



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**RESUMEN TRABAJO FIN DE MASTER EN LOGÍSTICA**

# **Optimización de las líneas de ensamblaje de las pedaleras B-58 y B-9 en Sofedit España S.A. mediante técnicas de Lean Manufacturing.**

Autor: Roberto Delso del Río

Tutor: Ángel Manuel Gento Municio

Valladolid, Julio 2013

# Resumen

La idea de realizar el presente trabajo sobre optimización de líneas de producción nació en mi periodo de prácticas del Máster de Logística en la empresa del sector de la automoción Sofedit Ibérica S.A. en su planta de Valladolid. Esta empresa tenía la necesidad de analizar la situación en la que se encontraban sus dos líneas de producción de pedaleras (modelos B-58 y B-9), para optimizar su funcionamiento debido a que se presentaban nuevos escenarios en la demanda del cliente. En este sentido, la demanda del modelo B-58 estaba bajando considerablemente. Se necesitaba pasar de una producción de 900 unidades diarias a 200 unidades del modelo B-58-M (manual) y 200 unidades del modelo B-58-A (automático). Por otra parte, se necesitaba incrementar la producción del modelo de pedaleras B-9 de 600 a 900 unidades diarias. La solución implantada por la empresa fue, debido a que la capacidad de producción de la línea B-9 era inferior a la demanda, en primer lugar establecer un turno y medio de trabajo. Debido a diversos motivos, se rediseñó la línea de pedaleras B-58 para que pudiese también producir el modelo B-9. Para ello, el operario de carcasas de la línea B-9 ensamblaba las mismas, se almacenaban y posteriormente se aportaban a las dos líneas.

Además de no tener capacidad suficiente para cumplir con la demanda del cliente, existían otros aspectos a mejorar. Por ejemplo, el sistema de aprovisionamiento de los componentes 2 y 3 del puesto del operario de carcasas de la línea de pedaleras modelo B-9 estaba mal planteado, ya que había un gran desperdicio de tiempo, lo cual no aporta valor al producto. También, ambas líneas para la producción de los tres tipos de pedaleras estaban desequilibradas. Es decir, los puestos de trabajo tenían una carga de trabajo bastante diferente. Añadir, que era necesario el almacenamiento de las carcasas y su posterior aprovisionamiento. En algún caso dicho aprovisionamiento era 100% exterior y en otros era mixto: parte de ellas se tomaban del mismo operario de carcasas y otras de contenedores previamente almacenados. Este modo productivo, llevaba a una gran cantidad de inmovilizado y una necesidad mayor de superficie de suelo industrial.

A otro nivel de importancia, existían otras posibilidades de mejora en ciertos puntos como el aprovisionamiento de ciertos componentes, mejora del orden general y gestión de las líneas, en la estandarización de puestos de trabajo, etc.

Por tanto, mejorando estos factores clave, se podría cumplir con la demanda, aumentaría la productividad, la flexibilidad de las líneas, se reduciría el inventario en curso y la superficie necesaria para el proceso de montaje, así como se mejoraría la ergonomía de ciertos puestos de trabajo, reducción del capital inmovilizado por inventarios, etc.

Por ello, se puede establecer que el objetivo principal del presente trabajo fin master es la optimización de las líneas de ensamblaje de las pedaleras B-58 y B-9 en Sofedit España S.A. mediante técnicas de Lean Manufacturing. Siendo los siguientes objetivos considerados como secundarios:

- Analizar las condiciones actuales del proceso de las líneas de ensamblaje de pedaleras, considerando maquinaria, mano de obra, etc.
- Identificar los procesos y las tareas, tanto principales como auxiliares, en el proceso de ensamblaje de pedaleras.
- Determinar los tiempos de ciclo reales mediante la aplicación de un estudio de tiempos de los modelos B-58-M, B-58-A y B-9, comparándolos con los tiempos teóricos.
- Determinar el porcentaje de eficiencia de cada operario implicado en el proceso de ensamblaje de todos los tipos de pedaleras.

- Realizar el diagnóstico de la situación actual de las líneas de ensamblaje de pedaleras en la planta, que permita ver oportunidades de mejora.
- Estudio de herramientas de la filosofía del lean manufacturing en la empresa con el propósito de mejorar el proceso productivo de las líneas de ensamblaje de pedaleras.
- Aplicación de determinadas herramientas de lean manufacturing en las líneas de ensamblaje de pedaleras, con el fin de eliminar los tipos de despilafarro diagnosticados.
- Establecer una cantidad económica de lo que costaría el estudio y el diagnóstico para la optimización de las líneas de ensamblaje de las pedaleras B-58 y B-9 en Sofedit España S.A. mediante técnicas de Lean Manufacturing.

Para lograr la consecución de estos objetivos, en un primer momento se realizó una búsqueda de información acerca de la filosofía del lean manufacturing. Posteriormente, se analizaron que conceptos y herramientas lean eran los más fáciles de implantar y que conllevaban un mayor índice de mejora. En este momento, aparecieron el equilibrado de líneas de fabricación, el estudio y toma de tiempos, la estandarización de puestos de trabajo, las cinso S y la gestión visual.

Sin embargo, existen otras muy interesantes, pero que por su complejidad o su necesidad de un amplio marco temporal no resultaban tan atractivas para un primer proceso de optimización. En este grupo se encuentra la SMED. Ésta permitiría disminuir el tiempo de los cambios de utillaje entre cambios de modelo, lo que llevaría consigo un mayor ajuste a la demanda del cliente. Otra herramienta muy útil sería el value stream mapping (VSM). Éste mejoraría la comprensión de cómo se relacionan los distintos departamentos, unidades operativas, etc. ante un determinado proceso. Facilitaría examinar el proceso y determinar dónde y por qué se producen fallos importantes. Además, serviría de base para otras mejoras relacionadas con el lean manufacturing. En cuanto a la herramienta kanban, sería de gran utilidad introducir la para reducir al máximo stocks, evitar pérdidas de material, desperdicios, para facilitar el control del aprovisionamiento, etc.

Por otro lado, para una mejor transmisión de la información del análisis del estudio, se ha descrito, tanto gráficamente como por escrito, el lugar de aplicación del proyecto. Así, se presenta de una forma general la empresa Sofedit España S.A. dentro del grupo Gestamp Automoción, para posteriormente centrarse en las características de las líneas de pedaleras B-58 y B-9 a estudiar, así como los procesos productivos necesarios para obtener el producto final.

Una vez situado la delimitación física del proyecto, se pasa a describir cómo fue la implantación de las herramientas de lean manufacturing recogidas anteriormente en la línea de ensamblaje de pedaleras B-58-A, modelo automático; en la línea de ensamblaje de pedaleras B-58-M, modelo manual; en la línea de ensamblaje de pedaleras B-58 para la fabricación del modelo B-9; y a la línea de ensamblaje de pedaleras B-9. Se hizo una primera aproximación a la situación inicial de las anteriores líneas. Posteriormente, se llevó a cabo el equilibrado de cada una de las líneas. Para ello, se enumeraron las operaciones principales y auxiliares de cada uno de los puestos de trabajo y se hizo una toma de tiempos, para determinar el tiempo de ciclo en cada estación de trabajo. Los tiempos de ciclo de las operaciones principales están recogidos en el Anexo 10.1. Con estos datos, se realizó un estudio de tiempos de ciclo, teniendo en cuenta factores como el concepto de actividad normal, los suplementos, etc. Este estudio, junto con otras observaciones, dio lugar a una serie de soluciones de equilibrado para cada una de las líneas, consideradas individualmente. Concretamente, para la línea de pedaleras B-58 automática se presentaron cinco alternativas y se escogió como óptima la nº5 (situación 6). Para la línea B-58 manual se consideraron dos soluciones, de las cuales se eligió la nº2 (situación 3). En cuanto a la pedalera B-9 en línea B-58, también se estudiaron dos soluciones y se escogió la nº2 (situación 3). Y

respecto a la línea B-9, las alternativas analizadas fueron cinco, siendo la escogida como óptima la nº5 (situación 6). Parte de los cálculos y descripción de estas soluciones se encuentran en el Anexo 10.2.

Por otra parte, se presentaron los cambios a realizar en las soluciones óptimas siguiendo los principios del lean manufacturing. En cuanto a las 5 S, destacan la delimitación de los almacenes para lastranspaletas y de los elementos de limpieza, los puntos de utilización de consumibles (tippex, pintura, etc.), la gestión visual, la localización de fotografías del puesto en condiciones óptimas y la presencia de puntos de almacén de piezas rechazadas.

Además, en dos soluciones (la nº2 de la línea B-58 manual y la nº5 de la línea B-9) fue necesario la modificación del layout. Esto trajo consigo, la necesidad de crear las nuevas fichas de operación estándar (FOS) de los nuevos puestos de trabajo. En el Anexo 10.3. quedan reflejadas.

Tras hacer una primera preselección de posibles soluciones por cada línea de ensamblaje considerada de forma individual. Es decir, se realizó de forma independiente por tipo de producto y línea de ensamblaje y no se tuvo en cuenta la interrelación entre los modelos y las dos líneas de producción. Es por ello, que posteriormente se contempló este aspecto. Se tuvieron en cuenta como factores principales el coste de producción de las unidades demandadas por el cliente y su tiempo de producción. Para ello, se partió de las mejores soluciones planteadas de cada modelo. Además, estas soluciones representaban diferentes visiones de organizar la producción. Se pasaba de soluciones en las que simplemente se equilibraban los puestos en la situación inicial, habiendo aporte externo o stock de WIP (carcasas), a soluciones en las que el equilibrado se hacía de forma que todos los puestos de las líneas estaban encicladados. Las soluciones individuales elegidas en la preselección fueron las siguientes:

- Soluciones nº2 (A) (equilibrado de todos puestos en la situación actual) y la nº7 (B) (equilibrado de todos puestos y sin aporte de carcasas) del modelo de pedalera B-58-Automática.
- Soluciones nº1 (C) (equilibrado de todos puestos de la situación al y sin aporte de carcasas) y la nº2 (D) (3 operarios en lugar de 4 y sin aporte de carcasas) del modelo de pedalera B-58-Manual.
- Solución nº2 (E) (equilibrado de todos los puestos en la situación actual) del modelo de pedalera B-9 en línea de ensamblaje B-58.
- Soluciones nº2 (F) (equilibrado de todos los puestos en la situación actual y 474 carcasas en stock), nº3 (G) (equilibrado de todos los puestos en la situación actual y 111 carcasas en stock) y la nº5 (H) (4 operarios en vez de 3 y sin stock de carcasas) del modelo de pedalera B-9.

Una vez elegidas las mejores soluciones individuales, se combinaron entre si, para formar un grupo de seis alternativas para posteriormente analizar cual de ellas era la que mejor se adaptaba a una serie de criterios. El primero era los objetivos económicos, con un peso del 45%, y que consistían en minimizar el coste de inversión y el coste de producción, para las necesidades del cliente de 200 unidades de pedaleras B-58 automáticas, 200 unidades B-58 manuales y 900 unidades B-9. El segundo era los objetivos de producción, con un peso del 15%, tratando de maximizar la producción, sin tener en cuenta las necesidades de cliente ni el coste de producción. Y el tercero era los objetivos de eficiencia, con un peso del 40%, que persiguían la minimización del coste del tiempo ocioso, la maximización de la tasa de ocupación de la línea y la minimización del WIP y de la superficie ocupada. Los datos para cada uno de los criterios fueron sacados del Anexo 10.4. "Funciones de producción". Utilizando el método de ayuda a la toma de decisiones, método Topsis, se llegó a la conclusión de que el grupo de soluciones óptimas era la nº6 (B+D+H).

Desde el punto de vista de los recursos materiales y profesionales para llevar a cabo el desarrollo del presente proyecto destacar que serían necesarios un director, un técnico de mejora continua, un analista de métodos y tiempos y un auxiliar administrativo. Como director se considera un ingeniero de organización, que además actuaría como analista financiero y se encargaría de llevar a cabo la gestión de los diferentes elementos de la puesta en marcha del estudio. El técnico de mejora

continua es un metodista, que se encargaría de llevar a cabo la gestión de los diferentes elementos de la optimización de las líneas de ensamblaje de pedaleras. Por su parte, el analista de tiempos y métodos se encargaría del el equilibrado de las líneas de ensamblaje, así como de la introducción de mejoras en los puestos de trabajo. Por último, el desarrollo de la documentación corre a cargo de un auxiliar administrativo, encargado de generar los informes correspondientes y ayuda en la confección de documentos. El coste de estos profesionales junto con el componente material asciende a una cantidad de 18.345,12 euros, tratándose de una cantidad reducida.

Por otra parte, como se trata por tanto de un proyecto de análisis y de modificación de layout, únicamente se tiene en cuenta el coste de las horas empleadas en el diseño y elaboración del estudio. Decir que en este tipo de proyectos industriales aparece el coste de nueva maquinaria o instalaciones auxiliares, así como el coste incurrido por la parada de la producción. En este sentido, las modificaciones de layout propuestas no implicarían la compra de nuevos equipos, sino que se haría una redistribución de los mismos. Además, el personal de mantenimiento podría realizar dichas modificaciones en tiempos de no producción debido a los bajos niveles de demanda presentes en la actualidad.

Para finalizar el proyecto, se hizo un resumen y se sacaron conclusiones de lo que éste había conllevado. En este sentido, la realización del presente trabajo fue un periodo de análisis, de reingeniería, de equilibrado, de estudio de cambios de distribución, y posibilidad de implantación de diferentes técnicas lean. En definitiva, se expusieron las principales conclusiones sobre los retos y necesidades que conlleva la aplicación de la filosofía lean manufacturing en una línea de ensamblaje.

Remarcar, que con el estudio se consiguió el objetivo principal de cumplir con la demanda del cliente, optimizando el conjunto de las instalaciones. Los tiempos de ciclo se redujeron por debajo del takt time en los tres modelos, pedaleras B-58-Automáticas, pedaleras B-58-Manuales y pedaleras B-9. De ese modo la productividad aumentó notablemente y se pudo alcanzar el objetivo de capacidad para fabricar las 200 unidades/turno de los modelos B-58 y las 900 unidades/turno del modelo B-9.

