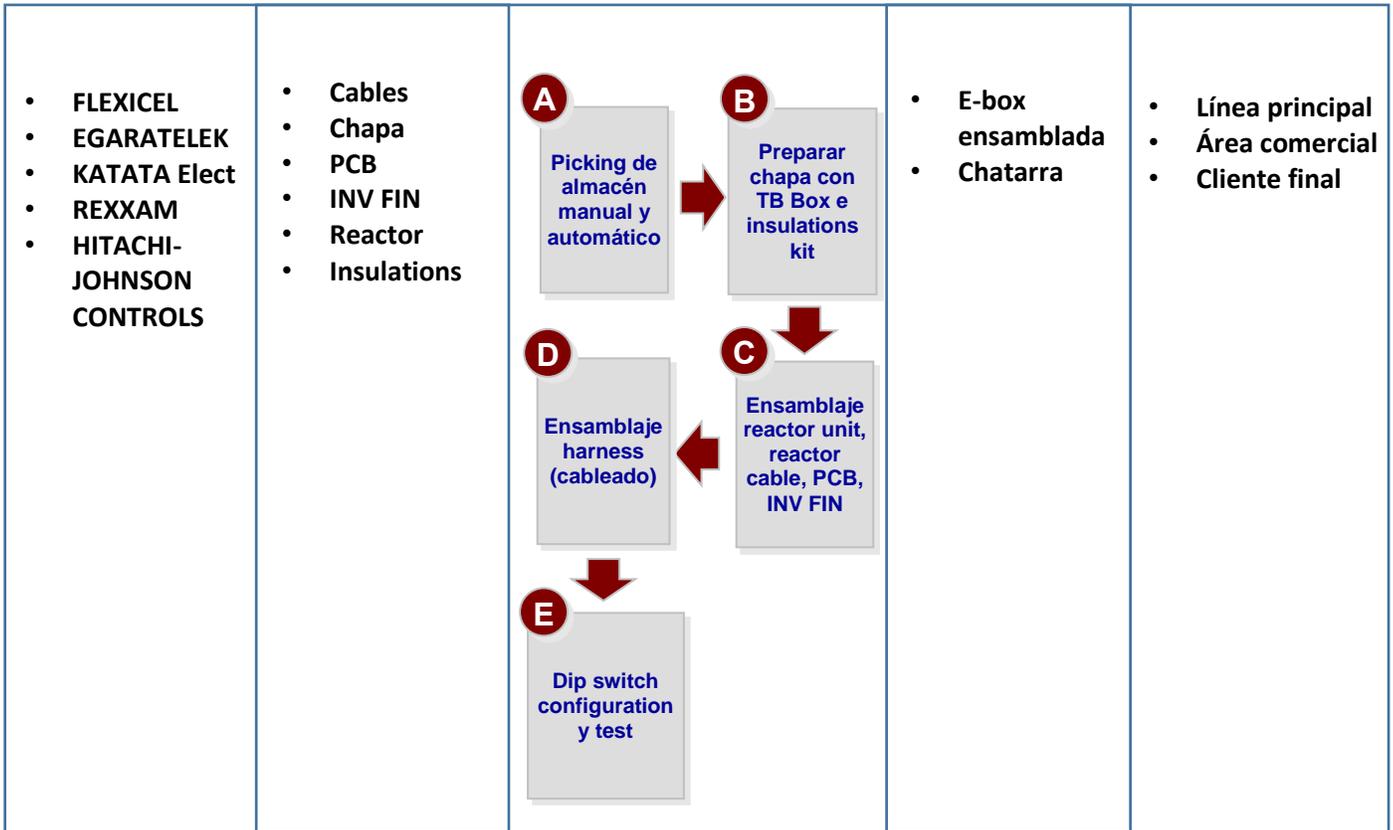


Figura 10: Esquema proceso de producción de E-Box

5.5. Value Stream Mapping Actual

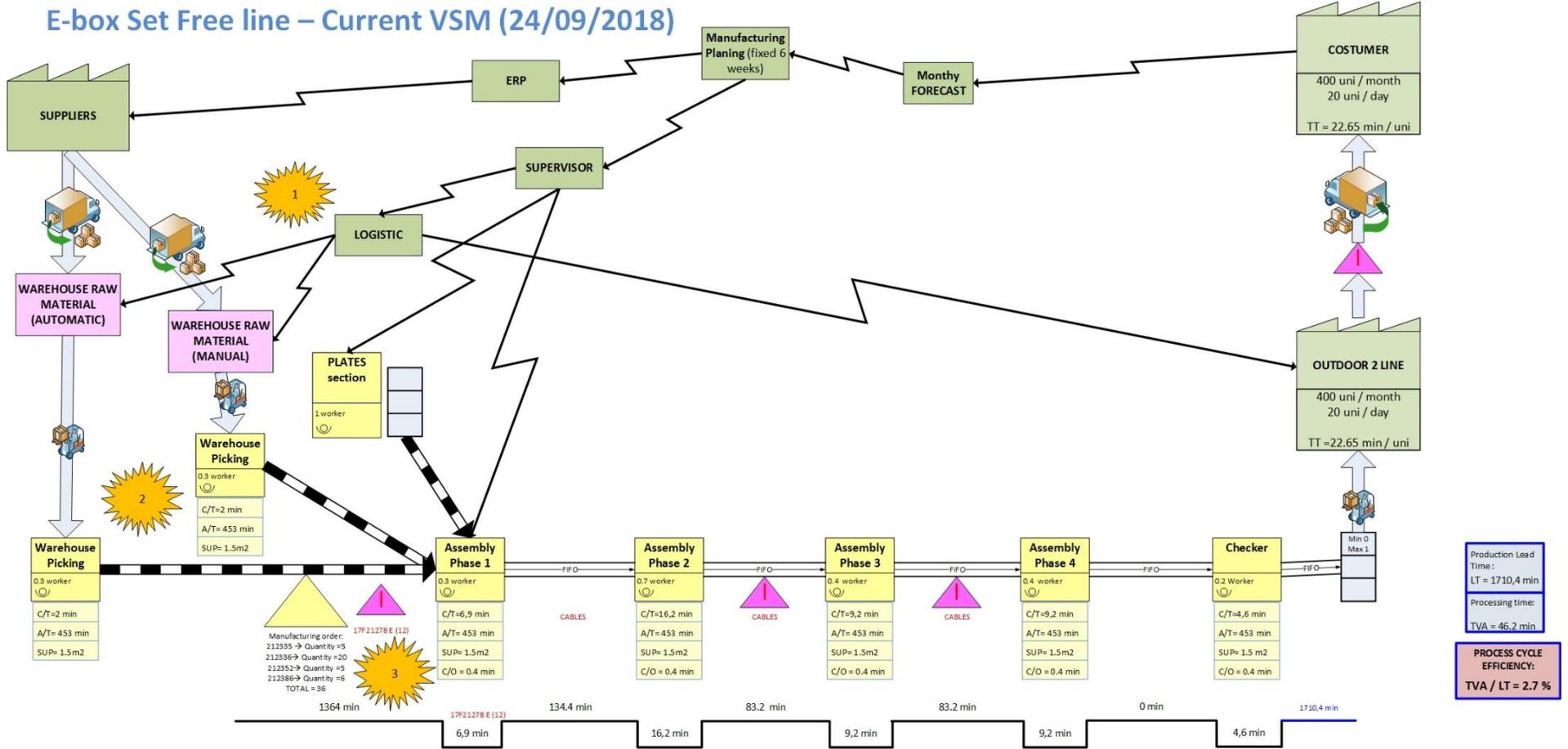


Figura 11: Value Stream Mapping Actual

En el proceso productivo representado en el esquema anterior podemos observar 3 puntos críticos a mejorar:

1. **Comunicación orden por orden del material necesario:** Al trabajar sólo con el material necesario para cada orden, logística debe tener siempre información sobre las órdenes que hay que producir y que material hay que suministrar (planificación). Esto puede dar pie a desincronización con la línea, confusiones y errores.
2. **Picking en almacén automático:** Actualmente el almacén automático guarda el material en lotes estandarizados. Como las órdenes de fabricación no son siempre iguales, un operario/a de logística debe hacer un *picking* en el cual prepare las unidades exactas para la siguiente orden de fabricación. Se estima que se destinan alrededor de 4 minutos en la preparación de cada orden.
3. **Tiempo perdido en cambios de orden:** Todo el material que llega a línea proveniente del almacén automático debe ser colocado en algún lugar cómodo para trabajar. Esto requiere otra manipulación del material, generando una pérdida de tiempo que no añade valor al producto. Según la planificación del último año, se estima que hay una media de 2,5 cambios de orden al día. Además, según se ha podido observar en línea, se tarda aproximadamente 15 minutos en realizar un cambio de orden.

Este tiempo dedicado a los cambios de orden son tiempo no productivos. Estos tiempos no solo afectan a los operarios de E-Box sino que también afectan a la línea cliente ya que, al ser el cuello de botella, la línea principal deberá esperar a que se haga el cambio de orden. Por tanto, en cada cambio de orden, la línea principal se detiene.

Más allá de estos 3 puntos más importantes, hay una serie de situaciones que comprometen la velocidad del proceso. Estas situaciones se pueden ver en la figura anterior con 4 exclamaciones púrpuras. A continuación se detallan cada una en orden del proceso de fabricación:

- La primera exclamación hace referencia al *inverter modul*, un componente de grandes dimensiones que se suministra en cajas de cartón individuales montadas en un pallet.
- La segunda y tercera exclamación hace referencia a los cables *harness*. Estos cables son complicados de trabajar ya que contienen una anilla de ferrita que engancha unos con otros y se enredan.
- Por último, la cuarta y última exclamación hace referencia al trayecto de suministro entre la línea E-Box y la línea principal. Este trayecto lo deben hacer los operarios en cada caja eléctrica que se suministra a la línea cliente.

5.6. Objetivos

La línea cliente se detiene diariamente debido a que la línea E-Box no es capaz de suministrarle el material necesario. Este hecho genera unas pérdidas considerables a lo largo del mes que son evitables, ya que, como se ha visto en el *Value Stream Mapping* hay procesos que se pueden mejorar. De esta manera este estudio define como objetivo reducir hasta 0 el tiempo en el que la línea principal está detenida debido a un fallo en el suministro de la línea E-Box. Para ello se valorará el *lead time* de la sub-línea y la fiabilidad de esta (errores en suministro, falta de material, desincronización,...).

El proceso de cambio de orden se considera que es muy prescindible y evitable y se coloca como objetivo para la reducción del tiempo de valor no añadido de este proyecto. Cada vez que se para la línea E-Box, en caso de no haber un *stock* de caja eléctricas, la línea principal también se detiene, por tanto, en cada cambio de orden, no solamente se detiene una línea con 2 operarios sino que se detiene también la línea principal con 12 operarios. Esto eleva muchísimo el coste de cada cambio de orden. De hecho, el tiempo perdido sumando el de todos los operarios es de 420 minutos diarios (una jornada laboral son 453 minutos) y 8400 minutos al mes. Por este motivo se cree que es necesario actuar inmediatamente sobre este problema.

Otra posibilidad de reducción de tiempo de valor no añadido se encuentra en el *picking* de almacén ya que el operario debe contar el material necesario para cada orden uno a uno, perdiendo una elevada cantidad de tiempo.

Por último, se considera que el sistema de producción actual da pie a demasiados errores. Es susceptible a desincronizaciones debido a que ambas líneas se ciñen a una planificación de 6 semanas y eso es sinónimo de paros en la línea principal o bien de trabajo a velocidad reducida.

Como objetivo se espera poder llegar a reducir los tiempos de valor no añadido hasta 0. De esta manera se ahorrarían aproximadamente 30 minutos diarios, lo que supondría un ahorro de tiempo de 600 minutos al mes entre todos los operarios (suponiendo una media de 20 días al mes).

Se dará por finalizado el proyecto una vez se haya eliminado todo el tiempo de los cambios de orden y se haya modificado el sistema de producción actual.

El esquema de la tabla 3 muestra los objetivos que se conseguirán y su repercusión en diferentes los aspectos.

Operario	Cliente	Economía	Proceso
Material correcto en la ubicación y momento adecuados.	E-Box correcta en el momento correcto.	Coste en movimientos de material	Tiempo perdido en devolver material no usado a almacén
Cambio de orden rápido.	No paros de línea	Mejora de la productividad	Tiempo perdido en cambios de orden
Material fácil de coger.		Coste por tiempo perdido en desenredo de cableado	Cables enredados

Tabla 4: Objetivos

5.7. Beneficios esperados

Tal y como el cliente exige, se buscará reducir el *lead time* de la línea. Para ello se espera reducir todos los tiempos de valor no añadido hasta 0, reduciendo como mínimo 30 minutos al día dicho tiempo.

Además de cumplir con los tiempos establecidos por el cliente, también se buscará una metodología de trabajo que permita una comunicación constante entre cliente y proveedor para, asegurar una sincronización completa de ambas líneas.