Además, se mostraron una serie de soluciones que mejoraban muchos aspectos del funcionamiento de las líneas con una inversión reducida de en torno a 1.700 euros, y un tiempo limitado de dos días para llevar a cabo los cambios en el layout. Para empezar, económicamente el periodo de amortización de la inversión inicial sería de mes y medio, lo cual es un aspecto muy importante a tener en cuenta. El coste de producción se reduciría en un 27% y la capacidad de producción aumentaría en un 30%. Por otra parte, el despilfarro por tiempo ocioso de los operarios disminuiría en torno a 70%. También se conseguiría reducir el inventario en curso, ya que se desearía el modelo de producción almacenando las carcasas (POI) y su posterior aprovisionamiento a la línea. Destacar la importancia de este punto, ya que con la cadencia actual de producción es necesario almacenar más de 2.000 unidades de carcasas, lo que conlleva un inmovilizado importante, así como ocupación de superficie. De esta forma, el flujo pasaría a ser de unas pocas unidades entre puestos de trabajo. Otro punto fuerte, es la mejoría en el sistema de aprovisionamiento, con la inclusión de estanterías dinámicas de picking por gravedad para los componentes de las pedaleras de ambos modelos, así como se reduciría la pérdida de tiempo al incorporar ciertos componentes directamente al puesto desde el embalaje del proveedor. Destacar que el aspecto general de las líneas mejoraría al aplicar las 5S, al verse más organizado por la delimitación exacta de los elementos de limpieza y la transpaleta, y por otras medidas comentadas en el presente trabajo. Por otro lado, la ergonomía de ciertos puestos de trabajo se vería beneficiada, al posicionar ciertos componentes a una altura más adecuada con respecto a los operarios. Finalmente, el espacio requerido por las líneas sería alrededor de un 8% menor ya que se eliminaría la zona de almacenaje de carcasas y se optimizaría el layout general.



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**TRABAJO FIN DE MASTER EN LOGÍSTICA**

# **Optimización de las líneas de ensamblaje de las pedaleras B-58 y B-9 en Sofedit España S.A. mediante técnicas de Lean Manufacturing.**

Autor: Roberto Delso del Río

Tutor: Ángel Manuel Gento Municio

Valladolid, Julio 2013



Proyecto: **Optimización de las líneas de ensamblaje de las pedaleras B-58 y B-9 mediante técnicas de Lean Manufacturing.**

No está permitida la reproducción total o parcial de este proyecto, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del autor del mismo.



---

Para mi Familia, que tanto me apoya  
Para mis Amigos, que siempre están ahí  
Para mi Tutor de Proyecto: Ángel Gento  
Para mi Tutor de Prácticas: Rafael Delgado

---

*Roberto Delso del Río*





# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1.	JUSTIFICACIÓN	1
1.2.	OBJETIVOS	2
1.3.	ALCANCE	3
1.4.	ESTRUCTURA	4
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>7</b>
2.1.	LEAN MANUFACTURING	7
2.2.	EQUILIBRADO DE LÍNEAS DE FABRICACIÓN	8
2.2.1.	<i>Definición</i>	9
2.2.2.	<i>Definiciones generales</i>	9
2.2.3.	<i>Objetivos</i>	10
2.2.4.	<i>Tipos de líneas de montaje</i>	10
2.2.5.	<i>Tipos de problemas de equilibrado</i>	12
2.3.	ESTUDIO Y TOMA DE TIEMPOS	14
2.3.1.	<i>Aparatos de medida para la toma de tiempos</i>	14
2.3.2.	<i>Errores en la toma de datos</i>	14
2.3.3.	<i>Etapas de un estudio de tiempos</i>	15
2.3.4.	<i>Número de ciclos a cronometrar</i>	16
2.3.5.	<i>Valoración de la actividad</i>	16
2.3.5.1.	<i>Definición de ritmo normal</i>	17
2.3.5.2.	<i>Escalas de valoración</i>	18
2.3.6.	<i>Cálculo del tiempo normal (Tn)</i>	18
2.3.7.	<i>Cálculo del tiempo-tipo (Tp)</i>	19
2.4.	ESTANDARIZACIÓN DEL PUESTO DE TRABAJO (SPT). FICHAS DE OPERACIÓN ESTÁNDAR (FOS)	20
2.4.1.	<i>Campos que abarca el establecimiento de una operación estándar</i>	21
2.4.2.	<i>Elementos determinados por la operación estándar</i>	22
2.4.3.	<i>Los cuatro principios de la economía de movimientos</i>	22
2.4.4.	<i>FOS Análisis y FOS Operario</i>	23
2.5.	CINCO S	25
2.5.1.	<i>Seleccionar (Seiri)</i>	25
2.5.2.	<i>Organizar (Seiton)</i>	26
2.5.3.	<i>Limpiar (Seiso)</i>	26
2.5.4.	<i>Estandarizar (Seiketsu)</i>	27
2.5.5.	<i>Disciplina (shitsuke)</i>	27
2.5.6.	<i>Gestión visual</i>	28
<b>3.</b>	<b>LUGAR DE APLICACIÓN</b>	<b>29</b>
3.1.	GRUPO GESTAMP AUTOMOCIÓN	29
3.2.	SOFEDIT ESPAÑA S.A.	31
3.2.1.	<i>Descripción general</i>	31
3.2.2.	<i>Layout de la planta</i>	35
3.2.3.	<i>Layout de la zona de proyecto</i>	38
3.2.3.1.	<i>Layout líneas pedaleras B-58</i>	40
3.2.3.2.	<i>Layout línea pedalera B-9 en línea B-58</i>	43
3.2.3.3.	<i>Layout línea pedalera B-9</i>	45

<b>4.</b>	<b>APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING</b>	<b>47</b>
4.1.	LÍNEA DE PEDALERAS B-58. PEDALERAS AUTOMÁTICAS (A)	47
4.1.1.	<i>Situación inicial de la línea</i>	47
4.1.2.	<i>Equilibrado de la línea</i>	47
4.1.2.1.	Operaciones principales y auxiliares. Toma de tiempos de ciclo	47
4.1.2.2.	Estudio de tiempos de ciclo. Soluciones de equilibrado	52
4.1.3.	<i>Análisis de la eficiencia del equilibrado de la línea</i>	56
4.1.4.	<i>Cambios a realizar en la solución óptima siguiendo los principios del Lean Manufacturing</i>	57
4.1.4.1.	Cinco S	57
4.1.4.2.	Aprovisionamiento de componentes a puesto de trabajo directamente desde embalajes del proveedor	61
4.1.4.3.	Modificación en puesto del operario de carcasas	61
4.2.	LÍNEA DE PEDALERAS B-58. PEDALERAS MANUALES (M)	63
4.2.1.	<i>Situación inicial de la línea</i>	73
4.2.2.	<i>Equilibrado de la línea</i>	73
4.2.2.1.	Operaciones principales y auxiliares. Toma de tiempos de ciclo	63
4.2.2.2.	Estudio de tiempos de ciclo. Soluciones de equilibrado	70
4.2.3.	<i>Análisis de la eficiencia del equilibrado de la línea</i>	72
4.2.4.	<i>Estandarización del puesto de trabajo</i>	73
4.2.4.1.	Fichas de operación estandar (FOS) para la solución con 3 operarios	73
4.2.5.	<i>Cambios a realizar en la solución óptima siguiendo los principios del Lean Manufacturing</i>	73
4.2.5.1.	Cinco S	73
4.2.5.2.	Aprovisionamiento de componentes a puesto de trabajo directamente desde embalajes del proveedor	77
4.2.5.3.	Modificación en puesto del operario de carcasas	77
4.3.	LÍNEA DE PEDALERAS B-58. PEDALERA B-9	80
4.3.1.	<i>Situación inicial de la línea</i>	80
4.3.2.	<i>Equilibrado de la línea</i>	80
4.3.2.1.	Operaciones principales y auxiliares. Toma de tiempos de ciclo	80
4.3.2.2.	Estudio de tiempos de ciclo. Soluciones de equilibrado	85
4.3.3.	<i>Análisis de la eficiencia del equilibrado de la línea</i>	87
4.3.4.	<i>Cambios a realizar en la solución óptima siguiendo los principios del Lean Manufacturing</i>	88
4.3.4.1.	Cinco S	88
4.3.4.2.	Aprovisionamiento de componentes a puesto de trabajo directamente desde embalajes del proveedor	91
4.4.	LÍNEA DE PEDALERAS B-9	92
4.4.1.	<i>Situación inicial de la línea</i>	92
4.4.2.	<i>Equilibrado de la línea</i>	92
4.4.2.1.	Operaciones principales y auxiliares. Toma de tiempos de ciclo	92
4.4.2.2.	Estudio de tiempos de ciclo. Soluciones de equilibrado	98
4.4.3.	<i>Análisis de la eficiencia del equilibrado de la línea</i>	102
4.4.4.	<i>Estandarización del puesto de trabajo</i>	103
4.4.4.1.	Fichas de operación estandar (FOS) para la solución con 3 operarios	103
4.4.5.	<i>Cambios a realizar en la solución óptima siguiendo los principios del Lean Manufacturing</i>	103
4.4.5.1.	Cinco S	103
4.4.5.2.	Aprovisionamiento de componentes a puesto de trabajo directamente desde embalajes del proveedor	107
4.4.5.3.	Rediseño del método de aprovisionamiento de los componentes 2 y 3 del puesto del operario de carcasas	107
4.5.	SOLUCIÓN FINAL	111

<b>5.</b>	<b>ESTUDIO ECONÓMICO</b>	<b>117</b>
5.1.	JERARQUÍA EN UN PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN DE LÍNEAS DE ENSAMBLAJE	117
5.2.	FASES DE DESARROLLO	118
5.3.	ESTUDIO ECONÓMICO	120
5.3.1.	<i>Horas efectivas anuales y tasas horarias de personal</i>	120
5.3.2.	<i>Cálculo de las amortizaciones para el equipo informático utilizado</i>	121
5.3.3.	<i>Coste del material consumible</i>	122
5.3.4.	<i>Costes indirectos</i>	123
5.3.5.	<i>Horas de personal dedicadas a cada fase del proyecto</i>	123
5.4.	COSTES ASIGNADOS A CADA FASE DEL PROYECTO	124
5.4.1.	<i>Fase 1: decisión de elaboración del proyecto</i>	124
5.4.2.	<i>Fase 2: presentación y difusión del proyecto</i>	124
5.4.3.	<i>Fase 3: recopilación de información</i>	125
5.4.4.	<i>Fase 4: análisis, búsqueda y selección</i>	126
5.4.5.	<i>Fase 5: escritura y difusión</i>	126
5.5.	CÁLCULO DEL COSTE TOTAL	127
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO</b>	<b>129</b>
6.1.	CONCLUSIONES	129
6.2.	FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO	130
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>133</b>
7.1	PÁGINAS WEB VISITADAS	134
<b>8.</b>	<b>GLOSARIO</b>	<b>135</b>
<b>9.</b>	<b>ACRÓNIMOS</b>	<b>137</b>
<b>10.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>139</b>
10.1.	TIEMPOS DE CICLO DE LAS OPERACIONES PRINCIPALES (Tc)	139
10.1.1.	<i>Tc Pedalera B-58-A</i>	139
10.1.2.	<i>Tc Pedalera B-58-M</i>	140
10.1.3.	<i>Tc Pedalera B-9 en línea B-58</i>	142
10.1.4.	<i>Tc Pedalera B-9</i>	144
10.2.	CÁLCULO Y REDISTRIBUCIÓN DE TAREAS	146
10.2.1.	<i>Solución nº2 (situación 3) pedalera B-58-M con tres Operarios</i>	146
10.2.2.	<i>Solución nº2 (situación 3) pedalera B-9 en línea B-58</i>	150
10.2.3.	<i>Solución nº 3 (situación 4) pedalera B-9</i>	151
10.2.4.	<i>Solución nº 4 (situación 5) pedalera B-9</i>	151
10.2.5.	<i>Solución nº5 (situación 6) pedalera B-9 con cuatro Operarios</i>	152
10.3.	FICHAS DE OPERACIÓN ESTANDAR (FOS)	156
10.3.1.	<i>FOS Pedalera B-58-M con tres Operarios</i>	156
10.3.2.	<i>FOS Pedalera B-9 con cuatro Operario</i>	164
10.4.	FUNCIONES DE PRODUCCIÓN	172
10.4.1.	<i>Minimizar costes de producción y maximizar ocupación de la línea</i>	172
10.4.2.	<i>Maximizar la producción</i>	179

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de línea de fabricación	12
Figura 2. Tipos de problemas de equilibrado en líneas de montaje.	13
Figura 3. Ritmos de trabajo expresados en las diferentes escalas de valoración.	17
Figura 4. Escalas de valoración de la actividad de los operarios.	18
Figura 5. Sistema de suplementos por descanso porcentajes del tiempo normal (Tn).	20
Figura 6. Distribución de la plantilla de Gestamp Automoción por continentes.	29
Figura 7. Facturación Gestamp Automoción en la última década.	30
Figura 8. Evolución de la plantilla de Gestamp Automoción en la última década.	30
Figura 9. Localización general de la planta Sofedit España S.A.	31
Figura 10. Plano de situación de la planta Sofedit España S.A.	32
Figura 11. Entrada de la planta Sofedit España S.A.	32
Figura 12. Distribución de las ventas de la planta Sofedit España S.A.	33
Figura 13. Principales clientes de la planta Sofedit España S.A.	33
Figura 14. Principales clientes a nivel internacional de la planta Sofedit España S.A.	34
Figura 15. Principales procesos y productos de la planta Sofedit España S.A.	34
Figura 16. Distribución de las ventas por productos de la planta Sofedit España S.A.	35
Figura 17. Nivel de absentismo y número de accidentes en la planta Sofedit España S.A.	35
Figura 18. Layout de la planta Sofedit España S.A.	37
Figura 19. Layout zona líneas de proyecto en la planta Sofedit España S.A.	39
Figura 20. Layout de la línea de ensamblaje de las pedaleras B-9	41
Figura 21. Layout de la línea de ensamblaje de las pedaleras B-9 en línea de ensamblaje B-58.	42
Figura 22. Layout de la línea de ensamblaje de las pedaleras B-58 automático.	44
Figura 23. Layout de la línea de ensamblaje de las pedaleras B-58 manual.	46
Figura 24. Tiempos de ciclo de los operarios de la línea B-58 automático desglosados en operaciones que pueden o no ser realizadas por otro operario	47
Figura 25. Layout del operario de carcasas (operario 1) de la línea B-58 automático	48
Figura 26. Layout del operario de ensamblaje (operario 2) de la línea B-58 automático	49
Figura 27. Layout del operario de control (operario 3) de la línea B-58 automático	51
Figura 28. Tabla análisis eficiencia de la línea B-58 automática	56
Figura 29. Layout localización transpaleta	58
Figura 30. Layout localización de los elementos de limpieza en la línea B58 automática	59
Figura 31. Bandejas rojas: scrap; bandejas amarillas: scrap proveedor; bandejas azules: reproceso	60
Figura 32. Caja de componentes en los puestos de ensamblado y caja de embalaje de proveedor de los componentes con referencias 20002391/00A, V45143 y 20005543/00A	61
Figura 33. Layout del operario de carcasas (operario 1) de la línea B-58 automático	62
Figura 34. Estantería dinámica de picking por gravedad del puesto de carcasas de la línea B-58 automático	62
Figura 35. Estanterías dinámicas de picking por gravedad con rampa con diferente pendiente para retorno de cajas vacías para el puesto de carcasas de la línea B-58 automático	62
Figura 36. Tiempos de ciclo de los operarios de la línea B-58 manual	63
Figura 37. Layout del operario de carcasas (operario 1) de la línea B-58 manual	64
Figura 38. Layout del operario de ensamblaje 1 (operario 2) de la línea B-58 manual	65
Figura 39. Layout del operario de ensamblaje 2 (operario 3) de la línea B-58 manual	67
Figura 40. Layout del operario de control (operario 4) de la línea B-58 manual	69
Figura 41. Layout de la línea B-58 con 3 operarios	71
Figura 42. Tabla análisis eficiencia de la línea B-58 manual	72
Figura 43. Layout localización de los elementos de limpieza en la línea B58 manual	75
Figura 44. Bandejas rojas: scrap; bandejas amarillas: scrap proveedor; bandejas azules: reproceso	76
Figura 45. Caja de componentes en los puestos de ensamblado y caja de embalaje de proveedor de los componentes con referencias 20002391/00A, V45143 y 20005543/00A	77
Figura 46. Layout del operario de carcasas (operario 1) de la línea B-58 manual	78

Figura 47. Estantería dinámica de picking por gravedad del puesto de carcasas de la línea B-58 manual	78
Figura 48. Estanterías dinámicas de Licking por gravedad con rampa con diferente pendiente para retorno de cajas vacías para el puesto de carcasas de la línea B-58 manual	78
Figura 49. Diferentes plataformas para elevar el palet del componente 2 del puesto de carcasas de la línea B58 manual	79
Figura 50. Tiempos de ciclo de los operarios de la línea B9 en B-58	80
Figura 51. Layout del operario de ensamblaje 1 (operario 1) de la línea B-9 en línea B-58.	81
Figura 52. Layout del operario de ensamblaje 2 (operario 2) de la línea B-9 en línea B-58.	83
Figura 53. Layout del operario de control (operario 3) de la línea B-9 en línea B-58	84
Figura 54. Tabla análisis eficiencia de la línea B-9 en la línea B-58.	87
Figura 55. Layout localización de los elementos de limpieza en la línea B9 en línea de ensamblaje B58.	89
Figura 56. Bandejas rojas: scrap; bandejas amarillas: scrap proveedor; bandejas azules: reproceso.	90
Figura 57. Caja de componentes en los puestos de ensamblado y caja de embalaje de proveedor de los componentes con referencias 20002391/00A, V45143 y 20005543/00A.	91
Figura 58. Tiempos de ciclo de los operarios de la línea B9.	92
Figura 59. Layout del operario de carcasas (operario 1) de la línea B-9.	93
Figura 60. Layout del operario de ensamblaje (operario 2) de la línea B-9.	95
Figura 61. Layout del operario de control (operario 3) de la línea B-9.	96
Figura 62. Layout de la línea B-9 con 4 operarios.	101
Figura 63. Tabla análisis eficiencia de la línea B-9.	102
Figura 64. Layout localización de los elementos de limpieza en la línea B9.	105
Figura 65. Bandejas rojas: scrap; bandejas amarillas: scrap proveedor; bandejas azules: reproceso.	106
Figura 66. Caja de componentes en los puestos de ensamblado y caja de embalaje de proveedor de los componentes con referencias 20002391/00A, V45143 y 20005543/00A.	107
Figura 67. Layout actual del puesto 1, operario de carcasas, de la línea B-9.	108
Figura 68. Layout de la solución 1 del puesto 1, operario de carcasas, de la línea B-9.	108
Figura 69 Layout de la solución 2 del puesto 1, operario de carcasas, de la línea B-9.	109
Figura 70 Vista de perfil de la solución 2 del puesto 1, operario de carcasas, de la línea B-9.	109
Figura 71. Layout de la solución 3 del puesto 1, operario de carcasas, de la línea B-9.	110
Figura 72. Jerarquía del estudio económico.	117
Figura 73. Fases del desarrollo del proyecto.	119
Figura 74. Tiempos de ciclo del operario de carcasas (operario 1) línea Pedalera B-58-A.	139
Figura 75. Tiempo sde ciclo del operario de ensamblaje (operario 2) línea Pedalera B-58-A.	139
Figura 76. Tiempo sde ciclo del operario de control (operario 3) línea Pedalera B-58-A.	140
Figura 77. Tiempo sde ciclo del operario de carcasas (operario 1) línea Pedalera B-58-M.	140
Figura 78. Tiempo sde ciclo del operario de ensamblaje 1 (operario 2) línea Pedalera B-58-M.	141
Figura 79. Tiempo sde ciclo del operario de ensamblaje 2 (operario 3) línea Pedalera B-58-M.	141
Figura 80. Tiempo sde ciclo del operario de de control (operario 4) línea Pedalera B-58-M.	142
Figura 81. Tiempo sde ciclo del operario de ensamblaje 1 (operario 1) línea Pedalera B-9 en B-58.	142
Figura 82. Tiempo sde ciclo del operario de ensamblaje 2 (operario 2) línea Pedalera B-9 en B-58.	143
Figura 83. Tiempo sde ciclo del operario de control (operario 3) línea Pedalera B-9 en B-58.	143
Figura 84. Tiempo sde ciclo del operario de carcasas (operario 1) línea Pedalera B-9.	144
Figura 85. Tiempo sde ciclo del operario de ensamblaje (operario 2) línea Pedalera B-9.	144
Figura 86. Tiempo sde ciclo del operario de control (operario 3) línea Pedalera B-9.	145
Figura 87. Cálculo tiempos de ciclo en la solución nº2 B-58-M con 3 operarios.	146
Figura 88. Tareas principales presentes en las FOS de la solución nº2 B-58-M con 3 operarios.	146
Figura 89. Tareas auxiliares sin redistribuir del operario de control en la solución nº 2 B-58-M con 3 operarios.	147
Figura 90. Tareas auxiliares sin redistribuir del operario de ensamblaje en la solución nº 2 B-58-M con 3 operarios.	147
Figura 91. Tareas auxiliares sin redistribuir del operario de carcasas en la solución nº2 B-58-M con 3 operarios.	148

Figura 92. Tareas auxiliares redistribuidas del operario de control en la solución nº2 B-58-M con 3 operarios.	148
Figura 93. Tareas auxiliares redistribuidas del operario de ensamblaje en la solución nº 2 B-58-M con 3 operarios.	149
Figura 94. Tareas auxiliares redistribuidas del operario de carcasas en la solución nº 2 B-58-M con 3 operarios.	149
Figura 95. Cálculo tiempos de ciclo en la solución nº2 pedalera B-9 en línea B-58.	150
Figura 96. Tareas auxiliares redistribuidas de los operarios de la línea B-9 en línea B-58 y del operario de carcasas de la línea B-9 en la solución nº2 pedalera B-9 en línea B-58.	150
Figura 97. Cálculo tiempos de ciclo en la solución nº3 pedalera B-9.	151
Figura 98. Cálculo tiempos de ciclo en la solución nº4 pedalera B-9.	151
Figura 99. Cálculo tiempos de ciclo en la solución nº5 B-9 con 4 operarios.	152
Figura 100. Cálculo tiempos de ciclo en la solución nº5 B-9 con 4 operarios.	152
Figura 101. Tareas principales presentes en las FOS de la solución nº5 B-9 con 4 operarios.	153
Figura 102. Tareas auxiliares redistribuidas del operario de carcasas en la solución nº5 B-9 con 4 operarios.	153
Figura 103. Tareas auxiliares redistribuidas del operario de ensamblaje 1 en la solución nº 5 B-9 con 4 operarios.	154
Figura 104. Tareas auxiliares redistribuidas del operario de ensamblaje 2 en la solución nº5 B-9 con 4 operarios.	154
Figura 105. Tareas auxiliares redistribuidas del operario de control en la solución nº5 B-9 con 4 operarios.	155
Figura 106. FOS operario carcasas (operario 1) línea Pedalera B-58-M con tres Operarios.	156
Figura 107. FOS operario ensamblaje (operario 2) línea Pedalera B-58-M con tres Operarios.	159
Figura 108. FOS operario control (operario 3) línea Pedalera B-58-M con tres Operarios.	163
Figura 109. FOS operario carcasas (operario 1) línea Pedalera B-9 con cuatro Operarios.	165
Figura 110. FOS operario ensamblaje 1 (operario 2) línea Pedalera B-9 con cuatro Operarios.	167
Figura 111. FOS operario ensamblaje 2 (operario 3) línea Pedalera B-9 con cuatro Operarios.	169
Figura 112. FOS operario control (operario 4) línea Pedalera B-9 con cuatro Operarios.	171
Figura 113. Función de producción actual minimizar coste de producción y maximizar ocupación de la línea.	172
Figura 114. Función de producción alternativa 1 minimizar coste de producción y maximizar ocupación de la línea.	173
Figura 115. Función de producción alternativa 2 minimizar coste de producción y maximizar ocupación de la línea.	174
Figura 116. Función de producción alternativa 3 minimizar coste de producción y maximizar ocupación de la línea.	175
Figura 117. Función de producción alternativa 4 minimizar coste de producción y maximizar ocupación de la línea.	176
Figura 118. Función de producción alternativa 5 minimizar coste de producción y maximizar ocupación de la línea.	177
Figura 119. Función de producción alternativa 6 minimizar coste de producción y maximizar ocupación de la línea.	178
Figura 120. Función de producción actual maximizar la producción.	179
Figura 121. Función de producción alternativa 1 maximizar la producción.	180
Figura 122. Función de producción alternativa 2 maximizar la producción.	181
Figura 123. Función de producción alternativa 3 maximizar la producción.	182
Figura 124. Función de producción alternativa 4 maximizar la producción.	183
Figura 125. Función de producción alternativa 5 maximizar la producción.	184
Figura 126. Función de producción alternativa 6 maximizar la producción.	185

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de carcasas (operario 1) de la línea B-58 automático	49
Tabla 2. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de ensamblaje (operario 2) de la línea B-58 automático	50
Tabla 3. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de control (operario 3) de la línea B-58 automático	51
Tabla 4. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 automático en la solución nº1 comparándolos con la situación actual	52
Tabla 5. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 automático en la solución nº2 comparándolos con la situación actual	52
Tabla 6. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 automático en la solución nº3 comparándolos con la situación actual	53
Tabla 7. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 automático en la solución nº4 comparándolos con la situación actual	54
Tabla 8. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 automático en la solución nº5 comparándolos con la situación actual	54
Tabla 9. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 automático en la solución nº6 comparándolos con la situación actual	55
Tabla 10. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 automático en la solución nº7 comparándolos con la situación actual	55
Tabla 11. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de carcasas (operario 1) de la línea B-58 manual	65
Tabla 12. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de ensamblaje 1 (operario 2) de la línea B-58 manual	66
Tabla 13. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de ensamblaje 2 (operario 3) de la línea B-58 manual	68
Tabla 14. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de control (operario 4) de la línea B-58 manual	69
Tabla 15. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 manual en la solución nº1 comparándolos con la situación actual	70
Tabla 16. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 manual en la solución nº2 comparándolos con la situación actual	71
Tabla 17. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de ensamblaje 1 (operario 1) de la línea de pedaleras B-9 en la línea B-58.	82
Tabla 18. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de ensamblaje 2 (operario 2) de la línea de pedaleras B-9 en la línea B-58.	84
Tabla 19. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de control (operario 3) de la línea de pedaleras B-9 en la línea B-58.	85
Tabla 20. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-9 en la línea B-58 manual en la solución nº1 comparándolos con la situación actual.	86
Tabla 21. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-9 en la línea B-9 en la solución nº2 comparándolos con la situación actual.	86
Tabla 22. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de carcasas (operario 1) de la línea de pedaleras B-9.	94
Tabla 23. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de ensamblaje (operario 2) de la línea de pedaleras B-9.	96
Tabla 24. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de control (operario 3) de la línea de pedaleras B-9.	97

Tabla 25. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-9 en la solución nº1 comparándolos con la situación actual.	98
Tabla 26. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-9 en la solución nº2 comparándolos con la situación actual.	98
Tabla 27. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-9 en la solución nº3 comparándolos con la situación actual.	99
Tabla 28. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-9 en la solución nº4 comparándolos con la situación actual.	100
Tabla 29. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-9 en la solución nº5 comparándolos con la situación actual.	100
Tabla 30. Matriz con la valoración de los indicadores de satisfacción de objetivos y con los pesos de cada objetivo.	113
Tabla 31. Matriz normalizada.	113
Tabla 32. Matriz normalizada y con los pesos correspondientes.	114
Tabla 33. Vector solución ideal y pésima.	114
Tabla 34. Distancias a la solución ideal y a la pésima.	115
Tabla 35. Índice de elección de alternativas por el método Topsis.	115
Tabla 36. Días efectivos anuales.	120
Tabla 37. Semanas efectivas anuales.	121
Tabla 38. Costes del equipo de profesionales.	121
Tabla 39. Costes del equipo de desarrollo.	122
Tabla 40. Costes del equipo de edición.	122
Tabla 41. Costes del material consumible.	123
Tabla 42. Costes indirectos.	123
Tabla 43. Horas dedicadas por persona al proyecto.	123
Tabla 44. Costes asociados a la fase 1.	124
Tabla 45. Costes asociados a la fase 2.	125
Tabla 46. Costes asociados a la fase 3.	125
Tabla 47. Costes asociados a la fase 4.	126
Tabla 48. Costes asociados a la fase 5.	127
Tabla 49. Costes totales del proyecto.	127
Tabla 50. Resumen de los cambios aportados por la solución óptima.	130

## AGRADECIMIENTOS

He de expresar mi más sincera gratitud a todas las personas que me han ayudado a crecer, tanto intelectual como personalmente. Su influencia es máxima para haber podido llegar al punto en el que me encuentro, finalizando este Máster.

No puedo nombrar a todos, pero si quiero marcar la importancia de:

Mi familia, por su apoyo y empuje incondicional.