El cumplimiento de dichas especificaciones dará como resultado un aumento en la productividad de la línea así como un aumento de su flexibilidad.

5.8. Valoración económica

En cuanto a la valoración económica, se espera un gran ahorro asumiendo un bajo coste de implantación. Podemos dividir el cálculo económico en 2 partes: ahorro en línea de producción y ahorro en *picking*.

Cabe destacar que para los siguientes cálculos se establece un salario bruto medio de 20€/h por operario.

5.8.1. Ahorro en línea de producción

Teniendo en cuenta que tanto la línea de producción principal como la línea E-Box se detienen cada vez que hay un cambio de orden debido a la última, se puede decir que el parón afecta a 14 personas. Como se ha estimado previamente, se producen 2 parones aproximadamente de 15 minutos cada día, por tanto un total de 30 minutos al día. Con estos datos se realiza el siguiente cálculo:

Tiempo de línea parada (día)	30 (min)
Personal afectado	14
Salario base personal	20€/h
Nº días al mes	20
Total	2800€/mes

Tabla 5: Valoración económica en línea

Para esta valoración se ha tenido en cuenta una media de 20 días al mes. En total el ahorro mensual sumaría 2800€. Si lo traducimos a ahorro diario sería de: 140€ y el ahorro anual de: 33.460€ (estableciendo un calendario laboral con 239 días laborables).

5.8.2. Ahorro en *picking*

En cuanto al *picking* logístico, se atribuye una pérdida de tiempo de alrededor de 4 minutos por máquina. No obstante, para este proceso solo se implican 0.6 operarios (1 operario se divide el trabajo entre esta operación y otras de otras líneas). No se espera eliminar el *picking* actual debido a la metodología de trabajo existente y las relaciones con los proveedores, no obstante sí que

puede reducirse hasta llegar a 1 minuto por máquina. Por consiguiente se obtiene el siguiente ahorro:

Ahorro en tiempo dedicado al <i>picking</i> (día)	60 (min)
Personal afectado	0.6
Salario base personal	20€/h
Nº días al mes	20
Total	240€/mes

Tabla 6: Valoración económica en *picking*

En la situación del *picking* se obtiene un ahorro de 240€ al mes teniendo en cuenta 20 días de trabajo mensuales. Esto se traduce en: 12€ diarios y 2868€ anuales (estableciendo un calendario laboral con 239 días laborables).

5.8.3. Ahorro global

El ahorro total que se estima conseguir es la suma de ambos ahorros, por lo que el ahorro del proyecto sería de: 3040€ mensuales (36.328€ anuales).

6. Measure (Medir)

Una vez detectada la problemática de la línea se pasa a la siguiente etapa, la de medición. Esta etapa pretende cuantificar las características del proceso. Esto supone entrar en más detalle a lo que el cliente requiere y las variables de entrada que afectan al proceso.

6.1. Clasificación de datos

Para realizar las mejoras definidas en el anterior apartado se deben de tomar una serie de datos que serán importantes para el desarrollo y el control del proceso. Así pues se clasificarán los datos que se deban tener en cuenta en datos disponibles (ya han sido tomados) y datos medibles (no han sido tomados pero pueden serlo).

Datos disponibles:

- Se dispone de un estudio de tiempos de la línea principal incluyendo la línea E-Box en ella. Así pues, se puede disponer del *takt time*, *lead time*, y *cycle time* de cada estación de trabajo.
- Se puede consultar el calendario laboral y los horarios de las jornadas laborales en ambas líneas de producción.
- Se dispone de la producción planificada y la producción realizada de cada mes.
- Existen planos de planta así como de piezas y componentes que pueden resultar útiles a la hora de realizar el estudio. Con estos datos se pueden calcular superficies y distancias de las líneas y medidas de piezas.
- Mediante el ERP de la empresa, se puede visualizar toda la información sobre: órdenes de fabricación, *stocks*, movimiento de material, pedidos de compras y componentes que forman un equipo. Toda la información que aparece en el sistema se actualiza diariamente.

Datos medibles:

- Tiempo dedicado a acciones que no añaden valor al producto.

Los datos mencionados anteriormente son imprescindibles para realizar el estudio.

6.2. Validación de datos disponibles

Antes de utilizar cualquier tipo de dato, se debe asegurar que este es fiable. Así pues se diseñara un método para validar los datos ya tomados:

1. Valorar la fecha de la medición. Se dará una toma de datos como correcta si dicha medición se ha realizado en los últimos 12 meses. Quedará exento de esta normativa cualquier dato tomado antes de una modificación que afecte a los tiempos. En ese caso, el dato no será válido.
2. Valorar la metodología utilizada para la toma de dichos datos.
3. Valorar las condiciones en las que se tomaron los datos (nº operarios, modelo máquinas, experiencia y habilidades de los operarios,...).

Los datos obtenidos cumplen con las características descritas en este apartado, por lo que se consideran válidos.

6.3. Toma de datos

Para la toma de datos se seguirá un método. De esta manera se podrá certificar que las medidas tomadas, como en el caso de los datos disponibles, sean correctas. Dicha metodología será la siguiente:

1. Se tomarán tiempos para todos los modelos de E-Box y se tomarán al menos 6 veces por modelo.
2. Se tomarán los tiempos de trabajo de al menos 2 operarios, a ser posible, uno con experiencia y otro sin ella. La medición se repetirá 3 veces por operario y modelo (en total 6 veces por modelo).

3. Se tomarán los tiempos de manera continuada. Esto quiere decir que no se tomará el tiempo en producir una E-Box, sino que el cronómetro no se detendrá hasta que se haya finalizado la 3ª caja. El resultado se dividirá entre 3 para tener una media de tiempos de producción.
4. Se asegurará (presencialmente) que en la toma de tiempos no haya ninguna situación que pueda alterar la producción, por ejemplo: falta de material o cambios de modelo u orden de fabricación.

La medición de los tiempos se realizará utilizando un cronómetro.

En cuanto a la medición del tiempo dedicado a los cambios de orden, se realizarán individualmente, desde que la línea acabe la última caja eléctrica de una orden hasta que empiece a fabricar la primera caja de la siguiente (cuando coja el primer material de la siguiente caja eléctrica). Se deberá realizar esta medición un mínimo de 4 veces y la orden entrante debe variar en cantidad y en modelo para poder englobar el máximo nº de casos posibles.

6.4. Validación de los datos tomados

Con el fin de verificar que los datos tomados sean correctos y así poder confiar en ellos, se validarán siguiendo los siguientes criterios:

1. Los datos que miden los tiempos del mismo modelo tienen que ser similares (pudiendo variar según operario). Una desviación pronunciada sobre el tiempo estándar hará que se tome ese dato como no válido.
2. Se podrá modificar algún valor según lo observado durante la medición. De esta manera, se podrá valorar el nivel de carga de trabajo, fatiga o inexperiencia de una manera más efectiva. Esta corrección se realizará multiplicando el valor obtenido por un coeficiente entre 0 y 1.

6.5. Modificaciones recientes

Durante el último año no ha habido modificaciones en línea. Además, los operarios que trabajan en ella han sido siempre los mismos, por lo que gozan de experiencia.

6.6. Valoración de los datos disponibles

Se tomará como referencia la media de tiempos del modelo más desfavorable de E-Box. Dicho modelo se determinará mediante la diferencia entre el *takt time* y el *cycle time*. Además, se determinará una producción diaria de 20 unidades ya que es la tendencia de producción que lleva la línea.

La línea E-Box está sincronizada con la línea principal (cliente). Ambas tienen un *takt time* de 22.65 minutos (figura 12). No obstante, este tiempo puede variar ya que la demanda y la planificación de planta no es estable. La línea E-Box debería ir adelantada, al menos, 3 máquinas siempre para poder abastecer con garantías a la línea principal. No obstante debido al tiempo perdido en cambios de orden, entre otros contratiempos, la línea debe detenerse diariamente por falta de cajas eléctricas.

$$Takt\ Time = \frac{Tiempo\ productivo\ total}{Demanda\ diaria} = \frac{453}{20} = 22.65\ min$$

Figura 12: Cálculo del *Takt time*

El tiempo que tarda una E-Box en ser fabricada (*Cycle time*) se ha calculado sumando todos los tiempos de valor añadido del proceso (tiempos tomados físicamente en línea). Se ha tomado como referencia el modelo que más se tarda en fabricar (modelo grande) ya que será el caso más desfavorable posible. De esta manera, el *cycle time* de la E-Box es de 23.1 minutos. Por tanto, podemos decir que de media sale 1 caja eléctrica cada 23.1 minutos.

Modelo	CT (min)
Pequeño	10.5
Mediano 1 compresor	14.7
Mediano 2 compresores	18.9
Grande	23.1

Tabla 7: *Cycle time* en función del modelo E-Box

Se puede observar que el *cycle time* es superior al *takt time* y por tanto es el cuello de botella de la línea. Por la metodología de trabajo que hay instaurada en la línea y respetando el JIT, solo puede haber 1 caja eléctrica esperando a ser montada en la línea principal y no deben acumularse cajas

acabadas en la línea E-Box (actualmente se acumulan para intentar parar la línea principal el mínimo tiempo posible). Cuando se produce un cambio de orden, se pierden 15 minutos en el montaje por lo que el verdadero *Lead Time* de la línea E-Box (contando con los cambios de orden) es aún mayor. Por este motivo, cada vez que hay un cambio de orden tanto la línea principal como la línea E-Box se detienen.

Teniendo en cuenta las órdenes de producción de los últimos 12 meses (exceptuando agosto por falta de personal y días laborales muy distintos a lo habitual) se estima una media de 2.5 cambios de orden diarios. Además, según datos tomados en línea, en cada cambio de orden se dedica una media de 15 minutos. Así pues, hay 37.5 minutos diarios que se pierden colocando el material de los carros en estanterías. Esta será la línea base (*baseline*) del estudio.

6.7. Variabilidad del proceso a lo largo del tiempo

El proceso productivo no tiene siempre las mismas características, pues hay muchos modelos diferentes. Así pues, se producen variaciones en cuanto al *cycle time* e incluso en el *takt time*, sin olvidarse del tiempo perdido en cambios de orden.

La tendencia de producción muestra claramente que las unidades a fabricar se inclinan a estandarizarse en un máximo de 20 unidades diarias. Este hecho no indica que siempre se vayan a fabricar 20 (pues quizás en un futuro la demanda aumenta y se debe aumentar la producción). No obstante, es la base que marcará este estudio. Como es posible que la línea principal produzca más de 20 unidades, hay que asegurar que la línea E-Box también pueda fabricarlas. Para certificar este hecho, se deberá igualar la capacidad productiva de ambas líneas para cada modelo.

Modelo	DL principal (min)	DL E-Box(min)
Pequeño	11.62	10.5
Mediano 1 compresor	15.50	14.7
Mediano 2 compresores	18.05	18.9
Grande	22.50	23.1

Tabla 8: comparación de tiempos entre línea principal y línea E-Box

Como se puede apreciar en la tabla anterior, la línea E-Box debería ser capaz de abastecer a la línea principal en condiciones normales cuando se trabaje con los modelos pequeños y medianos de 1 compresor. No obstante, con los modelos más grandes no debería ser capaz.

Cabe recalcar que todos los tiempos actuales se han tomado teniendo en cuenta que se producen 2.5 cambios de orden diarios. No obstante, no hay que olvidar que esto es una media, por lo que habrá días con 4 cambios de órdenes y otros con ninguno. Por tanto, cabe la posibilidad de que, en la actualidad, la línea E-Box no pueda abastecer de modelos pequeños a la línea principal o por el contrario, que sí pueda suministrar a tiempo los modelos grandes.

6.8. Estado actual vs estado futuro

Actualmente, se observa que hay un tiempo de ciclo superior, en todos los modelos, al que tiene la línea principal. Esto es debido, en parte, al tiempo desperdiciado en acciones que no añaden valor al producto final. Como el objetivo de este estudio es reducir dichos tiempos hasta 0 (recordar que actualmente son de 37.5 minutos al día), la tabla 8 cambiaría adoptando estos nuevos valores:

Modelo	DL principal (min)	DL E-Box futuro (min)
Pequeño	11.62	9.64
Mediano 1 compresor	15.50	13.49
Mediano 2 compresores	18.05	17.35
Grande	22.50	21.21

Tabla 9: comparación de tiempos futuros entre línea principal y línea E-Box

Como se puede observar en la tabla anterior, todos los tiempos de la línea E-Box, independientemente del modelo que sea, son inferiores a los tiempos de la línea. Así pues, si se consiguiera reducir el tiempo dedicados a los cambios de orden, se conseguiría cumplir el objetivo que exige el cliente para satisfacer sus necesidades productivas.

6.9. 5s y gestión visual

Actualmente ya hay talleres para la concienciación de la importancia de *Lean Manufacturing* en el puesto de trabajo. La comunicación y transparencia es un elemento básico e imprescindible en esta ideología y ya hace unos años que se está llevando a cabo en esta empresa.