Ángel Gento, mi director de trabajo fin de máster, y Rafael Delgado, mi tutor de prácticas, cuya importancia es vital en el desarrollo del mismo y me han aportado un punto de vista del mundo logístico muy interesante a partir de su experiencia.

Mis compañeros de máster, los cuales me han motivado a hacerlo lo mejor posible, con sus diferentes puntos de vista según sus carreras de procedencia; y hacer que este año de estudio haya resultado "corto".

Mis amigos de fuera de la universidad, de un valor incalculable.

Los profesores del máster, que han hecho posible alcanzar un nivel de conocimientos logísticos necesarios para la realización del trabajo fin de máster.

Y a todos aquellos que olvido nombrar.



# 1. Introducción

## 1.1. Justificación

De mayo a agosto de 2012 estuve realizando las prácticas del Máster de Logística en la empresa del sector de la automoción Sofedit Ibérica S.A. en su planta de Valladolid.

En dicha empresa se me encomendó el análisis de la situación actual de las líneas de producción de pedaleras y la optimización de su utilización ante los nuevos escenarios de demanda del cliente. Existían dos líneas de producción de pedaleras y una de montaje de subconjuntos de pedales para hacer frente a la producción de dos modelos de pedaleras B-9 y B-58. Se presentaba un nuevo escenario en el que la producción del modelo B-58 estaba bajando considerablemente y aparecía un nuevo modelo, la pedalera B-78, que aunque tendría una línea de montaje del conjunto final diferente a las existentes, compartiría parte de la línea de producción de los subensamblajes del B-9 y B-58. Por lo tanto, el objetivo era minimizar los costes de operación en el nuevo escenario.

Como este proyecto implicaba implantar la filosofía del lean manufacturing a dichas líneas de ensamblaje, me pareció interesante que mi trabajo fin de máster versase sobre este tema. Creo que, en la actualidad, la filosofía del lean manufacturing está cobrando especial relevancia, y por ello, me pareció atractivo acercar su implantación en una empresa de componentes de la automoción.

Además, mediante la realización del presente trabajo se estudiará todas las operaciones y procesos que se llevan a cabo en el proceso ensamblado de pedaleras, con la finalidad de presentar posibles soluciones y/o propuestas a todo el procedimiento en sí; y así obtener mejoras tanto para el proceso en su conjunto como a nivel de operario.

En esta línea, es muy recomendable destacar que la utilización de técnicas de lean manufacturing conllevan la eliminación del despilfarro, mejora la calidad y se reducen el tiempo de producción y el coste. A parte de todos estos beneficios dentro de las líneas de producción, destaca el aumento de superficie disponible en las plantas de producción. Es decir, cuando se llevan a cabo mejoras con la filosofía del lean manufacturing la superficie necesaria para el proceso productivo disminuye, sobre todo por la disminución de los stocks necesarios.

Por este motivo, ya que el precio del suelo industrial es elevado, creo que es de vital importancia el diseño de los procesos productivos mediante técnicas de lean manufacturing, para disminuir los costes de amortización. En este sentido, en plantas pequeñas, donde existe escasez de espacio, tanto para stocks como para líneas de producción, la implantación de la filosofía del lean manufacturing trae consigo la posibilidad de producción de nuevos productos debido al ahorro de espacio. En escenarios anteriores, esta posibilidad no existía. Es por ello que los directores de producción de las plantas están empeando a ver otro de los beneficios inmediatos de esta filosofía.

Debido a la importancia del ahorro de superficie, me ha parecido también interesante mostrar mediante el presente trabajo un ejemplo concreto de este fenómeno. En esta línea, si se implantasen las soluciones aportadas en el presente trabajo se podría hablar de una reducción del espacio necesario para las líneas de pedaleras B-58 y B-9 en torno a un 15%.

## 1.2. Objetivos

---

Este trabajo abarca la descripción y el análisis de la situación inicial de las líneas de ensamblaje de pedaleras B-58 y B-9 y propone una serie de mejoras para definir una solución final en la que se reducen los despilfarros.

El análisis presenta los cambios necesarios en los layouts de las líneas, los equilibrados de las líneas a partir de los tiempos de las diferentes operaciones, determinadas mejoras introducidas en el diseño del puesto de trabajo como en su aprovisionamiento y la estandarización y mejora de la ergonomía en lo que se refiere a dimensiones de los puestos de trabajo.

La situación a la que se presentaba la empresa era un cambio en la demanda del cliente. Por una parte, en la línea de pedaleras B-58 era necesario nivelar la producción para pasar de una demanda de 900 unidades diarias a 200 unidades del modelo B-58-M (manual) y 200 unidades del modelo B-58-A (automático). Por otra, se necesitaba incrementar la producción del modelo de pedaleras B-9 de 600 a 900 unidades diarias. La solución implantada por la empresa fue, debido a que la capacidad de producción de la línea B-9 era inferior a la demanda, fue en primer lugar establecer un turno y medio de trabajo. Debido a diversos motivos, se rediseño la línea de pedaleras B-58 para que pudiese también producir el moleo B-9. Para ello, el operario de carcas de la línea B-9 produciría las mismas y luego se stocarían.

De esta forma, en su situación inicial, la línea de montaje B-9 no tenía capacidad suficiente para cumplir con la demanda del cliente. Ello se debía, en gran medida al mal sistema de aprovisionamiento de los componentes 2 y 3 del puesto del operario de carcasas, lo cual no aportaba valor añadido al producto, y se desperdiciaba mucho tiempo. Además, otro problema existente era el desequilibrado de la línea. En ese sentido era un caso muy interesante, ya que, si se mejoraban estos factores clave, se podría cumplir con la demanda, aumentando la productividad, además de mejorar otros aspectos también importantes como la flexibilidad de la línea, el inventario en curso y la ergonomía de los puestos de trabajo además de reducir la superficie necesaria para el proceso de montaje.

En cuanto a la línea B-58, sí cumplía con la demanda del cliente, pero presentaba también problemas de equilibrio de línea y era necesario una alimentación mixta de carcasas, por lo que generaba la necesidad de stocaje y otros problemas. Actuando sobre estos aspectos, del mismo modo que en la línea B-9 se producirían muchas mejoras.

En cuanto a los plazos fijados por el cliente se cumplían. Sin embargo, el lead time de ambas líneas era muy grande, lo que conllevaba la necesidad de grandes cantidades de inventario. Por lo tanto, se sacrificaba el coste de inventario por la satisfacción del cliente, sin tomar medidas para mejorar la productividad de las líneas de ensamblaje.

Este trabajo también trata de reducir el inventario en curso, excesivo en ambas líneas. De manera que se dejaría de tener capital inmovilizado en inventario y podría invertirse otro activo que ofreciera una rentabilidad a la empresa, así como reducir el espacio ocupado por las líneas para dedicarlo a otro uso.

A continuación se detallan de una forma detallada los objetivos a cumplir con el presente trabajo fin master:

- Objetivo principal:
  - Optimización de las líneas de ensamblaje de las pedaleras B-58 y B-9 en Sofedit España S.A. mediante técnicas de Lean Manufacturing.

- **Objetivos específicos:**
  - Analizar las condiciones actuales del proceso de las líneas de ensamblaje de pedaleras, considerando maquinaria, mano de obra, etc.
  - Identificar los procesos y las tareas, tanto principales como auxiliares, en el proceso de ensamblaje de pedaleras.
  - Determinar los tiempos de ciclo reales mediante la aplicación de un estudio de tiempos de los modelos B-58-M, B-58-A y B-9, comparándolos con los tiempos teóricos.
  - Determinar el porcentaje de eficiencia de cada operario implicado en el proceso de ensamblaje de todos los tipos de pedaleras.
  - Realizar el diagnóstico de la situación actual de las líneas de ensamblaje de pedaleras en la planta, que permita ver oportunidades de mejora.
  - Estudio de herramientas de la filosofía del lean manufacturing en la empresa con el propósito de mejorar el proceso productivo de las líneas de ensamblaje de pedaleras.
  - Aplicación de determinadas herramientas de lean manufacturing en las líneas de ensamblaje de pedaleras, con el fin de eliminar los tipos de despilafarro diagnosticados.
  - Establecer una cantidad económica de lo que costaría el estudio y el diagnóstico para la optimización de las líneas de ensamblaje de las pedaleras B-58 y B-9 en Sofedit España S.A. mediante técnicas de Lean Manufacturing.

### 1.3. Alcance

---

Para el desarrollo del siguiente trabajo fin de máster se define alcance como la línea de ensamblaje de pedaleras modelos B-58 y B-9 en la planta Sofedit España S.A. en Valladolid. En este sentido, no se tendrá en cuenta las anteriores líneas de producción de los componentes para el ensamblaje del producto final.

Por otra parte, debido a que se podrían utilizar numerosas herramientas de lean manufacturing en estas líneas de ensamblaje, este trabajo solo se va a centrar en el equilibrado de la línea, cinco S, estandarización de los puestos de trabajo y gestión visual.

Concretamente, desde mi punto de vista sería muy recomendable implantar otras herramientas. Por ejemplo, sería muy interesante la SMED. Ésta permitiría disminuir los cambios de utillaje entre cambios de modelo, lo que en la línea de ensamblaje de pedaleras B-58 conllevaría que la producción de los modelos manual y automático se ajustase más a la demanda, ya que en estos momentos se utiliza todo un turno de trabajo, aun siendo su demanda inferior a la producción en una jornada.

Otra herramienta muy útil sería el value stream mapping (VSM). Éste permite entender cómo se relacionan los distintos departamentos, unidades operativas, etc. ante un determinado proceso. Permite examinar el proceso y permite determinar dónde y por qué se producen fallos importantes. Además, sirve de base para otras mejoras relacionadas con el lean manufacturing.

En cuanto a la herramienta kanban, sería de gran utilidad introducir la en la estantería de aprovisionamiento de componentes de menores dimensiones para ambas líneas. Gracias a este sistema se reducirían los stocks al máximo ajustándolos a la producción de un día. Con esto se evitan pérdidas, desperdicios, sobreproducciones, facilita el control de la manutención, etc.

Las etapas de las que consta este proyecto son las siguientes:

- *Necesidad y decisión de elaboración del proyecto:* En esta etapa, se lleva a cabo un análisis general de las líneas de ensamblaje de pedaleras B-58 y B-9.
- *Presentación y difusión del proyecto:* Se realiza una presentación a los responsables de los departamentos, solicitando su colaboración en el presente trabajo.
- *Recopilación de información:* Se procede a la recopilación de información de los diferentes departamentos, así como de bibliografía.
- *Análisis, búsqueda y difusión:* Con la información obtenida se procede a estudiar todos los procesos de las líneas de ensamblaje.
- *Escritura y difusión:* Una vez realizado el estudio y teniendo identificadas las mejoras más viables, se crea un documento.

Para terminar el proceso, faltaría la difusión del documento y la implantación de las mejoras. Todos los departamentos, así como equipos y operarios afectados podrían establecer nuevas mejoras o nuevos procedimientos más acordes con la realidad. Una vez llevado a cabo la difusión se pasaría a la implantación de las mejoras acordadas. En este sentido, la implantación, el seguimiento, la estandarización y generar la filosofía de trabajo en una empresa es un proceso lento, que puede durar años, el cual debe perdurar y mejorar continuamente, por lo que el presente trabajo, por limitación temporal se centrará exclusivamente hasta la escritura de las posibles mejoras.

## 1.4. Estructura

---

El presente proyecto se estructura en seis capítulos. El primer capítulo sirve de introducción al lector para que pueda de una forma rápida conseguir una visión general de la temática del proyecto.

En el segundo capítulo se presenta el marco teórico necesario para poder entender con mayor facilidad el proyecto de lean manufacturing. En este capítulo se presenta inicialmente, de forma muy resumida, la filosofía del lean manufacturing. Posteriormente, se explican más detalladamente los conceptos y herramientas que se han utilizado en la realización de este proyecto. Por orden, aparecen el equilibrado de líneas de fabricación, el estudio y toma de tiempos, la estandarización de puestos de trabajo, las cinso S y la gestión visual.

En el tercer capítulo se describe el lugar de aplicación del proyecto. Se presenta de una forma general la empresa Sofedit España S.A. dentro del grupo Gestamp Automoción, para posteriormente centrarse en las características de las líneas de pedaleras B-58 y B-9 a estudiar, así como los procesos productivos necesarios para obtener el producto final. Todo ello, se presenta gráficamente mediante el layout de las citadas líneas de ensamblaje.

El cuarto capítulo muestra la implantación de las herramientas de lean manufacturing recogidas en el tercer capítulo a la línea de ensamblaje de pedaleras B-58-A, modelo automático; a la línea de ensamblaje de pedaleras B-58-M, modelo manual; a la línea de ensamblaje de pedaleras B-58 para la fabricación del modelo B-9; y a la línea de ensamblaje de pedaleras B-9, así como cual sería la solución óptima para esta línea. También aparece la implantación de las herramientas de lean manufacturing recogidas en el tercer capítulo a la línea de ensamblaje de pedaleras B-58-M, modelo manual, así como cual sería la solución óptima para estas líneas. Al final de este capítulo, se analizan todas las soluciones elegidas en los capítulos anteriores y se elige cual sería la solución óptima teniendo en cuenta las dos

líneas de ensamblaje B-9 y B-58 conjuntamente, todos los modelos de pedalera (B-58-A, B-58-M y B-9) y las respectivas demandas de los mismos. Se trata del capítulo donde se desarrolla el proyecto.

En el quinto capítulo se detallan los diferentes profesionales y recursos materiales que serían necesarios para llevar a cabo el proyecto en cuestión. Además, se hace una estimación de la duración de la participación de cada uno de ellos, así como se realiza un estudio económico final de lo que costaría realizar el proyecto.

Para finalizar, en el sexto capítulo, se exponen principales conclusiones sobre los retos y necesidades que conlleva la aplicación de la filosofía lean manufacturing en una línea de ensamblaje. También se realiza una introducción a los puntos, que desde mi punto de vista, deberían formar parte de futuros desarrollos en la aplicación del lean a las citadas líneas. Y se presentan las conclusiones de cual ha sido mi actividad dentro del presente proyecto de Lean Manufacturing.



## 2. Marco teórico

### 2.1. Lean Manufacturing

Los sistemas de producción en la actualidad se engloban en un entorno global y constantemente cambiante. En este escenario aparecen nuevos obstáculos, como la saturación de los mercados, aumento de la competencia o nuevas necesidades y exigencias del cliente objetivo. Por todo ello es necesario adaptarse para sobrevivir.

En este sentido, las empresas necesitan cambiar sus obsoletas estructuras organizativas por otras más eficientes y apropiadas. En las antiguas, existen un gran número de costumbres erróneas o reinterpretables, constituyendo el principal problema para el cambio necesario, ya que se encuentran profundamente ramificadas y arraigadas en las áreas organizativas de la empresa.

Debido a la complejidad y al grado de arraigamiento de estas costumbres erróneas, el cambio organizativo no debe ser planteado como una tarea superficial, ni ser implantado en áreas aisladas de la organización. Para superar la fuerte resistencia al cambio que se plantea, debe ser presentado como un cambio cultural más que organizativo, el cual, abarcará la colaboración y el entendimiento de todas las áreas que formen el organigrama empresarial.

Es en este complejo escenario, en el que las empresas deciden, para asegurar su supervivencia y crecer, implantar el enfoque de producción Lean Manufacturing.

De esta forma, el Lean Manufacturing se trata de una filosofía de gestión orientada a la reducción de los siete tipos de desperdicios (Hirano, 2001). Se considera desperdicio a toda aquella actividad que añade coste sin crear valor al producto. La filosofía lean apareció en Japón en los años cincuenta con Eiji Toyoda y Taiichi Ohno. Después de la Segunda Guerra Mundial, Eiji y Ohno visitaron Estados Unidos, donde se vieron sorprendidos por el especial incapié que los estadounidenses ponían a la fabricación en masa con grandes volúmenes de desperdicio. Por este motivo, y observando el funcionamiento de los supermercados idearon el Sistema de Producción Toyota. Su principal objetivo es incrementar la productividad y reducir los costes a través de la eliminación sistemática del desperdicio. Y, a raíz de la crisis del petróleo de 1973 es cuando este sistema de producción empieza a ser considerado y difundido a nivel global.

Por tanto, el objetivo de la filosofía lean es, a través de la utilización de ciertas herramientas, eliminar todos los desperdicios y todas las operaciones que no agregan valor al producto o a los procesos. Además, establece la necesidad de implantar la filosofía de mejora continua para que las compañías consigan reducir costes, mejorar los procesos y eliminar los desperdicios para aumentar la satisfacción del cliente.

De esta forma se hace especial incapié en la mejora de los métodos de trabajo, el incremento de la capacidad, tamaño de lotes más pequeños reducción del lead time, mejora de la tasa de servicio, más rotación de inventarios, reducción de la superficie necesaria, mayor margen bruto, reducción de inventarios, mejora de la calidad, etc.

A continuación, se presentan los siete tipos de desperdicios de los que trata el Lean Manufacturing son los siguientes:

- **Movimientos:** Movimientos que no son necesarios para realizar una operación de forma adecuada.

- **Sobreproducción:** Es hacer más de lo necesario, ya sea por fabricar productos no ordenados, por fabricar de acuerdo a la capacidad de la línea y no de acuerdo a la demanda del cliente, etc.
- **Espera:** Tiempo perdido entre procesos o inactividad en un proceso debido a líneas sin equilibrar, por avería de máquinas, etc.
- **Transporte:** Movimiento innecesario de materiales ya sea desde el almacén, entre procesos o dentro del mismo proceso.
- **Proceso superfluo:** Cuando a un producto o servicio se le realiza trabajo que no forma parte del proceso normal. Pueden ser operaciones extras tales como retrabajos, reprocesos, etc.
- **Defectos:** Corregir productos defectuosos, producir partes defectuosas, pérdida de la continuidad del proceso, etc.
- **Stock:** Acumulación de productos y/o materiales en cualquier parte del proceso.
- **El conocimiento desconectado:** existe cuando se tiene una desconexión entre la compañía con sus clientes y/o proveedores.

Con el objetivo de reducir esta serie de desperdicios la filosofía lean utiliza una serie de herramientas como la mejora continua (kaizen), el just in time, tipo de producción pull flow y one-piece-flow, SMED o rapidez en los cambios de utillaje para mejorar la flexibilidad, sistemas kanban para el control de stocks, etc. De todas ellas, las que fueron aplicadas en el estudio, se describen a continuación.

## **2.2. Equilibrado de líneas de fabricación**

---

Las líneas de fabricación, ya sean de producción o de montaje, se organizan según el producto. En esta configuración orientada al producto los puestos se distribuyen en función del producto o productos a fabricar, siguiendo éstos en gran medida la misma secuencia de operaciones. Existen otros tipos de configuraciones como la programación en talleres o sistemas orientados al proceso.

Las líneas de fabricación tienen su origen en las ideas de división del trabajo de Adam Smith en el siglo XVIII y posteriormente desarrolladas científicamente por Frederick Taylor. Pero es Henry Ford quien aplica todos estos principios a gran escala en la industria, lo que da lugar a lo que se conoce como producción en masa.

La idea principal al diseñar una línea de fabricación consiste en la división del conjunto de operaciones a realizar y su asignación de una forma coherente a una serie de puestos, de tal manera que el producto puede ser fabricado o montado de una manera más económica y rápida. Para esto, el producto se transporta según secuencias a través de los puestos de trabajos, donde recibe sucesivamente las operaciones hasta conseguir el producto final.

Por otra parte, en las líneas de producción, cada puesto ejecuta una serie de transformaciones físicas sobre el producto, mientras que las líneas de montaje solo ejecutan operaciones de montaje de componentes o subconjuntos. Aunque son diferentes, el tratamiento de ambas líneas en su equilibrado es el mismo, siendo el objetivo del equilibrado determinar la configuración de los diferentes puestos de trabajo.

---

### 2.2.1. Definición

---

Existen múltiples definiciones de equilibrado de líneas fabricación. Presento las dos que me han parecido las más interesantes:

El equilibrado de línea es una distribución de las actividades secuenciales en los centros de trabajo para lograr el máximo aprovechamiento posible de la mano de obra y del equipo, para reducir o eliminar el tiempo ocioso. (Krick ,1967)

Equilibrar una línea de producción o montaje consiste en establecer una relación entre el conjunto de operaciones, los operarios y las máquinas de la línea de tal manera que el producto fluya en forma continua entre las estaciones de trabajo con el menor ocio posible para lograr el volumen de producción deseado. (Gómez Núñez, 1990)

### 2.2.2. Definiciones generales

---

Antes de describir la tipología de los problemas del equilibrado de líneas, resulta imprescindible familiarizarse con una serie de conceptos:

- **Operación o tarea:** Menor unidad de trabajo que no puede dividirse entre dos o más operarios sin crear una interferencia innecesaria entre los mismos.
- **Puesto de trabajo:** Zona adyacente a la línea donde se realiza cantidad dada de trabajo (una o varias operaciones), a la que le corresponde el operarios u operarios y maquinaria asignados.
- **Tiempo de operación:** Tiempo fijado para la realización de una determinada operación en un puesto de trabajo. Puede ser fijo o variable.
- **Tiempo de ciclo:** Tiempo que transcurre entre la entrada o salida de dos unidades consecutivas de producto en la línea.
- **Ligaduras entre operaciones:** Restricciones en el agrupamiento de operaciones en los diferentes puestos.
- **Velocidad de la línea:** Cociente entre el cociente entre la distancia entre dos puestos consecutivos y el tiempo de ciclo.
- **Productividad:** Cantidad de unidades producida por la línea por unidad de tiempo.
- **Número mínimo de estaciones de trabajo:** número teórico mínimo para alcanzar un tiempo de ciclo determinado.
- **Tiempo total:** Suma de los tiempos de todas las operaciones que intervienen en la producción de un producto.
- **Tiempo muerto de un puesto:** Cantidad de tiempo ocioso en un puesto por no saturación del mismo.
- **Tiempo muerto total:** Cantidad de tiempo ocioso en la línea.

---

### 2.2.3. Objetivos

---

El diseño o se equilibrado de una línea de fabricación debe realizarse de forma que funcione lo mas eficientemente posible. Por ello, es necesario establecer una serie de objetivos a cumplir de acuerdo a la política de la empresa. Éstos pueden ser:

- **Maximización de la capacidad:**
  - Minimización del tiempo muerto total o de maximización de la utilización de la línea.
  - Minimizar el tiempo de flujo o permanencia de los productos en la línea.
  - Equilibrar los niveles de utilización de la capacidad en los puestos de trabajo.
  - Minimizar la suma de tiempos muertos y el porcentaje de tiempos muertos en las estaciones.
  - Minimizar los tiempos de espera.
  
- **Minimización de coste y maximización del beneficio:**
  - Minimizar los costes de maquinaria y herramientas.
  - Minimizar los costes de materiales.
  - Minimizar los costes de equipo ocioso.
  - Minimizar posibles penalizaciones por no lograr determinados objetivos de producción.
  - Minimizar los costes por ajuste y cambio.
  - Minimizar los costes de inventario.
  
- **Objetivos sociales y organizacionales:**
  - Referidos a aspectos de enriquecimiento del trabajo mediante la variación de operaciones para evitar la monotonía del operario.
  - Diseño de sistemas que eviten el continuo reequilibrado por cambios en los programas de producción.

---

### 2.2.4. Tipos de líneas de montaje

---

Las líneas de montaje se clasifican según diversos criterios de la forma siguiente:

- Según el tipo de producto que se fabrica:
  - **Simples:** se fabrica solo un tipo de producto y en los puestos se realizan cíclicamente las mismas operaciones.

- **Mixtas:** se fabrican diferentes modelos de un mismo producto. Es necesario las mismas operaciones principales para producir todos los modelos, por lo que no aparecen tiempos de setup o cambio de utillajes. Es decir, se fabrican unidades de los diferentes modelos en una secuencia mixta.
- **Multi-modelos:** se fabrican diferentes tipos de productos en una misma línea, pero los modelos varían considerablemente por lo que son fabricados por lotes, ya que son necesarios tiempos de setup.
- Según el tipo de operario:
  - **Líneas manuales:** compuestas por operarios humanos.
  - **Líneas robotizadas:** compuestas por robots, donde los procesos están totalmente automatizados.
- Según la duración de las operaciones:
  - **Determinísticas:** todos los tiempos de realización de las operaciones son conocidos con certeza.
  - **Estocásticas:** la duración alguna operación es aleatoria.
  - **Dependientes:** la duración de alguna tarea depende del tipo de puesto asignado, del tipo de operario, de la secuencia, etc.
- Según el tipo de flujo de los componentes:
  - **Sincrónicas:** Todos los puestos tienen un el mismo tiempo, por ello los componentes pasan de un puesto a otro al mismo tiempo.
  - **Líneas asincrónicas:** Entre los puestos se disponen buffers para el almacenaje de piezas que se han procesado en los puestos anteriores, ya que tienen tiempos de ciclo.
  - **Líneas de alimentación:** en las líneas de alimentación realizan pre-ensamblados que pasarán a ser componentes del producto final. En este caso, se dispone una línea principal donde se monta el producto y líneas suplementarias pre-ensamblan ciertos componentes del producto final.
- Según la configuración de la línea:
  - **Línea en serie:** dispone los puestos en serie y en operaciones pasan consecutivamente de un puesto a otro.
  - **Línea con puestos en paralelo:** dispone de dos o más puestos idénticos que realizaran en paralelo las mismas operaciones.
  - **Líneas paralelas:** disponen de varias líneas colocadas en paralelo.
  - **Líneas de dos lados:** dos líneas en serie son dispuestas en paralelo. De esta forma, se tiene dos puestos para realizar las mismas operaciones.
  - **Líneas circulares/cerradas:** se dispone de una cinta circular/cerrada que aprovisiona a todos los puestos. Sobre ella circulan los componentes que son cogidos por los operarios, que una vez han terminado de realizar las operaciones correspondientes, las liberan de vuelta sobre la cinta.
  - **Línea en forma de U:** Son líneas en forma de U para hacer más flexible el sistema de producción, ya que el número de combinaciones tareas-puesto es más elevado.

- Según la tasa de entrada de los componentes a la línea:
  - **Líneas de entrada fija:** los componentes entran en la línea a intervalos regulares.
  - **Líneas de entrada variables:** la tasa de entrada de los componentes a la línea es variable.

Los diferentes tipos de líneas de fabricación descritos anteriormente se pueden esquematizar según la figura 1:

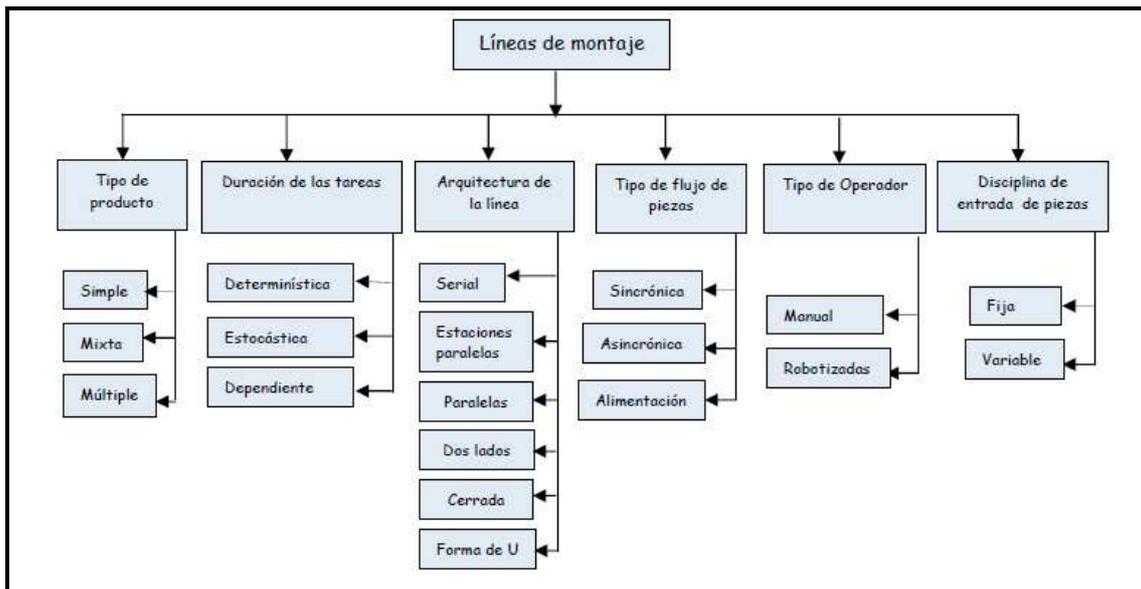


Figura 1. Tipos de línea de fabricación.

### 2.2.5. Tipos de problemas de equilibrado

Los problemas de equilibrado consisten en distribuir las operaciones necesarias para ensamblar un producto a través de los puestos que componen la línea de montaje, los cuales se clasificarán dependiendo de las restricciones y de los objetivos a alcanzar. En los problemas clásicos es necesario determinar el número mínimo de puestos o el tiempo de ciclo mínimo requerido para realizar un cierto número de operaciones, de manera que se optimice un objetivo, mientras se mantienen las relaciones de precedencias de las operaciones.