En cuanto a la gestión visual, ya hay implantadas secciones de comunicación donde se encuentran paneles con información gráfica de la producción (MTTR, MTBF, ausencias, producción, incidencias,...). Estos paneles se actualizan semanalmente a la par que se hacen reuniones en cada

línea de producción en las que todos los trabajadores se ponen al día de lo sucedido los últimos días, las previsiones futuras y cualquier otro tema que sea conveniente de comentar.

Debido a estas acciones ya implantadas, se cree que es suficiente para llevar un control y un correcto desarrollo de estas técnicas. De esta manera, se hará hincapié en la aplicación del nuevo método de trabajo, recordándolo siempre que sea preciso y corrigiendo y mejorando aquello que no acabe de encajar.

Además, con la implantación del nuevo sistema de producción, se aprovechará para realizar un proceso más exhaustivo de las 5s. De esta manera se podrá garantizar la correcta distribución del espacio en línea.

7. Analyze (Analizar)

Hasta ahora se han visto los contratiempos observables a simple vista. En esta tercera fase se identificará cual es la raíz de todos los problemas y qué es lo que no funciona de este método de producción.

Se estudiarán las 3 problemáticas identificadas en el VSM por separado. Para ello se ha utilizado la herramienta 5 WHY'S, obteniendo la siguiente tabla:

Objeto	1 Why	2 Why	3 Why	4 Why	5 Why
Planificación logística	El material de cada orden es distinto	No hay una estandarización del proceso	Solo puede haber material en línea que se vaya a consumir en un máximo de 2 días y se prepara orden a orden	El sistema productivo así lo exige	
<i>Picking</i> en almacén	El material de cada orden es distinto	No hay una estandarización del proceso	Solo puede haber material en línea que se vaya a consumir en un máximo de 2 días y se prepara orden a orden	El sistema productivo así lo exige	
Cambio de orden	Hay que preparar el material en línea	El material se suministra a la línea mediante carros en los cuales se almacena esperando a ser colocado.	El material se prepara orden a orden	No hay espacio en línea para tanto material	El stock mínimo en línea es demasiado elevado Las órdenes de fabricación deben ir separadas

Tabla 10: Tabla 5 Why's

En la tabla 10 se puede observar:

1. La planificación logística actual, se realiza de esta forma debido al sistema productivo actual. Al no tener lotes estandarizados, debe de haber una comunicación hacia los almacenes para que estos sepan que ordenes tienen que preparar y que material debe ir en cada orden. Además, el sistema carece de comunicación entre ambas líneas ya que ambas siguen la misma planificación. Este hecho imposibilita que haya flexibilidad e impone que toda la información se sepa con un largo tiempo de antelación.
2. El *picking* de almacén está muy relacionado con el anterior punto, pues la raíz de ambos problemas es la misma. Al no tener una estandarización del suministro de material, los operarios de almacén deben preparar orden a orden todos los componentes. De esta manera, deben preparar una media de 2,5 órdenes diarias en las cuales se tiene que contar todo el material para incluir en cada una de ellas la cantidad correcta.
3. Por último, la realización de los cambios de orden de la línea tiene como causa raíz el espacio ocupado por el material a colocar. Dicha falta de espacio viene derivada de la organización actual del *stock*, ya que este debe de ir separado según la orden a la que corresponda y además tiene que tener un stock mínimo en línea que permita trabajar durante 2 días.

Con estas observaciones se puede concluir que los problemas vienen tanto de la organización del material como del sistema productivo actual. Este último cuenta con una serie de propiedades que favorecen el trabajo del operario y otras muchas que derivan en pérdidas de tiempo.

7.1. Valoración del sistema actual

7.1.1. Ventajas de este sistema:

- **No aglomeración de material en estantería.** Al suministrar sólo lo que se va a producir, se tendrá el material justo y necesario para la producción de una orden de fabricación. Al no tener material de otros modelos o de otras órdenes, hay mucho espacio libre en la estantería, habiendo aproximadamente un 40% de la estantería vacía.
- **Simplicidad en el trabajo.** Los operarios/as de la línea de producción tienen más facilidad a la hora de trabajar y será más complicado cometer errores debido a que solo se dispondrá del

material necesario para el modelo que se esté produciendo en ese momento. Esto es importante debido a que algunos de los componentes de los diferentes modelos de las E-Box son muy parecidos pero presentan diferentes características. Una equivocación en cualquier material puede suponer un error en calidad. En ese caso, será necesario realizar un retrabajo en el caso de que el test comercial lo detecte o, en caso de que no se detecte el problema, se lanzaría a mercado un producto defectuoso.

- **Más libertad para la colocación del material.** Como no hay ninguna restricción, el operario/a podrá colocar el material donde le convenga, haciendo más cómodo su trabajo.

7.1.2. Desventajas de este sistema:

- **Paros en la línea de producción principal.** La producción de cajas electrónicas debe de ir sincronizada con la fabricación de la máquina a la cual se haya de instalar. Para hacerlo, actualmente se sigue una planificación que se realiza mensualmente para las 6 siguientes semanas. Es muy común ver como esa planificación no se sigue meticulosamente ya que a medida que pasa el tiempo se van generando nuevos problemas como faltas de material, averías, falta de personal, problemas de calidad por parte de proveedor,... Cualquier error en cualquiera de las dos líneas, dará pie a una desincronización y, por tanto a un paro de la producción. Además, el cambio de orden en la línea E-Box supone una pérdida de 15 minutos en preparación de material que la línea principal no tiene, por lo que es difícil lograr una sincronización perfecta.
- **Poca flexibilidad.** Al suministrar el material justo para la orden de fabricación, cualquier problema con alguno de los componentes de la E-Box puede hacer que haya paros. Por ejemplo, en un hipotético caso de una orden de 25 productos se necesitan 25 cables tipo A. En el caso de que solo uno de esos cables sea defectuoso, la producción no podría llegar a la cantidad prevista, quedándose en 24 productos. Para poder realizar el producto restante, se deberá parar la línea y suministrar otro cable tipo A, generando así pérdidas de tiempo.

Debido a que normalmente el operario encargado de reponer está ocupado, es común que, en el caso que una caja eléctrica no se termine a tiempo para montar en su respectiva máquina (debido a falta de material o material defectuoso), ésta se baje de línea. Posteriormente, cuando la caja electrónica ya esté lista, se vuelve a subir la máquina y se continúa con el proceso de montaje. Con este método, se genera un desperdicio de personal y de tiempo innecesario, aunque es más viable que parar la producción por completo.

- **Movimiento de material no utilizado.** Es muy difícil que todo transcurra sin incidentes y es habitual encontrar faltas de material, productos defectuosos, problemas con proveedores, etc. En caso de que de ocurra alguno de esos contratiempos, se tendrá que hacer un proceso logístico como si se tratara de una nueva orden, generando, nuevamente, pérdidas de tiempo. Además, si se cambia una orden de fabricación cuyo material ya se ha suministrado a línea, dicho material se tendrá que recoger de la línea ya que no va a ser utilizado, lo cual ocasiona movimientos de personal y material innecesarios.
- **Gran espacio ocupado.** Debido a la forma en la que se suministra el material con el sistema actual, el espacio ocupado alrededor de la línea es muy grande. Esto conlleva más movimiento y menos movilidad para los operarios/as y la ocupación de dicho espacio, que se podría aprovechar para realizar otras funciones. En el método de suministro actual se mueve el material necesario en carros de 1x0'5 metros. Para una orden de fabricación hay como mínimo 3 carros por lo que se ocupa un espacio de al menos 1'5 m² además de ocupar carros que están destinados únicamente al movimiento de materiales.
- **Pérdidas de tiempo en colocación de material.** En este método de trabajo, es el operario/a quien coloca el material del carro en la estantería, por lo que se pierde tiempo en movimientos innecesarios. Esto es notorio sobretodo en cambios de órdenes, ya que el operario debe colocar todo el material para fabricar la siguiente orden en la estantería. Además, en el caso de que la anterior orden no se haya completado, deberá recoger todo el material no utilizado y se tendrá que devolver a almacén.
- **Picking en el almacén.** El sistema *push* que existe actualmente requiere un proceso de preparación de material en almacén puesto que se debe preparar el material exacto para cada orden y éstas no están estandarizadas. En este proceso se pierde un tiempo en logística que no añade valor al producto, por lo que deriva en más pérdidas de tiempo generadas por el sistema de producción implementado.

7.2. Capacidad productiva

Como ya se ha mencionado en la etapa de medida, la capacidad actual no permite a la línea E-Box (en los casos de fabricar modelos medianos de 2 compresores y grandes) seguir el ritmo de la línea principal. En los otros dos casos, por lo general sí que puede suministrar al ritmo de la línea.

La capacidad de ambas líneas se muestra en la siguiente tabla:

Modelo	Capacidad línea ppal. (uds)	Capacidad línea E-Box actual (uds)	Capacidad línea E- Box futuro (uds)
Pequeño	39.42	43.61	47.51
Mediano 1 compresor	29.55	31.15	33.95
Mediano 2 compresores	25.37	24.23	26.40
Grande	20.35	19.82	21.59

Tabla 11: Capacidad de las líneas principal y E-Box (actual y futuro)

Como cabía esperar tras ver los tiempos actuales y futuros en la etapa de medición, la capacidad de la línea E-Box aumenta considerablemente (hasta 4 unidades más al día) si se logra eliminar el tiempo destinado al cambio de orden. También se puede ratificar que, independientemente el modelo que se esté trabajando, habrá más capacidad de producción de cajas eléctricas, por lo que siempre se debería de llegar al objetivo.

Además, cabe añadir que se eliminaría la variabilidad que hay actualmente en la producción que viene inducida por el nº de cambios de orden al día. Al no haber dichos cambios de orden, la capacidad productiva siempre será idéntica sin importar cuantas órdenes se tengan en un mismo día.

7.3. Value Stream Mapping ideal

E-box Set Free line – Future VSM

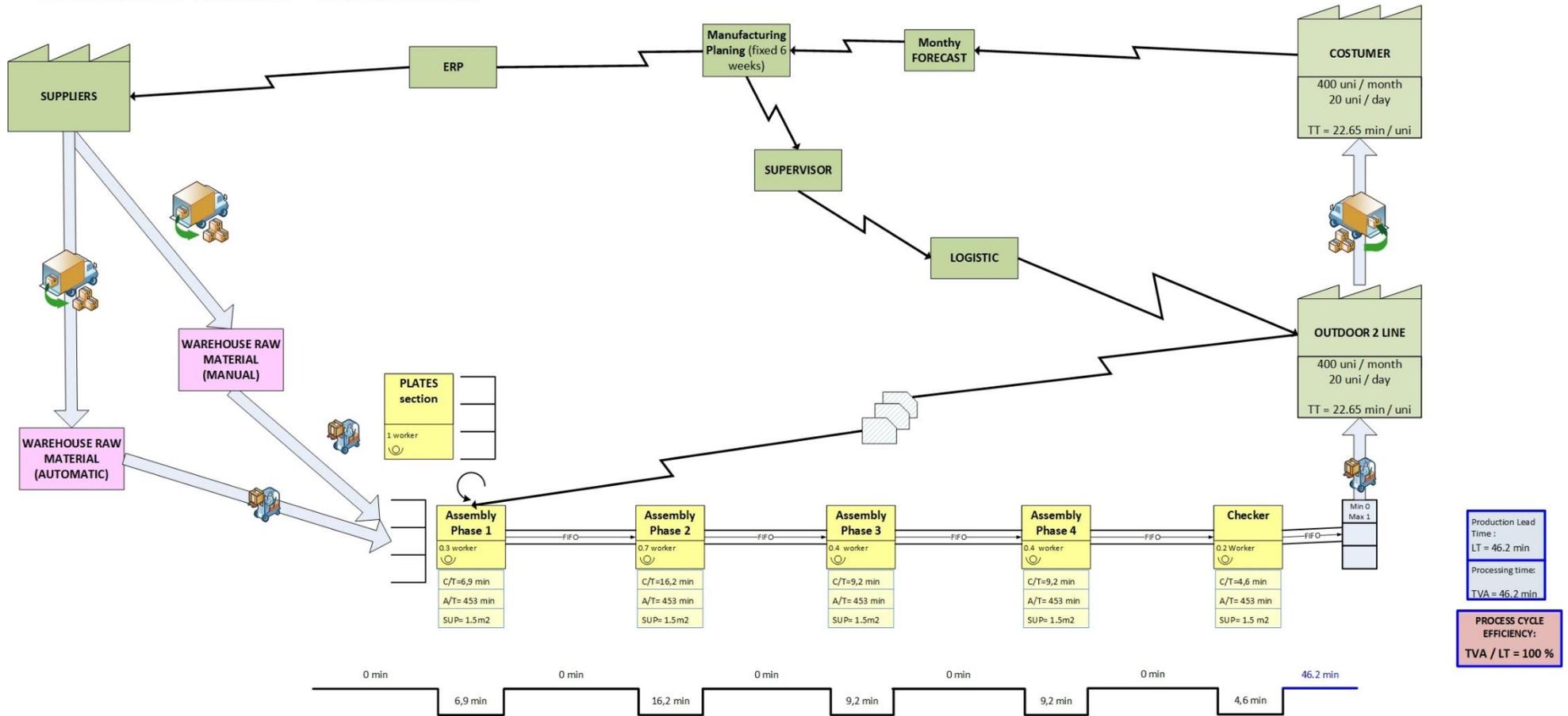


Figura 13: Value Stream Mapping ideal (2h de stock).