Según Ghosh y Gagnon 1989, plantea una clasificación en cuatro tipos: modelo simple determinístico, modelo simple estocástico, modelo multi/mixto determinístico y modelo simple multi/mixto estocástico. La siguiente figura muestra la clasificación de los problemas de equilibrado teniendo en cuenta los criterios de los autores citados anteriormente.

Si se tiene en cuenta los objetivos a conseguir, los problemas de equilibrado de líneas de fabricación se pueden clasificar, según Baybars 1986, entre los problemas de equilibrado simple (SALBP, Simple Assembly Line Balancing Problem) o generales (GALBP, General Assembly Line Balancing Problem). Esta clasificación queda reflejada en la figura 2.

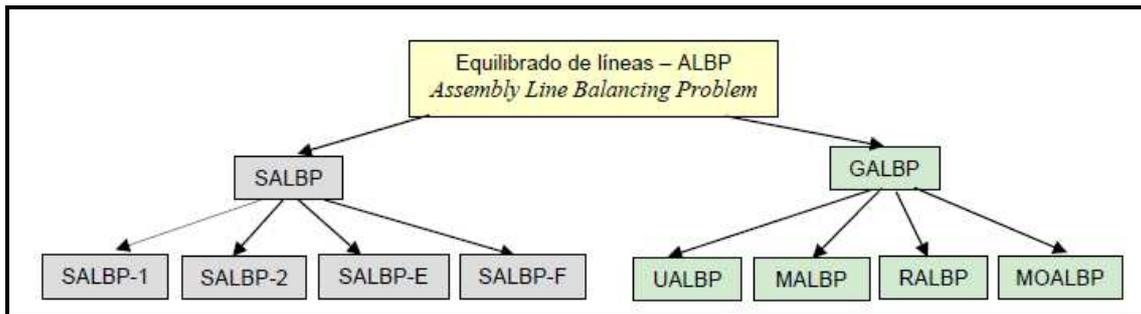


Figura 2. Tipos de problemas de equilibrado en líneas de montaje.

- **SALBP (problema simple de equilibrado de líneas):**

Para que un problema de equilibrado de líneas pueda ser incluido en esta tipología se deben cumplir las siguientes hipótesis. En caso contrario, no se trataría de un problema simple, sino de uno general GALP. Los puntos que deben presentarse son los siguientes:

- La línea solo produce un tipo de producto.
- La línea ha de ser en serie y sin buffers o alimentación intermedia.
- El tiempo de ciclo y la velocidad de la línea son constantes y la duración de las operaciones es independiente del puesto asignado y de las operaciones precedentes o sucesoras. Además, todos los parámetros de la línea se conocen con certeza.
- Una operación es indivisible.
- Todo puesto puede realizar cualquier operación.
- Las restricciones tecnológicas han de respetarse.
- Todas las operaciones han de ser realizadas.
- Distribución en planta lineal.

Los problemas simples de equilibrado de líneas se dividen a su vez en:

- *SALBP 1*: Se busca minimizar el número de puestos para un tiempo de ciclo determinado.
- *SALBP 2*: Se debe minimizar el tiempo de ciclo teniendo en cuenta un número de puestos de determinado.
- *SALBP E*: Se trata de minimizar el producto del tiempo de ciclo por el número de puestos.
- *SALBP F*: Su objetivo es en determinar si existe alguna solución para una combinación determinada de estaciones y tiempo de ciclo.

- **GALBP (problema general de equilibrado de líneas):**

Los GALBP incluyen todos los problemas de equilibrado que no son SALBP, como estaciones en paralelo, modelos mixtos, tiempos de proceso variables, etc.

Se distingue entre cuatro tipos:

- *UALBP (problema de equilibrado de líneas tipo U)*: Presentan las mismas características que los problemas SALBP pero considerando una línea tipo U en lugar de en serie. En este tipo de equilibrados se pueden asignar las tareas cuyos predecesores o sucesores ya hayan sido asignados, por lo que en un mismo ciclo se puedan manejar a la vez dos piezas en diferentes posiciones de la línea. Esto conlleva que existe una mayor combinación de posibilidades de asignar las tareas a los puestos. Al igual que en los SALBP, se clasifican los problemas UALBP-1, UALBP-2 y UALBP-E, dependiendo respectivamente si se minimiza el número de estaciones, el tiempo de ciclo y se maximiza la eficiencia de la línea.
- *MALBP (problema de equilibrado de líneas mixtas)*: Al ser líneas mixtas, como ya se ha comentado anteriormente, existen varios modelos de un mismo producto. Se consideran una serie de operaciones principales que se realizan en todos los modelos sin tener en cuenta tiempos de setup, y además, hay que secuenciar los diferentes modelos y determinar el tamaño de los lotes de cada modelo. En este sentido, también se clasifican este tipo de problemas en MALBP-1, MALBP-2 y MALBP-E.
- *RALBP (problema de equilibrado de líneas robotizadas)*: Se trata de asignar las operaciones y el número de robots a los puestos para optimizar la realización de las operaciones en la línea.
- *MOALBP (problema de equilibrado de líneas con objetivos múltiples)*: Se consideran varios objetivos al mismo tiempo.

## 2.3. Estudio y toma de tiempos

### 2.3.1. Aparatos de medida para la toma de tiempos

Para la medida del tiempo en la industria se utilizan los cronómetros mecánicos y electrónicos, y los microcronómetros.

Los cronómetros mecánicos, son aparatos con un mecanismo de relojería que puede ponerse en marcha o pararse a voluntad del operador. Los cronómetros electrónicos, son digitales y al accionar un pulsador aparece en un display el tiempo transcurrido entre las dos últimas pulsaciones y el tiempo total cronometrado hasta entonces. Por su parte, los microcronómetros, son aparatos accionados electromecánicamente, cuya unidad es el wink que equivale a 1/2000 de minutos.

### 2.3.2. Errores en la toma de datos

Los errores cometidos por los cronometradores pueden ser errores de lectura y errores de pulsación.

Los errores de lectura incluyen las posibles equivocaciones al considerar el tiempo, así como son los errores de paralaje, al no leer exactamente en la perpendicular de la aguja en cronómetros analógicos.

Los errores de pulsación se producen por la lentitud de reflejos del operador al no accionar el pulsador en el momento preciso coincidente con el principio o el fin del elemento o de la fase parcial en que se ha descompuesto el tiempo que se mide. También, se produce otro error cuando se mantiene accionado el pulsador del cronometro de vuelta a cero, con lo que la aguja no reemprende la marcha inmediatamente, reduciéndose el tiempo medido de la fase siguiente. Este tipo de error, mediante el entreno se puede reducir hasta conseguir que sea inferior al admisible, siendo éste de (+/-) 1%

Los errores en la toma de tiempos solo se producen con el uso de cronómetros mecánicos. Con los cronómetros electrónicos digitales no hay errores.

### 2.3.3. Etapas de un estudio de tiempos

---

Cuando se quiere realizar un estudio de tiempos con cronómetro se deben seguir las siguientes etapas:

- Estudio en el puesto de trabajo:
  - Análisis del método:  
Observación y anotación del método  
Descomposición en operaciones elementales
  - Toma de datos:  
Valoración de la actividad  
Anotación de los tiempos cronometrados

El estudio del puesto de trabajo se lleva a cabo en el puesto de trabajo, delante del operario, donde se realiza la tarea que se va a cronometrar.

- Análisis de los datos:
  - Cálculo del tiempo normal
  - Aplicación de los suplementos
  - Determinación de las frecuencias de los elementos
  - Cálculo del tiempo-tipo

El análisis de datos será realizado por el cronometrador en su despacho. Permite conocer el tiempo-tipo, que se logrará corrigiendo los tiempos de reloj medidos en el cronometraje, obteniendo sucesivamente por cálculo tiempos cada vez más elaborados y ajustados a la realidad cuyas denominaciones son las siguientes:

- Tiempo de reloj ( $T_0$ ), el tiempo medido en el cronometraje.
- Tiempo normal ( $T_n$ ), el tiempo medido corregido de acuerdo con la actividad demostrada por el operario durante el cronometraje.
- Tiempo normal representativo, el valor representativo de los tiempos normales obtenidos en varias mediciones de un mismo elemento de trabajo.
- Tiempo tipo ( $T_p$ ), el definitivamente adoptado, y que se resulta de añadir al tiempo normal representativo los suplementos por descansos del operario, etc.

### 2.3.4. Número de ciclos a cronometrar

Al realizar varios cronometrajes de un ciclo resultan que ser variables. Por tanto, para establecer un tiempo justo, es preciso tomar varios tiempos y actuaciones, de tal manera que se facilite la oportunidad de que se presenten, durante el cronometraje, las pequeñas variaciones.

Como es lógico la garantía de una mejor aproximación al valor medio crece con el número de datos obtenidos. Pero este número ha de ser consecuente con la importancia y el coste del estudio. Por ello, antes de determinar el número de ciclos de trabajo a cronometrar, es necesario decidir el nivel de confianza y la precisión que se quiere tener. Normalmente, se toman valores de nivel de confianza del 95% y de una precisión del 5%.

Teniendo en cuenta esto, el número de ciclos a cronometrar vendrá dado por la siguiente fórmula:

$$N = \left( \lambda_{\beta} \frac{s}{e} \right)^2$$

Donde:

N = Número de ciclos del estudio de tiempos

s = Desviación normal estándar

$\lambda_{\beta}$  = Valor de la distribución N(0,1) para un nivel de confianza deseado

e = Margen de error para un determinado nivel de precisión

### 2.3.5. Valoración de la actividad

La realización de estudios de tiempo debe determinar el tiempo que debe asignarse a un operario para la realización de una tarea, siendo justo tanto para el operario como para la empresa.

Tanto se si cronometra a un operario lento como rápido no se obra con justicia, ya que por un lado se estará dando más tiempo del que corresponde o, al contrario, menos. Lo mejor sería cronometrar a un operario medio. De todas formas, está también comprobado que la actividad de un hombre varía con el tiempo. Es decir, tiempo que lleva hacer el trabajo depende de la aplicación que ponga al realizarlo. Por ello, el tiempo que interesa determinar es aquel que corresponde a una actividad que no sea ni rápida ni lenta, sino normal (Tiempo normal Tn).

Con esto se define Tiempo normal (Tn), como el tiempo que precisa un operario medio, trabajando con una actividad normal para hacer la operación considerada. Como operario medio se entiende a una persona de constitución física normal y que tiene una inteligencia, formación y experiencia suficiente para realizar el trabajo con una calidad aceptable. Y como actividad normal aquella que puede realizar ese operario medio a un ritmo eficaz, que no es ni rápido ni lento para las características que rodean al trabajo.

Por otro lado, es muy importante el método de trabajo que emplee el operario. Es necesario permitir que el operario dedique algún tiempo a la adaptación a un nuevo método. Naturalmente es necesario, al hacer un cronometraje, tener en cuenta si el operario emplea o no el método establecido.

### 2.3.5.1. Definición de ritmo normal

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el método y las condiciones del puesto de trabajo han de permanecer constantes, por lo que realmente lo que hay que valorar en el cronometraje son los niveles de aptitud y voluntad del operario. Para realizar la valoración de la actividad, primero hay que establecer una referencia. La mejor referencia es el operario medio trabajando con actividad normal. Pero definir esta actividad normal es complicado. El cronometrador a de apreciar las diferencias que existen entre el ritmo efectivo que lleva el operario que está cronometrando y el propio concepto que tiene del que llevaría un operario que trabajase a un ritmo ni rápido ni lento para las condiciones y características que concurren en la ejecución de ese trabajo. Por ello, lo primero a establecer es una referencia, siendo la mejor aquella en el que el operario medio trabaja con actividad normal. Pero, ¿Cuál es la actividad normal? Existen multitud de definiciones acerca de este concepto.

El ritmo normal es el rendimiento que obtienen naturalmente y sin forzarse los trabajadores cualificados, como promedio de la jornada o turno, siempre que conozcan y respeten el método especificado. A este ritmo le corresponde el valor 100 en las escalas de valoración del ritmo. En la figura 3 se muestran ejemplos de ritmo de trabajo expresados según las principales escalas de valoración.

Escalas				Descripción del desempeño	Velocidad de marcha comparable <sup>a</sup>	
60-80	75-100	100-133	0-100 (norma británica)		(mi/h)	(km/h)
0	0	0	0	Actividad nula		
40	50	67	<b>50</b>	Muy lento; movimientos torpes, inseguros; el operario parece medio dormido y sin interés en el trabajo	2	3,2
60	75	100	<b>75</b>	Constante, resuelto, sin prisa, como de obrero no pagado a destajo, pero bien dirigido y vigilado; parece lento, pero no pierde tiempo adrede mientras lo observan	3	4,8
80	100	133	<b>100 (Ritmo tipo)</b>	Activo, capaz, como de obrero calificado medio, pagado a destajo; logra con tranquilidad el nivel de calidad y precisión fijado	4	6,4
100	125	167	<b>125</b>	Muy rápido; el operario actúa con gran seguridad, destreza y coordinación de movimientos, muy por encima de las del obrero calificado medio	5	8,0
120	150	200	<b>150</b>	Excepcionalmente rápido; concentración y esfuerzo intenso sin probabilidad de durar por largos períodos; actuación de «virtuoso», sólo alcanzada por unos pocos trabajadores sobresalientes	6	9,6

Figura 3. Ritmos de trabajo expresados en las diferentes escalas de valoración.

### 2.3.5.2. Escalas de valoración

Para ayudar a la valoración de la actividad, se han desarrollado una serie de escalas de valoración. Las escalas de valoración de actividades mas empleadas son las que a ritmo normal tienen los valores: 100, 60, 75, denominadas corrientemente: CENTESIMAL, BEDAUX Y 75-100.

En todas las escalas, la actuación óptima es 1/3 superior a la normal y, por lo tanto, se corresponderán con los valores 133,33, 80 y 100 respectivamente, usándose en la centesimal el valor de 140 en vez de 133,33 por razones de comodidad.