Como se puede apreciar en la anterior figura, la eficiencia del proceso en el caso de realizar un supermercado con todo el material (incluyendo las chapas provenientes de estampaciones) se acortaría mucho el *lead time* del ciclo, por lo que aumentaría la eficiencia hasta lograr un valor del 100% (todo el *stock* estaría disponible para ser usado en cualquier momento). Además, al reducir la cantidad de material en línea hasta 2h de *stock* facilita la organización del material, mejorando el rendimiento productivo del operario.

No obstante, como ya se ha mencionado anteriormente, el departamento de logística exige que como mínimo haya 2 días de *stock* en línea suponiendo una producción diaria de 20 uds/día. El problema de almacenar el material en línea es el espacio ocupado y la dificultad en cuanto a la distribución del mismo. Para almacenar el material ya existe un almacén dedicado a ello, con espacio suficiente para albergar todo el *stock* necesario.

Independientemente del *stock* almacenado en línea, en el caso de incorporar el supermercado se podría incorporar también un Sistema productivo *pull* que aprovecharía la flexibilidad de la línea obtenida gracias al *kanban*. De esta manera se mejoraría la comunicación entre cliente y proveedor, permitiendo cumplir con el JIT.

7.4. Costes del estudio

El precio para la realización de este estudio se definirá en función del tiempo total dedicado. Para ello, estandarizará un precio por hora de 20€.

	Tiempo dedicado	Precio total
Realización del Project Charter	10h	200€
Estudio de <i>lean manufacturing</i>	50h	1000€
Estudio de la situación actual	40h	800€
Toma de datos	10h	200€
Presentación de mejoras	15h	300€
Cálculo situación futura	10h	200€
Método para aplicación de mejoras	30h	600€
Metodología de control	8h	160€

Tabla 12: Costes económicos del estudio.

8. Improvement (Mejorar)

8.1. Propuestas y valoraciones

8.1.1. Reducción del desplazamiento del producto

De todas las posibles modificaciones, esta es quizás, la más sencilla de todas. Como ya se ha mencionado anteriormente, la distancia que debe recorrer la caja eléctrica una vez acabada es de 8m. Esta distancia es insignificante si se recorre una vez, pero en el caso del operario/a que realiza esta acción alrededor de 30 veces al día, el valor parece más considerable, y más teniendo que llevar el producto. Así pues, siguiendo el modelo *Lean* en el cual se establece que toda distancia recorrida que se pueda evitar deberá evitarse, se reubicará la línea acortando dicho trayecto. De este modo se propone la siguiente ubicación:

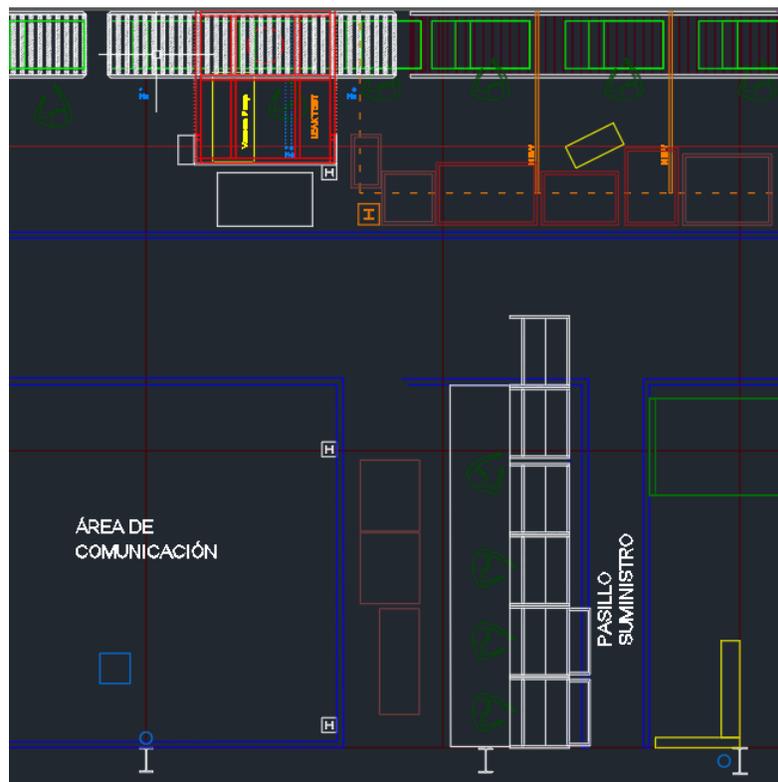


Figura 14: Futura ubicación de la línea

Con esta nueva ubicación se reducirá el trayecto realizado por el operario/a hasta un total de 2 metros. Esto supone una reducción en el recorrido del operario/a de 6m en cada trayecto (un total de 180m diarios). Además se obtienen las siguientes características:

- Aprovechamiento del espacio que ocupa un pasillo que está en desuso, optimizando así el espacio útil.
- Se mantiene la visibilidad de la línea principal. De esta manera el operario/a de esta sub-línea tiene visibilidad clara y directa a la producción de la línea cliente.
- Se incluye un pasillo de reposición. Este pasillo será más estrecho que un pasillo normal (aproximadamente 1 metro).
- Se mantiene el pasillo principal.
- Se genera un espacio libre que se puede explotar, pudiendo aumentar así los beneficios totales de la empresa.

8.1.2. Modificación del sistema de producción

Los contratiempos que conlleva el actual sistema de producción hacen que este sea el foco de atención del proyecto y la parte más importante del mismo. Se considera que el sistema *push* produce demasiados problemas (ya mencionados en los apartados de medición y análisis) y se decide cambiar este sistema. Para ello, siguiendo la filosofía *Lean* se estudiará la implementación de un sistema *pull* añadiendo un método *Kanban* para asegurar un correcto proceso logístico y flujo de información.

Una de las características principales del sistema *Pull* es la capacidad de comunicación entre cliente y fabricante que posee. El cliente es quien 'tira' de la línea, por lo que no será necesaria una planificación tan estricta y se podrá ganar en flexibilidad.

Las cortas órdenes de fabricación, las numerosas líneas de producción de la planta donde se sitúa la línea de producción de la E-Box y la gran variedad de componentes y modelos de E-Box hacen que el sistema de producción ideal a implantar sea un *Supermarket Pull*. De esta manera, por requisitos internos de la empresa, se debe asegurar al menos una autonomía de 2 días de producción (40 cajas eléctricas).

El beneficio de este método respecto al *Sequential Pull System* es la reducción en el número de reposiciones, ya que con un sistema secuencial se tendrían que reponer una gran cantidad de materiales cada vez que haya un cambio de orden. Debido a esta complejidad logística no se estima la implantación de este sistema.

No obstante, el *Supermarket Pull* tiene un problema importante: el espacio ocupado. Tener todo el material en la línea ocupa más espacio que tener solo el material que vas a utilizar a corto plazo. En un hipotético caso en el que el espacio requerido sea menor que el espacio disponible, se

planteará un sistema mixto. Combinando los dos sistemas, se puede realizar un supermercado con los componentes más pequeños y los de mayor dimensión se deberán suministrar en lotes pequeños o incluso individualmente según la fabricación de la línea principal.

Para poder realizar el cambio en el sistema de producción, se debe tener en cuenta:

1. Proceso logístico y de compras.
2. Organización de la producción.
3. Distribución de material en línea.

El primer punto no variará en el caso a estudiar ya que la producción de la línea principal no tiene por qué aumentar ni disminuir. Además el proceso de compra seguirá siendo el mismo ya que es totalmente compatible con el sistema futuro.

El segundo punto sí que se debe de tener en cuenta ya que el orden de la producción varía en función de los requisitos del cliente. En vez de fabricar con el material que se tiene, se fabricará lo que el cliente necesite, por tanto es necesario tener la capacidad de ser flexible y adaptarse a cualquier petición que requiera el cliente con el menor tiempo de reacción posible.

El tercer punto también es muy importante ya que debe estar todo el material en línea. Esto no solo implica mayor grado de ocupación en cuanto a espacio sino que además hay que añadir posibles confusiones para el operario (*PokaYoke*) y dificultad a la hora de manipular el material.

La modificación del sistema de producción junto con la implementación del sistema *Kanban* afectará a las problemáticas detectadas de la siguiente manera:

1. Planificación logística: El cliente manda. Lo que pida el cliente será lo que se tendrá que producir. No habrá una planificación común para ambas líneas de producción (principal y E-Box) sino que cuando la línea principal vaya a producir un modelo, se comunicará con la línea E-Box para que le tenga la caja eléctrica lista en el momento adecuado.
2. *Picking* logística: Con el nuevo sistema *Kanban* el material a suministrar a línea será siempre de la misma cantidad. Se pactará con los proveedores un lote estandarizado para que llegue a almacén directamente con la cantidad que tendrá que ir en línea (evitando conteo de material por parte de personal de logística). De esta manera el tiempo dedicado al *picking* de logística se reduce al mínimo posible.
3. Cambio de orden: Con el nuevo sistema de supermercado, se consigue eliminar por completo el tiempo dedicado a los cambios de órdenes ya que no habrá cambios de orden debido a que se dispondrá de todo el material en línea. Además se reducirá el *Lead time*

de la línea drásticamente ya que todo el material estará disponible siempre, aumentando así la eficiencia de la línea.

El cambio de sistema de producción es un imperativo para reducir desperdicios en línea. Es una de las bases de *lean manufacturing* y una oportunidad de mejora única. La implantación de un sistema *pull* permitiría cumplir con todos los objetivos del cliente. Además, su instauración no sería un gran problema en cuanto a dificultad ya que se disponen de los recursos necesarios. Este sistema, no obstante, requiere del uso del *kanban* por lo que también es imperativo la implementación de este.

En cuanto al movimiento de la línea, es una operación sencilla y barata. Aunque por sí sola no cumpliría con los objetivos establecidos por el cliente y, quizás en cuanto a ahorro y reducción de desperdicios no sería tan efectiva como el cambio del sistema de producción, su fácil y viable instalación hace que valga la pena realizarla.

Cabe recalcar que ambas propuestas pueden ser probadas antes de implantarse completamente:

1. En el caso del sistema productivo *pull*, se pueden hacer pruebas piloto con equipos puntuales, sirviendo el material en forma de supermercado desde *picking* (haciendo suministros extra). En cuanto al *kanban*, se pueden hacer diferentes pasos (de material más sencillo a más complejo) y hacer diferentes pruebas para determinar una cantidad y un tamaño de contenedor que sea fácilmente manipulable tanto para el operario de línea como para el de logística.

Pese a las pruebas que se puedan hacer, hay una mejora que está garantizada: si todo el material está en línea no habrá cambios de órdenes, por lo que no habrá tiempo perdido por esa acción. No obstante, sí caben las opciones de:

- a) Falta de material por sobreproducción.
- b) Dificultad de manipulación del material por falta de espacio ocupado.
- c) Equivocaciones a la hora de coger el material por similitud entre componentes de diferentes modelos.
- d) Pérdida de información por el camino entre línea y almacén.

La solución se verificará si los apartados b) y c) se cumplen. Además, se deberá asegurar que se garantice el *stock* necesario para la producción de 40 unidades y que la pérdida de información entre línea y almacén no sea muy reiterativa.

Como cabe esperar, habrá situaciones que el sistema no pueda soportar y falle. Habrá veces que la información se perderá por el camino y habrá veces que la producción de la

línea principal será tan elevada que no habrá *stock* para garantizar su funcionamiento. No obstante, se consideran acciones muy puntuales y que no afectan a la forma general de trabajar del sistema. Además, debido a la cercanía y facilidad de comunicación entre proveedor y cliente (ambas líneas están separadas por 6 metros y se gestiona por el mismo departamento) se pueden prever estas situaciones y actuar previamente.

2. Para el movimiento de línea, se puede hacer una simulación del movimiento del carro desde el punto futuro hasta la línea principal. Si el tiempo de transporte se reduce significará que el cambio será viable.

8.2. Actuación

8.2.1. BOM (Bill Of Material)

Como se ha mencionado anteriormente, todos los modelos de máquinas se pueden agrupar en 4 grupos según sus dimensiones:

- Pequeño (S)
- Mediano de 1 compresor (M2)
- Mediano de 2 compresores (M1)
- Grande (L)

Estos modelos comparten muchos componentes. No obstante se diferencian en muchos otros y en la cantidad de estos por cada producto. Estas diferencias hacen que el tiempo de montaje de cada grupo sea distinto siendo el más corto el grupo pequeño y el más largo el grupo grande.