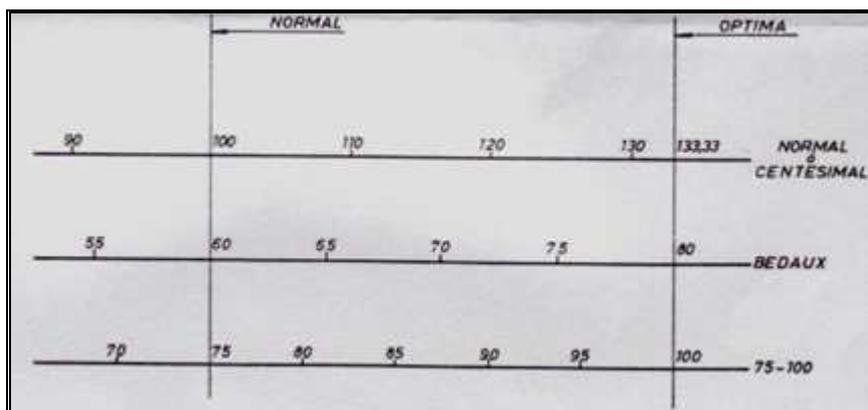


Figura 4. Escalas de valoración de la actividad de los operarios.

El cambio de escalas, o mejor dicho, la equivalencia entre las actividades valoradas en un sistema y en otro, se realizan fácilmente. Basta multiplicar el valor estimado por la relación que existe entre las actividades normales de los dos sistemas comparados.

Por ejemplo, la actividad 75 Bedaux corresponde a la 125 centesimal, ya que:

$$\begin{array}{l} 60 \text{ Bedaux} \text{-----} 100 \text{ Centesimal} \\ 75 \text{ Bedaux} \text{-----} X \text{ Centesimal} \end{array}$$

$$X \text{ Centesimal} = (100/60) \times 75 = 125$$

### 2.3.6. Cálculo del tiempo normal (Tn)

El cronometrador va haciendo lecturas del tiempo de reloj (To) y va anotando al lado de cada lectura el valor que le asigna a la actividad (Ao) con que el operario ha realizado el elemento de trabajo cuyo tiempo ha medido. Posteriormente, dividiendo el valor de la actividad correspondiente a cada elemento de trabajo, por el correspondiente a la actividad normal (An), se obtiene el factor de actuación de cada elemento.

De esta forma, multiplicando el tiempo de reloj (To) por el factor de actuación (Ao/An) se obtiene el tiempo normal (Tn) de cada elemento.

Matemáticamente que da representado por la siguiente expresión:

$$Tn = To \times (Ao/An)$$

Siendo:

Tn = Tiempo del elemento realizado a la actividad normal  
To = Tiempo cronometrado de este elemento  
Ao= Actividad valorada a ese elemento  
An= Actividad normal

### 2.3.7. Cálculo del tiempo-tipo (Tp)

Para cada uno de los elementos en que se haya descompuesto el ciclo de trabajo, se calcula el tiempo normal (Tn), que ha de ser incrementado por unos determinados suplementos. Éstos tienen en cuenta las necesidades personales del operario, su fatiga, etc.

De esta forma :

$$Tp = Tn \times (1 + K)$$

Siendo :

Tp = Tiempo tipo elemental  
Tn = Tiempo normal elemental  
K = Suplementos (figura 5)

Este tiempo corresponde a la medición de los ciclos de trabajo. Para determinar el tiempo tipo por unidad producida es necesario tener en cuenta las frecuencias, es decir, como se presentan en el ciclo de trabajo. De esta forma, pueden aparecer elementos regulares que se presenten en todos los ciclos de trabajo o varias veces por ciclo de trabajo, o pueden aparecer elementos que no se presenten en todos los ciclos de trabajo, sino cada x ciclos, y que es preciso tenerles en cuenta porque forman parte de la tarea. Así, se dividirá el tiempo tipo elemental entre el número de unidades que se realizan por cada por cada ciclo de actividad medido.

1. SUPLEMENTOS CONSTANTES			
	Hombres	Mujeres	
A. Suplemento por necesidades personales	5	7	
B. Suplemento base por fatiga	4	4	
2. SUPLEMENTOS VARIABLES			
	Hombres	Mujeres	
A. Suplemento por trabajar de pie	2	4	4
B. Suplemento por postura anormal			45
Ligeramente incómoda	0	1	
incómoda (inclinado)	2	3	
Muy incómoda (echado, estirado)	7	7	
C. Uso de fuerza/energía muscular (Levantar, tirar, empujar)			
Peso levantado [kg]			
2,5	0	1	
5	1	2	
10	3	4	
25	9	20	
35,5	22	máx	
D. Mala iluminación			
Ligeramente por debajo de la potencia calculada	0	0	
Bastante por debajo	2	2	
Absolutamente insuficiente	5	5	
E. Condiciones atmosféricas			
Índice de enfriamiento Kata			
16		0	
8		10	
F. Concentración intensa			
Trabajos de cierta precisión		0	0
Trabajos precisos o fatigosos		2	2
Trabajos de gran precisión o muy fatigosos		5	5
G. Ruido			
Continuo		0	0
Intermitente y fuerte		2	2
Intermitente y muy fuerte		5	5
Estridente y fuerte			
H. Tensión mental			
Proceso bastante complejo		1	1
Proceso complejo o atención dividida entre muchos objetos		4	4
Muy complejo		8	8
I. Monotonía			
Trabajo algo monótono		0	0
Trabajo bastante monótono		1	1
Trabajo muy monótono		4	4
J. Tedio			
Trabajo algo aburrido		0	0
Trabajo bastante aburrido		2	1
Trabajo muy aburrido		5	2

Figura 5. Sistema de suplementos por descanso porcentajes del tiempo normal (Tn), según la Introducción al Estudio del Trabajo, de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) de 1970.

## 2.4. Estandarización del puesto de trabajo (SPT). Fichas de operación estándar (FOS)

La estandarización del puesto de trabajo nace de si cada persona aplicase métodos de trabajo diferentes, si el turno de día aplicase un modo operatorio diferente al del turno de noche, si cada operario diese su propia valoración sobre la calidad de los productos antes de transmitirla al proceso siguiente no se podría entregar el mejor producto en los mejores plazos y con el menor coste.

Por esto, es necesario establecer las operaciones estándares, que son las normas o modos operatorios del taller. Se definen como el mejor método de realización de las operaciones, que permite

conseguir los objetivos de calidad, coste y plazo, garantizando al mismo tiempo la seguridad del operario.

Debe señalarse que la operación estándar es el mejor método del momento, pero que debe ser mejorada constantemente para mantenerla, mediante el refuerzo de las competencias y la mejora de la implantación de los equipos en el taller, del utillaje y del modo operatorio.

La operación estándar queda recogida en la hoja de operación estándar, siendo una herramienta destinada para:

- Establecer los mejores estándares en el taller
- Enseñar a los colaboradores de la empresa
- Velar por su correcta aplicación observando las operaciones
- Mejorarlos

Por ello, hay que elaborar una hoja de operación estándar con el fin de utilizarla cotidianamente. Una hoja que no se utiliza, no tiene ninguna razón de ser.

Existen cinco tipos de hojas de operación estándar (FOS), según el tipo de trabajo al que se refieren:

- FOS Anaálisis
- FOS Procedimiento
- FOS Operario
- FOS Operario/Máquina
- FOS Sinóptico

Estas FOS están divididas en dos niveles de tipo. Así, en primer lugar se analizan las operaciones y se elaboran las FOS Análisis, Procedimiento y Sinóptico. A continuación, se reparte el trabajo por los puestos y se redactan las FOS Operario y Operario/Máquina.

#### **2.4.1. Campos que abarca el establecimiento de una operación estándar**

---

Todas las operaciones que los operarios ejecuten deben ser estandarizadas:

- **Operaciones de fabricación:** todas las operaciones realizadas por los operarios en los diferentes oficios: embutición, chapa, pintura, mecanizado, etc.
- **Operaciones asociadas:** operaciones de control, de mantenimiento de máquina y utillajes, cambio de contenedores, aprovisionamiento de líquido de corte, etc.

- **Operaciones temporales o puntuales:** en el caso de defecto o anomalía de una máquina, se establece un estándar provisional bajo la forma de hoja de operación estándar hasta que la medida correctiva definitiva sea aplicada. También en el caso toda operación realizada por primera vez o en aquellas en que la frecuencia es difícil de prever y que necesita ser tratada de forma diferente cada vez.

## 2.4.2. Elementos determinados por la operación estándar

---

Establecer una operación estándar es determinar:

- **El proceso de la operación (incluidos los desplazamientos)**
  - Debe estar perfectamente claro para el operario el orden de ensamblaje de las piezas, los desplazamientos, la forma de llevar, transportar, la forma de disponer una pieza en la máquina o quitarla, etc.
  - Se deben tener en cuenta los cuatro principios de la economía de movimientos.
  - El control del respeto del procedimiento permite detectar las anomalías.
- **Los puntos clave**
  - Toda la experiencia, todas las astucias, intuiciones, que permitan una producción de calidad o que garanticen la seguridad del operario, así como la facilidad de realización, deben estar integradas en la operación como puntos clave.
  - Gracias a la revalorización de los puntos clave en la hoja de operación estándar, se pueden transmitir las competencias.
  - El no respeto de los puntos clave provoca no solo el deterioro de la calidad y de la seguridad, sino retrasos en la operación, etc.
- **El tiempo objetivo de la operación**
  - Es el tiempo operatorio en el que un operario competente realiza la operación. Tiene que ser claramente definido.
  - Identificando el tiempo objetivo, se puede ver si el nivel de saturación del operario es bueno.
- **El stock estándar**
  - Es el volumen de stock mínimo necesario para la continuidad del proceso.
  - Debe establecerse cuando el proceso y el tiempo objetivo de la operación se fijan de forma estable.
  - En los talleres en los que los stocks estándar están definidos con exactitud, es fácil detectar anomalías y determinar la causa, con solo observar el stock.

---

### 2.4.3. Los cuatro principios de la economía de movimientos

---

En la elaboración de una hoja de operación estándar no hay que olvidar tener en consideración los cuatro principios de la economía de movimientos:

- **Reducir el número de movimientos**
  - Eliminar movimientos directamente (entre dos operaciones unitarias, no racionales e inútiles).
  - Reducir en número de movimientos (movimientos de ayuda).
- **Ejecutar los movimientos al mismo tiempo**
  - Operaciones simultáneas con las dos manos (efectuar movimientos simétricos con las dos manos es fácil)
  - Reducir los tiempos muertos de cada mano (equilibrar la actividad mano derecha-izquierda).
- **Disminuir las distancias de los movimientos**
  - Desplazarse-mantenerse en pie-Hombro-Brazo.Antebrazo\_Mano\_dedo
  - Cambiar un movimiento curvilíneo por uno rectilíneo.
- **Hacer los movimientos más fáciles**
  - Eliminar los factores que dificultan los movimientos.
  - Reducir los pesos a manipular (uizando dispositivos guiados o por gravedad).

---

### 2.4.4. FOS Análisis y FOS Operario

---

La FOS Análisis determina las etapas principales y los puntos clave de la operación, y se aplica en los siguientes campos:

- En cualquier operación que implique los mismos movimientos de la misma duración dentro de un determinado ciclo.
- En cualquier operación fácil de estandarizar hasta en los menores movimientos, movimientos controlados en minutos e incluso en operaciones cotidianas.
- En cualquier operación difícil de enseñar sin estandarizar sus menores movimientos.

El proceso de elaboración de una FOS Análisis es el siguiente:

- **Análisis de la operación**

Es el análisis detallado de las secuencias de una operación unitaria (para cada pieza, para cada operación). Es la base de estandarización de las operaciones.

Se basa en la observación de los movimientos del operario, sobre una prueba práctica permitiendo descubrir más fácilmente los movimientos ineficientes o irracionales y en qué lo son.

Cuando el análisis de la operación está efectuado, las etapas principales y los puntos clave se pueden identificar fácilmente. Además, el contenido de la operación se vuelve claro y se pueden dar instrucciones detalladas sin error. Esto ayuda a encontrar los puntos de posible mejora de la operación en curso. Y las capacidades de observación será también mejoradas.

- **Elección del método**

En la elección del método serán tenidos en cuenta los cuatro principios de la economía de movimientos.

- **Confirmar el análisis de la operación**

Una vez efectuado el análisis, realizar las secuencias tal como se han definido y si algo no conviene, rehacer el análisis de la operación y modificarla.

- **Identificar las etapas principales y puntos clave**

Una etapa principal es la síntesis de las operaciones secuenciadas a partir del análisis de la operación.

Un punto clave es un elemento esencial para la ejecución de una etapa principal. Su no respeto por el operario, comprometería la calidad, la seguridad y la facilidad de realización.

- **Confirmar las etapas principales y los puntos clave**

- **Determinar el tiempo objetivo de las operaciones**

El tiempo objetivo es el tiempo en el que un operario competente puede realizar una operación continuamente preservando calidad y seguridad.

Decir que, una operación estándar debe ser elaborada cada nueva operación, ya sea por arranque de un nuevo modelo, modificaciones técnicas, etc.

Además, tendrá que ser revisada periódicamente cada vez que las condiciones de una operación estándar cambien o que se haya introducido una mejora. Incluso si no se dan estas condiciones deberá revisada al menos cada seis meses.

Por otra parte, la FOS Operario reagrupa el conjunto de las operaciones asignadas a un operario en función del tiempo de ciclo a partir de la FOS Análisis. En ella se indica a cada operario:

- Cómo ejecutar las operaciones, aplicar el proceso.
- Los puntos clave a respetar
- El volumen de las operaciones que le han sido atribuidas.
- El tiempo objetivo de esas operaciones.
- Los stocks estándar.

- Los puntos de control de la calidad.
- La disposición del taller.
- Los desplazamientos que debe ejecutar durante la operación.

## 2.5. Cinco S

---

Las cinco S son en japonés: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke, y en castellano se traducen por seleccionar, organizar, limpiar, estandarizar y disciplina.

Se refiere a un conjunto de actividades encaminadas a actuar directamente en los puestos de trabajo, haciéndolos más limpios, más organizados y más seguros. Esto hace que mejore el ambiente de trabajo, la seguridad de personas y equipos, la productividad y la eficiencia. El objetivo central de las cinco S es lograr el funcionamiento más eficiente y uniforme de las personas en los centros de trabajo, y de forma general los beneficios de las cinco S son:

- Mayores niveles de seguridad que redundan en una mayor motivación de los empleados
- Mayor calidad
- Tiempos de respuesta más cortos
- Aumenta la vida útil de los equipos
- Genera cultura organizacional
- Reducción en las pérdidas y mermas por producciones con defectos

### 2.5.1. Seleccionar (seiri)

---

Se marca en el puesto de trabajo todos los elementos que innecesarios para para realizar la tarea, de esta forma se selecciona lo realmente necesario. Para realizar esta labor, es muy útil el etiquetado con tarjetas rojas. Se coloca una tarjeta, que significa expulsión, a cada elemento considerado como no necesario para la operación. Posteriormente, estos artículos son retirados a un área de almacenamiento transitorio. Para que, si se confirma que son innecesarios, se dividan en dos clases, los que se pueden utilizar para otra operación y los no, que serán descartados.