Pequeño < Mediano 1 compresor < Mediano 2 compresores < Grande

En el anexo 1 se muestran los componentes de cada grupo y su cantidad.

8.2.2. Estantería de colocación

La estantería que se utilizará para la distribución del material será la que hay actualmente en línea. Para seguir con el estándar de la empresa, la nomenclatura de la estantería será J40 xx yy donde:

- J40 es el número identificador de la estantería.
- xxx será la altura del estante (irá desde el 000 hasta el 020 ya que se avanzará de 10 en 10).
- yyy será la posición del material dentro del estante pertinente.

8.2.3. Sistema *kanban*

Para poder realizar el sistema *pull* en óptimas condiciones, se implantará un método *kanban*. Con este nuevo método se solucionarían los 3 conflictos mencionados en el *Value Stream Mapping* inicial ya que el suministro no dependería de la previsión de fabricación sino de lo que realmente se ha producido (1). Además se estandarizaría un lote de suministro, por lo que no haría falta la manipulación del material en la zona de almacén (2). Por último, al estar todo el material en línea, cada referencia tendrá su ubicación, por lo que el operario se ahorrará tiempo en colocar cada componente del carro a la estantería (3).

Para realizarlo, se deberá determinar una cantidad mínima de material en línea y un tiempo de reposición.

En este caso, para satisfacer los requisitos de *stock* mínimo necesario se debe calcular la cantidad mínima que debe haber de cada material, independientemente del modelo que se produzca. La siguiente tabla resume la cantidad mínima de cada material para garantizar 2 días de autonomía:

DESCRIPCIÓN	CANT. MAX (2d)	DESCRIPCIÓN	CANT. MAX (2d)
E-BOX UNIT S	40	RUBBER BUSHING (F)	80
E-BOX UNIT M (A)	40	RUBBER BUSHING (G)	80
E-BOX UNIT M (B)	40	RUBBER BUSHING (A)	40
E-BOX UNIT L	40	SCREW (A)	1000
TERMINAL BOARD (A)	40	SCREW (B)	80
TERMINAL BOARD (C)	40	SCREW (C)	40
HOLDER	480	NF 161 ASSY (A)	80
INSULATION KIT	80	NF 161 ASSY (B)	80
REACTOR UNIT (A)	40	161FIN ASSY (E)	80
REACTOR UNIT (B)	40	161FIN ASSY (F)	40
REACTOR UNIT (C)	40	161FIN ASSY (G)	40
P0151 ASSY	40	161FIN ASSY (H)	40

SPACER	400	HARNESS UNIT (A)	40
WIRE-SADDLE (A)	160	HARNESS UNIT (B)	40
WIRE-SADDLE (B)	160	HARNESS UNIT (C)	40
HARNESS LIFTER	480	HARNESS UNIT (D)	40
CLAMP	200	HARNESS UNIT (E)	40
CORD BAND	80	HARNESS UNIT (F)	40
RUBBER BUSHING (D)	120	HARNESS UNIT (G)	40
STR PACKING	40	HARNESS UNIT (H)	40

Tabla 13: Tabla de cantidad de materiales para autonomía de 2 días

Como se puede ver en la tabla, hay materiales que necesitan un gran *stock* para poder cumplir con los requisitos de logística. No obstante, son materiales muy pequeños, como tornillos o pequeñas fijaciones de plástico, por lo que pueden hacerse lotes de hasta 1000 unidades en cubetas de 1L.

Viendo las necesidades de material, se puede prever que no todo el material podrá entrar en línea. Hay componentes muy voluminosos que ocupan mucho espacio y más tratándose de 40 u 80 unidades. Dichos materiales pueden agruparse según su tamaño:

GRUPO 1 (Muy Grandes)

E-BOX UNIT S

E-BOX UNIT M (A)

E-BOX UNIT M (B)

E-BOX UNIT L

161FIN ASSY

GRUPO 2 (Grandes)

P0151 ASSY

NF 161 ASSY

GRUPO 3 (Medianos)

REACTOR UNIT (A) (B) (C)

INSULATION KIT

La empresa trabaja con un proveedor de contenedores y no se plantea el cambio de este. Así pues, se dispone de contenedores en forma de cubeta de volúmenes: 1L, 2L, 4L, 8L y 16L.

Por lo que respecta a la reposición, se aprovechará el diseño actual de la línea para garantizar un proceso óptimo. Una vez instalado el sistema *kanban* el reponedor suministrará el material directamente a línea (se aprovechará para hacerlo por la parte de detrás de forma que no moleste al operario). De esta manera se podrá respetar un orden FIFO (First In First Out). La filosofía FIFO garantiza que el primer material que entra en línea será el primer material en ser utilizado.

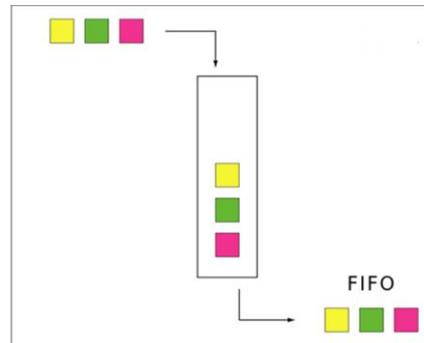


Figura 15: Representación de FIFO.

En la línea de producción de VRF (tanto la principal como la sub-línea E-Box) la reposición se hace en turno de tardes. Sin embargo, el horario de trabajo tiene un turno de mañanas por lo que no hay comunicación entre operario y reponedor. Para garantizar un correcto funcionamiento del sistema *kanban* hay que implementar un sistema de comunicación entre ellos. Sin esta relación no serviría de nada la incorporación de este método ya que el reponedor no sabría cuando reponer y habría numerosas faltas de material.

Con tal de facilitar dicha comunicación, se identificará cada contenedor con:

- Referencia
- Descripción del material
- Estantería de destino (y ubicación en esta)
- Cantidad de material por cubeta
- Tamaño de cubeta
- Código de barras con toda la información anterior

Con dicha información, el operario de logística deberá ser capaz de reponer todos los componentes. Además, se instalará un estante más debajo de cada estantería para dejar los contenedores vacíos.

El proceso es sencillo:

1. El operario trabaja con el material en línea.
2. Cuando un contenedor se vacía, el operario retira el contenedor de su ubicación en línea y lo coloca en cualquier estante de *kanban* vacío.
3. El reponedor pasa por la línea, recoge los contenedores vacíos y los repone dejándolos nuevamente en su posición en línea, respetando la distribución FIFO.

Siguiendo la filosofía *Just In Time* (JIT), salvo los componentes que sean muy frecuentes, baratos y pequeños, no habrá más material en línea que el necesario para garantizar los 2 días de producción.

Para garantizar un correcto control y desarrollo de la modificación se dividirá la actuación en 3 partes (STEPS). De esta manera cada parte contendrá:

- STEP 1: Piezas de plástico y tornillería. Son comunes para todos los modelos y debido a su pequeño tamaño son fácilmente convertibles a *kanban*.
- STEP 2: Cables sin anilla de ferrita. No todos son comunes para todos los modelos y el tamaño de algunos podría ser un problema.
- STEP 3: Material grande y complejo de convertir a *kanban* por falta de espacio. Este último paso agrupa los componentes muy grandes y los cables con ferrita.

8.2.3.1. STEP 1

Para realizar este primer paso, primero hay que estudiar cuántas piezas de plástico y tornillos hay y cuantas unidades se montan en cada máquina. En la tabla del anexo 1 se pueden observar todos estos componentes comunes.

De esta manera, esta primera etapa contemplará los siguientes materiales:

Wire-Saddle (A)
Wire-Saddle (B)
Clamp
Spacer
Band
Screw (A)
Screw (B)
Screw (C)
Harness Lifter
Holder
Housing XA
Housing VH
Cord Band

Todos estos materiales son comunes y además son muy baratos, por lo que son ideales para realizar un primer paso que además puede utilizarse como prueba piloto. Para convertirlos en *kanban*, se debe estandarizar un lote para cada componente que debe cumplir con la autonomía mínima impuesta de 2 días. Para hacerlo, se aplica una ecuación matemática muy sencilla:

Donde:

$$N_{i,2d} = \frac{453 \cdot 2}{t_{máq}} \cdot N_{i,máq}$$

$N_{i,2d}$ = Cantidad de piezas de la referencia i instaladas en la máquina en 2 días.

$t_{máq}$ = Tiempo de producción entre máquina y máquina (Standard Time).

$N_{i,máq}$ = Cantidad de piezas de la referencia i instaladas en 1 máquina

La anterior fórmula debe repetirse por cada modelo de máquina y por cada referencia de pieza. Una vez obtenidos los resultados ($N_{i,2d}$) se comprobará cual es el máximo para cada referencia, dando valor a la situación más desfavorable.

De la tabla 13 se puede extraer la cantidad mínima de material que debe haber en línea para garantizar estos 2 días:

DESCRIPCIÓN	CANT. MAX (2d)
HOLDER	480
SPACER	400
WIRE-SADDLE (A)	160
WIRE-SADDLE (B)	160
HARNESS LIFTER	480
CLAMP	200
CORD BAND	80
SCREW (A)	1000
SCREW (B)	80
SCREW (C)	40
HOUSING XA	40
HOUSING VH	160
BAND	200

Tabla 14: Cantidad de material STEP 1

Por tanto, sabiendo la cantidad exigida de cada material, se realiza un estudio en el que, con unos lotes estandarizados se cumpla siempre esa imposición. La cantidad de piezas en cada contenedor viene directamente relacionada con la cantidad de piezas que viene en cada lote desde proveedor. De esta manera se evitan pérdidas de tiempo en preparar el pedido y se evita modificar la cantidad que entrega proveedor.

Para garantizar que siempre se cumpla con el mínimo exigido, se calcula la cantidad mínima que puede haber en cada caso. Este cálculo se hace en la situación más desfavorable posible, que es cuando haya un contenedor con tan solo 1 pieza en su interior. En este caso, dicho contenedor no será repuesto, por lo que el material que habrá disponible será la suma de las piezas de los demás contenedores y 1 pieza de dicho contenedor.

$$N_{\min} = \text{Capacidad contenedor} \cdot N^{\circ} \text{ contenedores} + 1$$

Por consiguiente, el STEP 1 tendrá la siguiente forma:

Componente	Cantidad exigida	Tamaño de contenedor (L)	Piezas en contenedor	Nº de contenedores	Cantidad mínima
HOLDER	480	2	250	3	501
SPACER	400	2	500	2	501
WIRE-SADDLE (A)	160	2	250	2	251
WIRE-SADDLE (B)	160	2	500	2	501
HARNESS LIFTER	480	2	250	3	501
CLAMP	200	4	250	2	251
CORD BAND	80	1	100	2	101
SCREW (A)	1000	1	1000	2	1001
SCREW (B)	80	1	150	2	151
SCREW (C)	40	1	150	2	151
HOUSING VH	160	2	500	2	501
HOUSING XA	40	1	250	2	251
BAND	200	4	500	2	501

Tabla 15: Cantidad mínima de material para autonomía de 2 horas (STEP 1)

Hay una infinidad de soluciones posibles en cuanto a cantidad de piezas y tamaño y número de contenedores. No obstante se ha focalizado la solución a los lotes estandarizados que hay actualmente para evitar un cambio en el suministro por parte de proveedor.

El tamaño de los contenedores y la cantidad de material que contiene en cada uno se han determinado tras la realización de diferentes pruebas.

Una vez se saben los tamaños de los contenedores y su cantidad, se debe tener en cuenta su distribución en línea. Se buscará primordialmente que cada componente esté ubicado en el sitio más cercano al puesto donde se tenga que montar. Como todavía quedan por definir el STEP 2 y 3, se propondrá una ubicación para el STEP 1 que será temporal, siempre condicionado a los siguientes pasos del proyecto.

De este modo, la distribución será la siguiente:

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
CLAMP	J40 010 010
HOLDER	J40 010 020
HARNESS LIFTER	J40 010 030
WIRE-SADDLE (A)	J40 010 040
WIRE-SADDLE (B)	J40 010 050
SPACER	J40 010 060
SCREW (A)	J40 010 110
SCREW (B)	J40 020 030
SCREW (A)	J40 020 110
CORD BAND	J40 020 120
HOUSING VH	J40 030 020
HOUSING XA	J40 030 030
BAND	J40 040 150

Tabla 16: Tabla de ubicaciones de material (STEP 1)

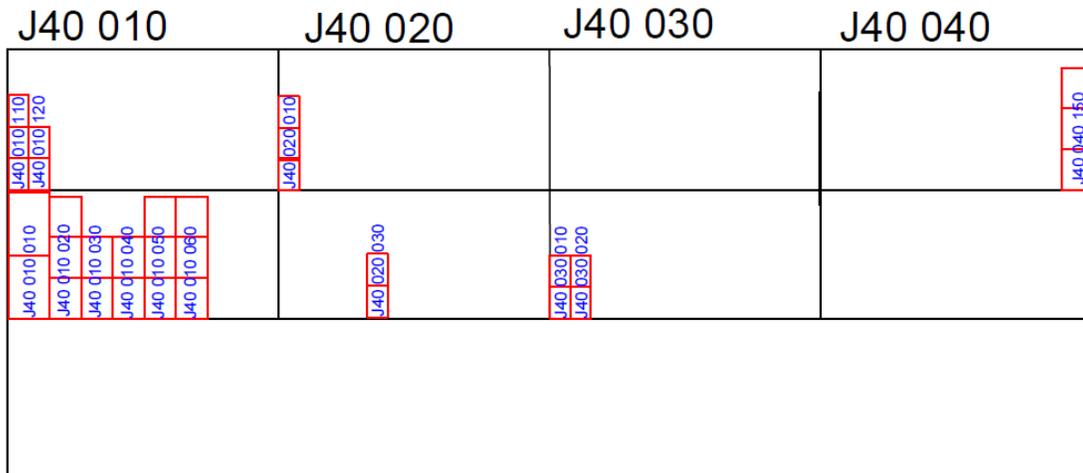


Figura 16: Distribución de las cajas en STEP1.

8.2.3.2. STEP 2

Una vez acabado el STEP 1 (incluyendo el control y validación del método), se pasará al siguiente, el STEP 2. Para entender el porqué del material elegido para este segundo paso, es interesante saber las diferencias entre los dos tipos de cableado: cables que tienen anilla de ferrita y cables que no la tienen.

En este segundo paso, se estudiará el cambio a *kanban* del cableado que no tiene anilla de ferrita ya que es más fácil de almacenar debido a su morfología.

Los cables con ferrita presentan varias problemáticas:

- Mayor espacio ocupado
- Mayor dificultad para ordenarlo
- Mayor dificultad para su manipulación

Todos esos motivos generan una mayor dificultad para el almacenamiento y, por tanto, para su conversión a *kanban*. Por ese motivo se decide realizar la implantación de los dos tipos de cableado en dos pasos diferentes.

De la misma manera que se ha hecho en el STEP 1, lo primero que se hará en este nuevo paso es analizar el material a convertir a *kanban*. En la siguiente tabla se puede ver la cantidad de material que se necesita para abastecer la línea 2 días en la situación más desfavorable.

El cálculo se realiza de la misma manera que en el STEP 1:

DESCRIPCIÓN	CANT. MÁX. (2d)
INSULATION KIT	80
HARNESS PCNC (A)	40
HARNESS PCNC (B)	40
HARNESS CN61 (B)	40
HARNESS CN207	40
EARTH WIRE (A)	40
EARTH WIRE (B)	80
HARNESS NPFV1	40
HARNESS CN14 (A)	40
HARNESS CN14 (B)	40
HARNESS CN14 (C)	40
HARNESS NFCN (A)	40
HARNESS NFCN (B)	40
HARNESS NFCN (C)	40
HARNESS CN62	40

Tabla 17: Cantidad mínima de material para 2 días (STEP 2)

Que el material no sea común para todos los componentes significa que habrá periodos de tiempo en los cuales dicho material no será utilizado. No obstante, eso no influye en nada al estudio ya que, tarde o temprano se utilizará. Además, el sistema implementado no dependerá de los órdenes de fabricación sino del material que ya haya sido utilizado. Por tanto, todas las referencias deberán estar preparadas para cuando se dé el caso más desfavorable.

Una vez se sabe cuál es la cantidad mínima en línea para cada referencia, se determinará un tamaño de lote y el número de contenedores de cada referencia.

Componente	Cantidad exigida	Tamaño de contenedor (L)	Piezas en contenedor	Nº de contenedores	Cantidad mínima
INSULATION KIT	80	8	20	5	81
HARNESS PCNC (A)	40	4	50	2	51
HARNESS PCNC (B)	40	4	50	2	51
HARNESS CN61 (B)	40	4	40	3	81
HARNESS CN207	40	4	50	2	51
EARTH WIRE (A)	40	1	100	2	101
EARTH WIRE (B)	80	2	50	3	101
HARNESS NPFV1	40	8	20	3	41
HARNESS CN14 (A)	40	4	50	2	51
HARNESS CN14 (B)	40	8	50	2	51
HARNESS CN14 (C)	40	4	50	2	51
HARNESS NFCN (A)	40	4	50	2	51
HARNESS NFCN (B)	40	4	50	2	51
HARNESS NFCN (C)	40	4	50	2	51
HARNESS CN62	40	4	50	2	51

Tabla 18 Descripción de los contenedores del STEP 2

Componente	Ubicación
INSULATION KIT	J40 010 150
HARNESS PCNC (A)	J40 020 150
HARNESS PCNC (B)	J40 040 060
HARNESS CN61 (B)	J40 040 160
HARNESS CN207	J40 040 050
EARTH WIRE (A)	J40 020 010
EARTH WIRE (B)	J40 020 020
HARNESS NPFV1	J40 020 140
HARNESS CN14 (A)	J40 040 110
HARNESS CN14 (B)	J40 040 130
HARNESS CN14 (C)	J40 040 030
HARNESS NFCN (A)	J40 040 120
HARNESS NFCN (B)	J40 040 140
HARNESS NFCN (C)	J40 040 020
HARNESS CN62	J40 040 150

Tabla 19: Distribución del material del STEP 2 en estantería.

De la misma forma que en el STEP 1, hay una infinidad de combinaciones posibles. En esta solución se ha intentado mantener en todos los casos el lote estándar que viene de proveedor para evitar cambios y negociaciones con el mismo. Además, se ha focalizado en la fácil manipulación por parte del operario, ya que, al tratarse de cables, en el caso de sobrecargar un contenedor, podrían

producirse enredos y provocar pérdidas de tiempo. El proveedor suministra el cableado en lotes de 10 cables, por lo que los contenedores deben contener una cantidad que sea múltiplo de dicho número.

De igual manera que en el STEP 1, el tamaño de los contenedores y el número de cables que se incluyen en su interior se han determinado tras la realización de diferentes pruebas.

CODIGO	DESCRIPCION
CORD BAND	J40 020 040
HARNESS NPFV1	J40 020 140
EARTH WIRE (A)	J40 020 010
EARTH WIRE (B)	J40 020 020
HARNESS PECNC (A)	J40 020 150
HARNESS CN61 (A)	J40 040 160
INSULATION KIT	J40 010 120
HARNESS CN207	J40 040 050
HARNESS PCNC (B)	J40 040 060
HARNESS CN14 (A)	J40 040 110
HARNESS CN14 (B)	J40 040 130
HARNESS CN14 (C)	J40 040 030
HARNESS NFCN (A)	J40 040 120
HARNESS NFCN (B)	J40 040 140
HARNESS NFCN (C)	J40 040 020
HARNESS CN62	J40 040 150
BAND	J40 040 010

Tabla 20: Ubicación de materiales en línea

8.2.3.3. STEP 3

El tercer y último paso es el más complejo. En esta etapa, se distribuirá todo el material que a priori parece más difícil de almacenar, ordenar y suministrar. Este material incluye:

- Cables con anillo de ferrita
- Material electrónico (PCB, NF, Inverter modul)
- Chapas

Primeramente se actuará sobre los cables con anillo de ferrita ya que son el material más pequeño en cuanto a volumen.

La cantidad mínima exigida para una autonomía de 2 días de estos cables son:

DESCRIPCIÓN	CANT. MÁX. (2d)
HARNESS CN61 (A)	40
HARNESS PCN1 (A)	40
HARNESS PCN1 (B)	40
HARNESS PCN1 (C)	40
HARNESS TBNF (A)	40
HARNESS TBNF (B)	40
HARNESS TBNF (C)	40
HARNESS TBNF (A)	40
HARNESS TBNF (B)	40
HARNESS NPFV2	40
HARNESS MC1 (A)	40
HARNESS MC1 (B)	40
HARNESS MC1 (C)	40
HARNESS MC2 (A)	40
HARNESS MC2 (B)	40

Tabla 21: Cantidad necesaria para STEP 3

Todos los cables, tanto los del STEP 2 como los del STEP 3, se suministran a través del mismo proveedor. El suministro se hace con los mismos tamaños de lote (10 unidades por lote).

Los cables de este último paso son poco manipulables. Se han realizado varias pruebas para colocarlos de la misma manera que los cables del segundo paso, pero no ha resultado viable ya que se suelen enredar entre ellos con mucha facilidad y ocupan un espacio mucho mayor por culpa del anillo de ferrita.

De esta manera, para garantizar un óptimo almacenamiento, se proponen 3 escenarios:

1. Contenedores de 8 litros

El primer escenario contempla el almacenamiento de cada referencia en contenedores de 8 litros. No obstante, solo cabe 1 único contenedor de este tipo en la estantería en línea. Esto implica que para cada referencia habrá 1 contenedor en línea y todos los demás en una estantería extra.

Mediante la realización de pruebas, se determinan los siguientes tipos de contenedores:

Componente	Cantidad exigida	Tamaño de contenedor (L)	Piezas en contenedor	Nº de contenedores	Cantidad mínima
HARNESS CN61 (A)	40	8	20	3	41
HARNESS PCN1 (A)	40	8	20	3	41
HARNESS PCN1 (B)	40	8	20	3	41
HARNESS PCN1 (C)	40	8	20	3	41
HARNESS TBNF (A)	40	8	20	3	41
HARNESS TBNF (B)	40	8	20	3	41
HARNESS TBNF (C)	40	8	20	3	41
HARNESS TBNF (A)	40	8	20	3	41
HARNESS TBNF (B)	40	8	20	3	41
HARNESS NPFV2	40	8	20	3	41
HARNESS MC1 (A)	40	8	20	3	41
HARNESS MC1 (B)	40	8	20	3	41
HARNESS MC1 (C)	40	8	20	3	41
HARNESS MC2 (A)	40	8	20	3	41
HARNESS MC2 (B)	40	8	20	3	41

Tabla 22: Descripción de los contenedores del cableado del STEP 3

Componente	Ubicación
HARNESS CN61 (A)	J40 030 030
HARNESS PCN1 (A)	J40 030 040
HARNESS PCN1 (B)	J40 030 140
HARNESS PCN1 (C)	J40 030 130
HARNESS TBNF (A)	J40 030 110
HARNESS TBNF (B)	J40 030 120
HARNESS TBNF (C)	J40 030 050
HARNESS TBNF (A)	J40 030 060

HARNESS TBNF (B)	J40 030 160
HARNESS NPFV2	J40 030 150
HARNESS MC1 (A)	J40 030 010
HARNESS MC1 (B)	J40 030 020
HARNESS MC1 (C)	J40 020 160
HARNESS MC2 (A)	J40 020 150
HARNESS MC2 (B)	J40 020 060

Tabla 23: Ubicación cableado STEP 3.

Como se puede ver en la anterior tabla 22 se necesitan 3 contenedores de 8L para cada referencia. Esto implicaría la creación de una estantería para almacenar 2 contenedores por referencia.

Cabe destacar que, aun siendo viable este sistema, los cables dentro del contenedor caben de manera muy justa y es muy frecuente que se enganchen varias unidades.

2. Colgadores

El problema que presentan estos cables para el almacenamiento es su longitud y el anillo de ferrita. En este segundo escenario se presenta algo muy distinto a las demás: aprovechar el anillo de ferrita para colgar el cable mediante un gancho. De esta manera se puede aprovechar más el espacio verticalmente.

Se plantea utilizar ganchos de 200mm que contengan los cables en lotes de 6 unidades (1 gancho = 6 cables). Los ganchos vendrán preparados desde proveedor y serán retornables, por lo que cuando lleguen planta ya estarán listos para trabajar con ellos.

Para que el sistema de ganchos pueda funcionar se debe de crear un sistema en línea que sea capaz de almacenarlos y ordenarlos. Con el fin de conseguir esto se diseña la siguiente estructura:

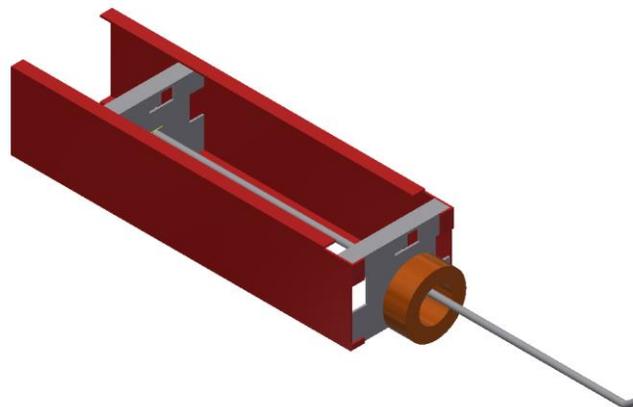


Figura 17: Estructura colgador

La figura 17 muestra un sistema con 2 colgadores de 6 cables cada uno. Este sistema, pese a agrupar todas las referencias en un espacio más pequeño y aprovechar el espacio vertical y facilitar la manipulación del cable, la estructura que se tiene que implementar en línea es demasiado grande. Llegados aquí se proponen 2 alternativas:

- Hacer una estantería externa y que sea el operario quien reponga desde detrás.
- Hacer una doble estantería que pueda subir/bajar según el material disponible.

En la primera opción, se considera que se añade demasiado tiempo al operario que no añade valor al producto. Esto es debido a que el operario deberá reponer una media de 4 veces al día cada referencia, es decir aproximadamente 30 veces. Por tanto, esta solución es contraproducente para el proyecto que se quiere desarrollar, por lo que quedará descartada.

En el caso de hacer una doble estantería se aprovecharía aún más el espacio vertical disponible. Para realizarlo, se deberá crear un sistema guiado con poleas que sea capaz de, mediante una aportación de fuerza por parte del operario, pueda ascender o descender la estantería.

Este sistema tiene un problema. Para poder subir o bajar las estanterías, el operario debe de hacer una fuerza. Esta fuerza dependerá del peso a levantar (las dos estanterías). El peso de estas, es demasiado elevado como para que el departamento seguridad (*Health Care*) dé el visto bueno a su aplicación. Normalmente, en estos casos se incorpora un contrapeso al sistema, reduciendo el peso a levantar. El contrapeso puede ser como máximo igual de pesado que el peso fijo de la estructura, es decir, en ningún caso puede pesar más el contrapeso que el peso a levantar. El peso que varía en esta estructura es el del cableado. Cuando la estantería está llena pesa alrededor de 60kg (+ estructura) y cuando está vacía 0kg (+ estructura). Por tanto, el operario, cuando la línea esté llena deberá levantar hasta 60kg. Este peso sigue siendo demasiado elevado.

Como último recurso se propone utilizar neumática o un sistema de poleas. De esta manera, el problema de la fuerza que realiza el operario se elimina. No obstante, se cree que ambas soluciones son demasiado caras y complejas en relación a las ventajas que se aportan, por lo que también serán descartadas.

3. Contenedores directos de proveedor

La tercera opción que se propone es la de pedirle a proveedor que cambie el método de suministro. La idea es que en vez de que el proveedor suministre como actualmente (lotes de 10 cables dentro de un envoltorio de plástico) lo suministre en una caja de cartón con las dimensiones adecuadas para insertarse en línea. En los contenedores, habrá una especie de rejilla que separará los cables individualmente para evitar enredos.

Con esta alternativa, además de reducir el tiempo en línea, se reduce en logística ya que a la hora de extraer un lote del almacén, este vendrá ya preparado para insertarse en línea, por lo que no habrá nada de manipulación por parte del operario. El método no es un *kanban* con el proveedor ya que no hay comunicación constante con el mismo sino que los pedidos seguirán siendo de la misma forma que se hace actualmente y únicamente variará la forma de suministrar el material. Los contenedores deben ser de un material desechable ya que el proveedor está a una larga distancia, por lo que no es viable el retorno de los contenedores.

La implementación de esta opción está sujeta a proveedor ya que deberá cambiar el método de entrega. De esta manera se negociará con la empresa proveedora para el nuevo método de suministro.

PCB, Noise Filter e Inverter Modul

Los componentes electrónicos de la E-box tienen 3 inconvenientes: son grandes, son caros y vienen desde China.

La situación a la que se debe llegar para garantizar una autonomía de 2 días es la siguiente:

DESCRIPCIÓN	CANT. MÁX. (2d)
NF 161 ASSY (A)	80
NF 161 ASSY (B)	80
161FIN ASSY (E)	80
161FIN ASSY (F)	80
161FIN ASSY (G)	40
161FIN ASSY (H)	40

Tabla 24: Cantidad mínima para 2 días de componentes electrónicos (STEP 3)

Según políticas de empresa, el *kanban* no puede aplicarse en componentes que superen un cierto precio. Estos componentes lo superan holgadamente.

Aun pudiendo hacer una excepción, los productos vienen desde China, por lo que para abaratar al máximo los precios por los portes, el suministro está planificado con mucha antelación (hasta 1 año). Por este motivo, se necesita llevar un control muy exhaustivo del *stock* disponible en planta. En el caso de convertirlo en *kanban*, habría un *stock* 40 u 80 unidades por referencia (depende la cantidad mínima en línea necesaria de cada referencia). Este *stock* en línea no está contabilizado en el ERP y no puede estarlo (por la manera de trabajar de este), por lo que se genera una incertidumbre de hasta 120 unidades (como se ha explicado anteriormente, el *stock* se descuenta del ERP cuando el producto final está acabado). Se considera que 120 unidades es demasiada incertidumbre para este componente, por lo que no es posible pasarlo a *kanban*.

Aun así, se diseñará un cajón debajo de línea para almacenar tanto el *Noise Filter* (NF) como la PCB cuando se disponga de ellos. Los *Inverter Modul* no se suministrarán en esta zona ya que se suministran en cajas individuales y son demasiado voluminosos. El diseño se hará para que el operario pueda coger el material por la parte de arriba de la línea. En el caso de que esta parte esté obstruida, el mismo operario podrá abrir el cajón.

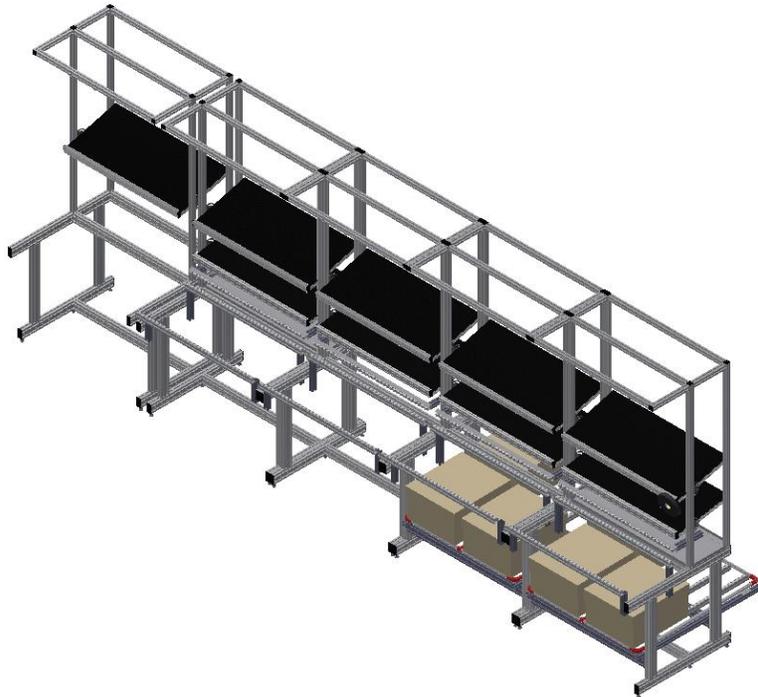


Figura 18: Esquema de la línea con los cajones.

Por tanto, el suministro de los componentes electrónicos se realizará de la misma manera que se ha hecho hasta ahora. No obstante, los *Noise Filter* y PCB se ubicarán en dos cajones instalados en la parte inferior de la línea.

Chapas

El cuerpo exterior de chapa es el componente más voluminoso de toda la E-Box. Hay 4 modelos diferentes de esta pieza. Cada caja electrónica monta su correspondiente cuerpo. Por tanto, para garantizar una autonomía de 2 días, se deberán tener 40 chapas de cada modelo.

Viendo las dimensiones de cada pieza se puede prever que no será posible almacenar todo el material en línea. Es más, no se puede almacenar ni tan sólo 5 unidades de cada modelo. Debido a estos problemas de volumen, se decide suministrar estas piezas de la misma manera que se ha hecho hasta la fecha.

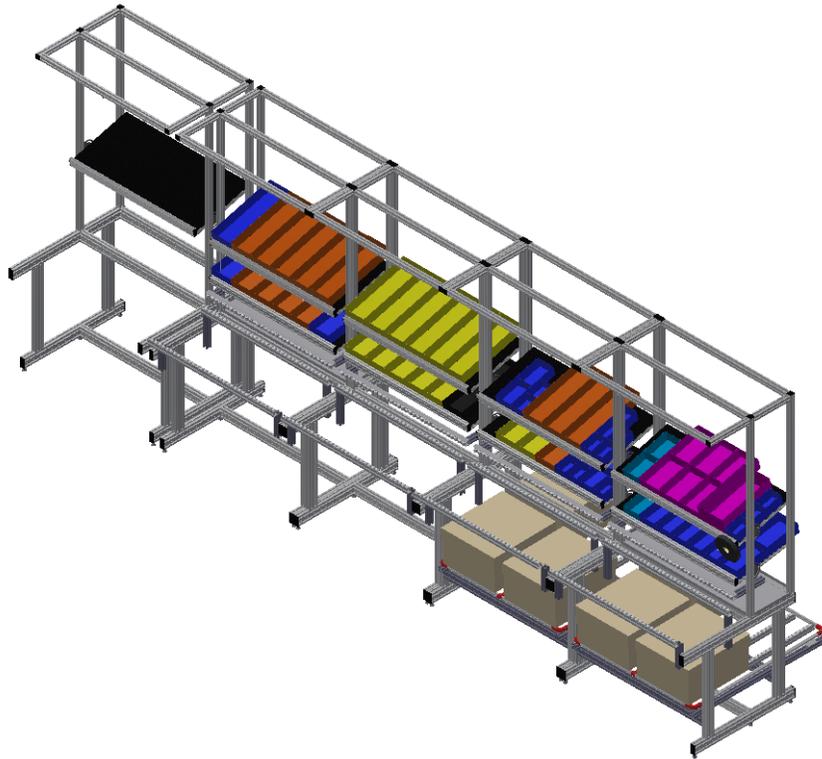


Figura 19: Distribución final de la línea E-Box

8.2.4. Sistema pull.

Para la implementación del método *pull* se hará lo siguiente:

1. Se instalará una etiqueta con un código de barras en el pallet que va debajo de la máquina. Este código definirá la máquina que se va a producir en este pallet (cabe destacar que el pallet es la primera parte de la máquina que se ubica en línea).
2. Se colocará un ordenador junto a un lector de códigos de barras al principio de la línea de producción principal. El operario situado en esta estación se encargará de leer el código de barras del pallet referido en el punto 1. La información leída será enviada vía internet hasta la línea E-Box.
3. Se instalará otro ordenador, con un monitor, lector código de barras e impresora en la línea E-Box. Este sistema recibirá la información del punto número 2 y la mostrará por el monitor. Cuando el operario vaya a realizar una caja eléctrica, deberá imprimir una etiqueta con un código de barras que definirá el producto que está fabricando.



4. En el momento que se deba instalar (en la línea principal) la caja eléctrica a la máquina a producir, se leerán ambos códigos y deberán coincidir (el sistema comprobará en Baan que la caja producida corresponde al modelo de la máquina). De esta manera se creará un *PokaYoke*.

9. Control

9.1. Método de implementación de las soluciones

Para implementar las soluciones propuestas, se deberán involucrar los departamentos de logística, producción, ingeniería y mantenimiento. Los tres primeros deberán dar el visto bueno a toda modificación realizada, así como el jefe de línea.

Para el movimiento de la línea, ingeniería deberá preparar todos los planos e información necesaria y mantenimiento deberá realizar las acciones pertinentes para transformar dicha información en realidad.

Para la implantación del *kanban* se deberán introducir todos los datos identificativos de cada material en el sistema logístico. Además se deberá identificar cada contenedor con la etiqueta pertinente. Una vez realizado este proceso, se deberá hacer una pequeña formación a los operarios involucrados (en línea y logística) para que adquieran los conocimientos necesarios para desarrollar el nuevo método de trabajo de forma correcta. Una vez hechos todos los pasos anteriores, se pondrá en funcionamiento el sistema (STEP por STEP).

En cuanto al sistema *pull*, se deberá crear un programa informático que realice la lectura del código de barras en la línea principal y comunique la información pertinente a la línea E-Box. Además, se deberá implantar el *hardware* necesario para llevar a cabo tal acción (*Raspberry*, lector de códigos de barras y pantalla o TV). Con todo el equipo y el *kanban* instalados, se hará una pequeña formación sobre la nueva metodología de trabajo a todos los operarios implicados (línea). Después de realizar las pruebas pertinentes para garantizar el correcto funcionamiento del sistema se implementará completamente. En el periodo de prueba es indispensable llevar un control exhaustivo de la situación. No obstante mientras se esté realizando la prueba, se seguirá produciendo con el sistema actual para minimizar errores y paros de línea.

9.2. Control del nuevo proceso

9.2.1. Sistema *pull*

Para controlar el nuevo proceso es indispensable hacer primero un periodo de prueba. Implementar un sistema de producción no es sencillo y puede dar pie a múltiples errores, paros de línea y defectos de calidad entre otros.

En este periodo de prueba, se trabajará siguiendo el sistema productivo actual. No obstante, el primer operario de la línea de producción principal, leerá el código de barras de cada máquina que empiece a fabricar y el operario de línea E-Box comprobará que la máquina que debe producir encaja realmente con la que está produciendo. En el caso de que esta no coincida, se guiará siempre por lo que marca la planificación (tal y como indica el método actual). Una vez comprobados todos los modelos (o al menos los que supongan un 95% de la producción total) y haya transcurrido al menos 1 mes sin fallos, se implementará el sistema *pull* como sistema de producción.

Una vez finalizado el periodo de pruebas, el jefe de línea puede comprobar que el sistema funciona correctamente ya que, en caso de error de coincidencia entre caja eléctrica y máquina, el test comercial detecta una anomalía.

9.2.2. *Kanban*

En cuanto al *kanban*, el operario tiene contacto directo con todo el material de manera continua, por lo que detectará cualquier anomalía como falta de material o problemas de manipulación entre otros. De esta manera, es muy importante una correcta comunicación del jefe de línea con el operario para poder llevar un seguimiento del método.

9.3. PokaYoke

9.3.1. Sistema *pull*

El sistema *pull* puede presentar fallos. Estos fallos se traducen en paros de línea, defectos y errores. Para evitarlo, se realiza el proceso comunicativo informáticamente con un sistema comunicado con el ERP (fuente de información global de la empresa). En caso de error, el test comercial lo detectará, por lo que ninguna máquina saldrá de la planta con un error de coincidencia entre máquina y caja eléctrica (sí se generarían retrabajos).

Además, habrá instalado un sistema de códigos de barras que detectarán (sin necesidad de test comercial) que cada caja eléctrica coincide con la máquina a la que se está instalando.

9.3.2. *Kanban*

Para garantizar los mínimos errores generados por el sistema *kanban* se aplicarán una serie de *PokaYokes*:

1. Etiqueta identificativa: Para cada contenedor se le aplicará su correspondiente etiqueta identificativa. Esta etiqueta tendrá incluida la información suficiente para la correcta manipulación de dicho contenedor. Además, incorporará un código de barras que permitirá al operario de logística operar con la cubeta con un lector de códigos de barras, por lo que el error en la reposición es mínimo.
2. Organización del material: Con tal de evitar confusiones de material a la hora de ensamblarlo, se distribuirá por las estanterías de manera que el material que sea muy similar uno de otro queden separados. Además, se intentará agrupar todo el material según el modelo de caja eléctrica al cual correspondan, respetando siempre el orden de ensamblaje.
3. Tapas en los contenedores: El material que sea más susceptible a equivocaciones y errores incorporará una tapa móvil. De esta manera, cada vez que el operario vaya a fabricar un modelo diferente, deberá tapar y destapar cada contenedor, enfocando así la atención en montar el material correcto.

9.4. Método de medición

El método de medición del sistema de producción *push* es también válido para este nuevo sistema. No obstante, hay que tener en cuenta que este nuevo sistema es más estable ya que presenta cambios de orden muy reducidos en comparación al anterior (solo hay que autosuministrarse la chapa).

9.5. Value Stream Mapping Futuro

E-box Set Free line – Future VSM

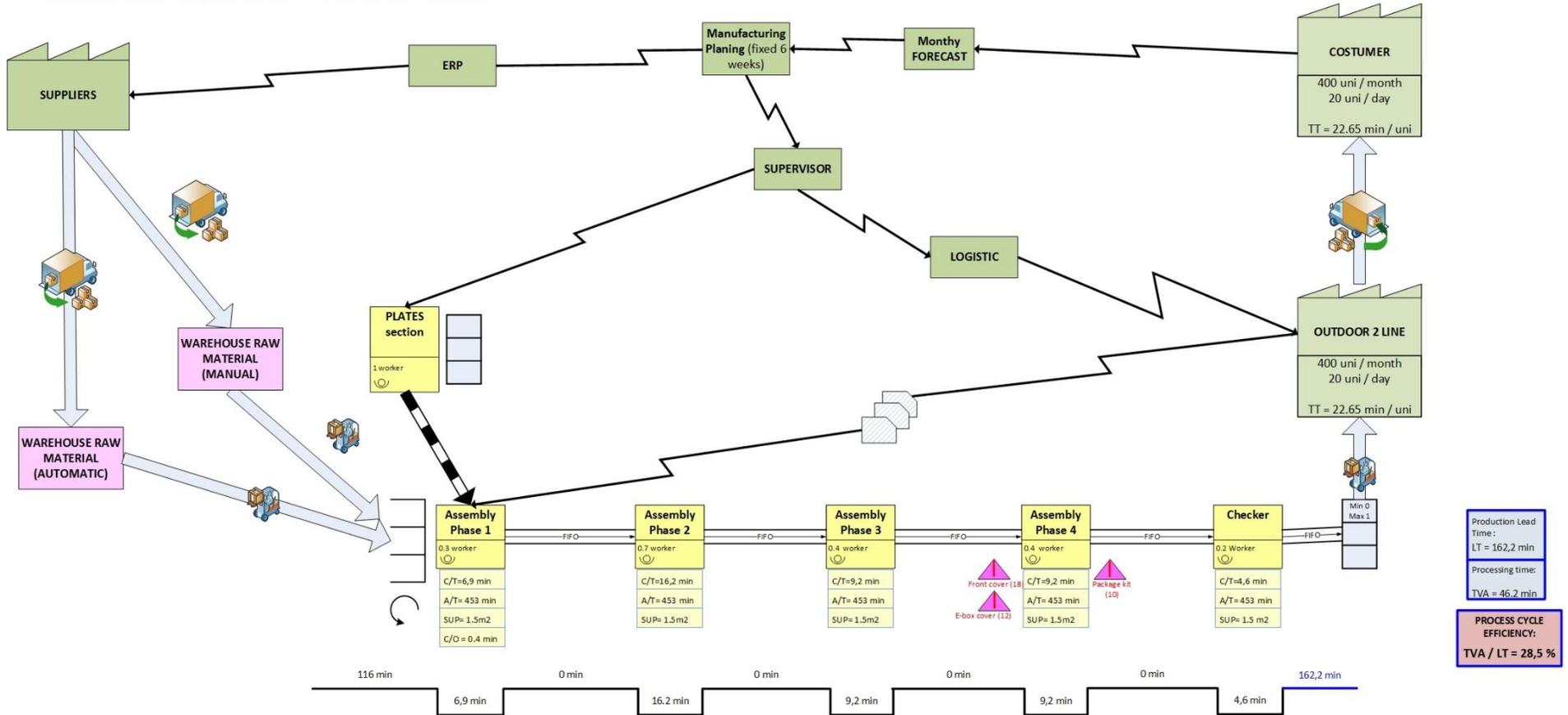


Figura 20: Value Stream Mapping del estado futuro

Como se puede observar en el *Value Stream Mapping* del estado futuro, se reduce drásticamente el *lead time* que se tenía inicialmente. Se puede apreciar también que se cumple el objetivo marcado desde el principio y el aumento de la eficiencia de la línea. No obstante, no se puede llegar a la situación ideal debido al tiempo perdido en el stock de chapas, añadiendo 116 minutos al *lead time* total y marcando la diferencia respecto al tiempo de proceso.

9.6. Capacidad del nuevo proceso

El nuevo proceso únicamente contempla una acción en la cual no se añade valor al producto. Así pues, se mejorará mucho la producción en la línea pero no se llegaría a la capacidad máxima que esta tiene. El movimiento del operario desde la línea hasta estampaciones por tal de abastecerse de las chapas necesarias se estiman que ocupan un tiempo no productivo de 2 minutos. Este movimiento se produce cada 5 unidades por lo que se realiza 4 veces al día. Así pues el tiempo perdido al día por este transporte es de 8 minutos o lo que es lo mismo: 0.4 minutos por unidad producida.

Modelo	DL principal (min)	DL E-Box(min)
Pequeño	11.62	9.8
Mediano 1 compresor	15.50	13.7
Mediano 2 compresores	18.05	17.6
Grande	22.50	21.6

Tabla 25: Comparativa DL principal vs DL E-Box con la mejora implementada

Como se puede apreciar en la anterior tabla, pese a no lograr las condiciones previstas en el apartado de análisis, se lograría reducir el DL significativamente y se lograría cumplir el objetivo principal: poder abastecer la línea cliente para cualquier modelo.

9.7. Posibles mejoras futuras

Para la realización de este estudio solo se han contemplado las acciones necesarias para satisfacer el requisito del cliente que se ha propuesto. No obstante hay muchas posibles actuaciones en la línea por tal de mejorar su funcionamiento, ya sea aumentando la productividad, disminuyendo defectos o ahorrando en recursos.

Desde el punto de vista personal, creo que este estudio puede continuarse con la implementación del sistema ideal que se propone en la parte de análisis, convirtiendo el *kanban* de 2 días de autonomía hasta un máximo de 2h con la finalidad de aligerar la línea de material e incluyendo un supermercado de chapas o bien otro método que permita reducir el *lead time* generado por este material.

Por último, se recomienda realizar un proceso de *kanban* directo con proveedor. Este sistema mejoraría mucho el proceso burocrático y de comunicación entre proveedor y cliente, reduciendo tiempos y ajustando el suministro a la producción real.

10. Conclusiones

La valoración, dentro de la empresa, de este estudio es muy positiva. Aun en el caso en el que no se llegue al objetivo marcado (es factible llegar) los beneficios están asegurados. Así pues, se destaca la viabilidad en la aplicación de este estudio y se recomienda su realización.

En cuanto a lo personal, destaco la gran complejidad que forma la agrupación de pequeños problemas que por sí solos parecen sencillos de resolver. Esto se ha demostrado principalmente en la implementación del *Kanban* y la distribución del material, ya que debido al reducido espacio ocupado y la gran cantidad de material a almacenar ha resultado muy dificultoso poder hallar una solución en la cual se pudiera hacer un supermercado.

Tras la realización de este estudio, siento que he aprendido mucho sobre la filosofía *lean manufacturing* y me he dado cuenta de la importancia que tiene esta en la industria actual. No se trata de producir más sino de producir mejor. Además, desconocía técnicas y filosofías como *kanban*, *PokaYoke*, *Kaizen* e incluso las 5s. Estos son procesos que en la mayoría de casos son sencillos de aplicar y que mejoran mucho el proceso productivo a la vez que reducen mucho los costes. Por otra banda, pese a conocer algunos términos de *lean manufacturing* como *just in time* o sistema *push* y *pull*, desconocía muchas propiedades que estos poseían.

Más allá de lo aprendido con estas técnicas, valoro muy positivamente el conocimiento adquirido a la hora de realizar un estudio. Con la realización de este trabajo, he aprendido a realizar correctamente un estudio con todas sus etapas, dándole importancia a todas ellas, aunque a simple vista parezcan menos importantes e incluso imprescindibles. Un trabajo organizado facilita mucho la toma de decisiones y la visualización de puntos a mejorar.

11. Bibliografía

Manuel Rajadell, José Luis Sánchez. *Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad*. Barcelona, Ediciones Díaz de Santos, 2010. ISBN: 9788479789671.

James P. Womack, Daniel T. Jones, Daniel Roos. *La máquina que cambió el mundo*. Massachussets, McGraw-Hill, 1992, ISBN: 8476159218.

Gisela Rocha, Anabela Alves, Fernando Braga. *Implementação de um Sistema pull numa linha de montagem de componentes electrónicos* [En línea]. Braga, 2011. [Consulta el 15 enero 2019]
Disponible a: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/>

Rafael Ruiz Usano, M.Á. Muñoz Pérez. *Sistemas de control push-pull. Un estudio comparativo* [En línea]. Sevilla, 2001. [Consultado el 19 enero 2019]. Disponible en: <https://idus.us.es>

C.M. García Macías. *Aplicación LEAN MANUFACTURING a una célula autónoma de fabricación de piezas de CN* [En línea]. Sevilla, 2016. [Consultado el 19 de enero de 2019]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/>

E. Pérez López, M. García Cerdas. *Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores Fanal* [En línea]. Costa Rica, 2014. [Consultado el 23 de enero de 2019].
Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr>

A. Sophie Tejada. *Mejoras de lean manufacturing en los sistemas productivos* [En línea]. Santo Domingo, República Dominicana, 2011. [Consultado el 24 de enero de 2019]. Disponible en: <http://repositoriobiblioteca.intec.edu.do>

Progressa Lean, *Progressa Lean* [En línea]. Valencia, 2019. [Consultado el 1 de febrero de 2019].
Disponible en: www.progressalean.com

Hitachi. *Hitachi Air Conditioning* [En línea]. Barcelona, 2019. [Consultado el 10 de mayo de 2019].
Disponible en: www.hitachiaircon.es