Esta metodología de selección libera espacios de la planta, al retirar herramientas rotas, u obsoletas, recortes y excesos de materia prima, etc.

Seleccionar consiste en:

- Separar en el puesto de trabajo las cosas que realmente sirven de las que no sirven.
- Diferenciar lo necesario de lo innecesario para el trabajo rutinario.
- Mantener lo que necesitamos y eliminar lo excesivo.

- Separar los elementos empleados de acuerdo a su naturaleza, uso, seguridad y frecuencia de utilización con el objeto de facilitar la agilidad en el trabajo.
- Organizar las herramientas en ubicaciones donde los cambios se puedan realizar en el menor tiempo posible.
- Eliminar elementos que afectan el funcionamiento de los equipos y que pueden producir averías.
- Eliminar información innecesaria y que nos pueden conducir a errores de interpretación o de actuación.

### 2.5.2. Organizar (seiton)

---

Una vez se han clasificado los elementos como necesarios, se organizan éstos para que puedan ser encontrados con facilidad. Para ello se establecen normas de orden como pintar el suelo delimitando claramente áreas de trabajo y ubicaciones, así como estanterías modulares para tener los botes de basura, escobas, trapos, etc.

El organizar permite:

- Disponer de un sitio adecuado para cada elemento utilizado en el trabajo del día a día facilitando su acceso y retorno al lugar
- Disponer de un sitio identificado para ubicar elementos que se emplean con poca frecuencia
- Disponer de lugares para ubicar el material o elementos que no se usarán en el futuro
- En el caso de maquinaria, facilitar la identificación visual de los elementos de los equipos, sistemas de seguridad, alarmas, controles, sentidos de giro, etc.
- Lograr que el equipo tenga protecciones visuales para facilitar su inspección autónoma y control de limpieza
- Identificar y marcar todos los sistemas auxiliares del proces como tuberías, aire comprimido, combustibles, etc.
- Incrementar el conocimiento de los equipos por parte de los operadores de producción

### 2.5.3. Limpiar (seiso)

---

Se refiere al eliminar toda suciedad y polvo en todos los elementos de una planta. Limpiando el polvo, limaduras, grasa, aceites, taladrinas u otro tipo de suciedad o residuos, hace que el operario se identifique con su puesto y con las máquinas asignadas.

Además, hay que considerar que no solo es necesario la limpieza periódica, sino que el objetivo es integrarla en los hábitos y en los procedimientos de trabajo.

Para aplicar la limpieza se debe:

- Integrar la limpieza como parte del trabajo diario
- Asumir la limpieza como una actividad de mantenimiento autónomo: "la limpieza es inspección"
- Se debe abolir la distinción entre operario de proceso, operario de limpieza y técnico de mantenimiento
- El trabajo de limpieza como inspección genera conocimiento sobre el equipo. No se trata de una actividad simple que se pueda delegar en personas de menor calificación
- No se trata únicamente de eliminar la suciedad. Se debe elevar la acción de limpieza a la búsqueda de las fuentes de contaminación

#### **2.5.4. Estandarizar (seiketsu)**

---

Estandarizar tiene la función de conservar el estado de limpieza y organización logrado con la aplicación de las anteriores S's. Esta etapa debe ser permanente y su objetivo es distinguir fácilmente una situación normal de otra anormal, mediante normas sencillas y controles visuales, basados en los comportamientos defectuosos.

Para llevarla a cabo, por ejemplo, los trabajadores crean programas o diseñan mecanismos que les permitan beneficiarse a sí mismos. También, se localizan fotografías del puesto de trabajo en condiciones óptimas para que pueda ser visto por todos los empleados.

La estandarización pretende:

- Mantener el estado de limpieza alcanzado con las tres primeras S
- Enseñar al operario a realizar normas con el apoyo de la dirección y un adecuado entrenamiento.
- Las normas deben contener los elementos necesarios para realizar el trabajo de limpieza, tiempo empleado, medidas de seguridad a tener en cuenta y procedimiento a seguir en caso de identificar algo anormal
- En lo posible se deben emplear fotografías de como se debe mantener el equipo y las zonas de cuidado
- El empleo de los estándares se debe auditar para verificar su cumplimiento
- Las normas de limpieza, lubricación y aprietes son la base del mantenimiento autónomo (Jishu Hozen)

#### **2.5.5. Disciplina (shitsuke)**

---

La disciplina trata de evitar que se rompan los procedimientos ya establecidos. Sólo si se implanta la disciplina y el cumplimiento de las normas y procedimientos ya adoptados se podrá disfrutar de los beneficios que ellos brindan, ya que sirve de herramienta para la mejora continua.

La disciplina se lleva a cabo mediante controles periódicos, visitas sorpresa, autocontroles de los empleados, respeto por sí mismo y por los demás, además de:

- El respeto de las normas y estándares establecidos para conservar el sitio de trabajo impecable
- Realizar un control personal y el respeto por las normas que regulan el funcionamiento de una organización
- Promover el hábito de autocontrolar o reflexionar sobre el nivel de cumplimiento de las normas establecidas
- Comprender la importancia del respeto por los demás y por las normas en las que el trabajador seguramente ha participado directa o indirectamente en su elaboración
- Mejorar el respeto de su propio ser y de los demás

### **2.5.6. Gestión visual**

---

Aunque, estrictamente, la gestión visual no está dentro de las 5S, se pueden extrapolar sus principios, metodología y resultados como si fuese una herramienta tipo 5S. En el sentido, que se trata de una herramienta que engloba a todas las 5S en ella sola, ya que sus principios también son los de organizar, seleccionar, limpiar, estandarizar y la disciplina.

De esta forma, la gestión visual consiste en un conjunto de sistemas que permiten a cualquier persona evaluar, de manera rápida y fácil, el estado actual de una operación o proceso, independientemente de si conoce o no el mismo.

La gestión visual está íntimamente relacionada con los procesos de estandarización. Se representa mediante elementos gráficos o físicos, de colores o numéricos y muy fáciles de ver. Gracias a esto, se aprecia inmediatamente si una operación particular está procediendo normal o anormalmente.

## 3. Lugar de aplicación

### 3.1. Grupo Gestamp Automoción

El lugar de aplicación del proyecto es la empresa Sofedit España S.A., en su planta de Valladolid. Está situada en la Calle Aluminio, 40 en el polígono de San Cristobal.

Sofedit España S.A. pertenece al grupo Gestamp Automoción, grupo internacional dedicado al diseño, desarrollo y fabricación de componentes y conjuntos metálicos para el automóvil.

En la actualidad Gestamp está presente en 22 países, cuenta con 95 plantas industriales (45 en Europa Oeste, 8 en América del Norte, 9 en América del Sur y 14 en Asia) y 13 centros de I+D. la cifra de negocios de 2011 fue de 4.775 millones de euros, contando con una plantilla de 25.000 empleados en todo el mundo, repartidos porcentualmente según la figura 5.

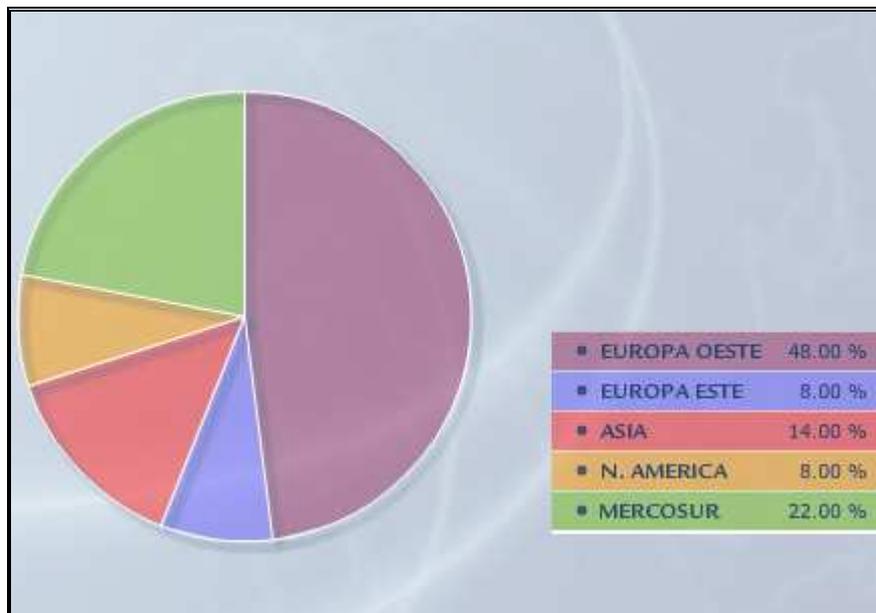


Figura 6. Distribución de la plantilla de Gestamp Automoción por continentes.

Gestamp es proveedor de los principales fabricantes de automóviles del mundo como Volkswagen, Renault-Nissan, Peugeot-Citroën, Daimler, GM, Ford, Chrysler, Audi, Bentley, Daewoo, BMW, Fiat, Iveco, Jaguar, Land-Rover, Mazda, Mercedes-Benz, Porsche, Opel, Saab, Seat, Suzuki, Skoda, Volvo, Hyundai, Toyota.

Sus productos están englobados en piezas de piel y partes móviles, componentes de carrocería, chasis, parachoques y traviesas de salpicadero.

En la última década, Gestamp Automoción ha experimentado un fuerte crecimiento siendo sus ejes fundamentales el desarrollo de productos, el incremento de la seguridad en sus procesos de fabricación y la reducción del peso, con la consecuente reducción de consumo de combustibles y respeto por el medio ambiente.

En las figuras 7 y 8 queda reflejado el importante crecimiento del dicho grupo, tanto a nivel de personal contratado como de a nivel de facturación. Así, se aprecia que ambos se han visto multiplicados por 5 desde 2001.

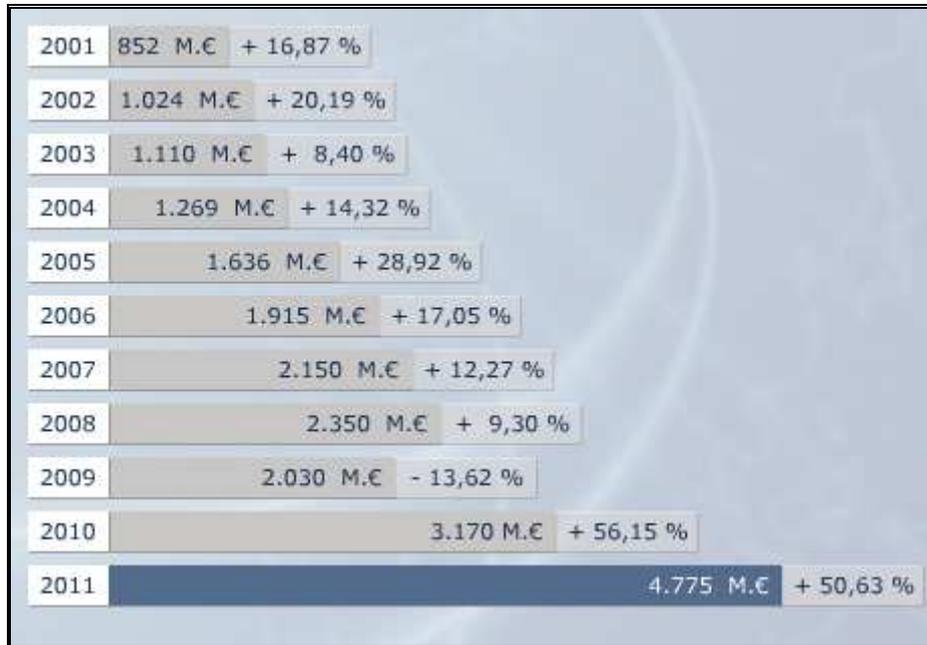


Figura 7. Facturación Gestamp Automoción en la última década.

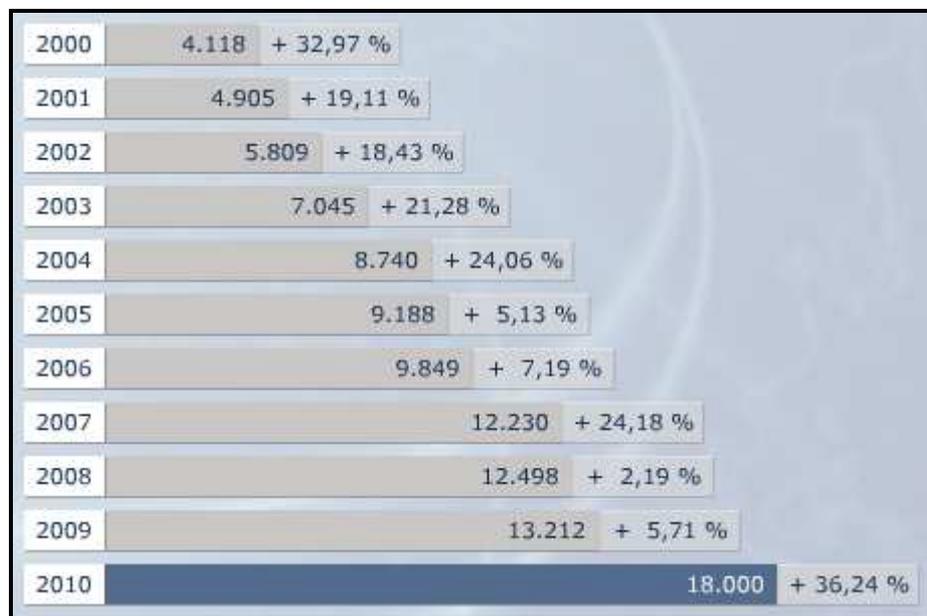


Figura 8. Evolución de la plantilla de Gestamp Automoción en la última década.

## 3.2. Sofedit España S.A.

### 3.2.1. Descripción general

Como ya se ha comentado, el proyecto se desarrolla en la Sofedit España S.A., en su planta de Valladolid. Está situada en la Calle Aluminio, 40 en el polígono de San Cristobal, como queda reflejado gráficamente en las dos figuras siguientes. En la figura 9, aparece una localización general de la planta, situada al sur-este de la localidad de Valladolid. La figura 10 muestra la localización exacta dentro del polígono de San Cristobal.



Figura 9. Localización general de la planta Sofedit España S.A.

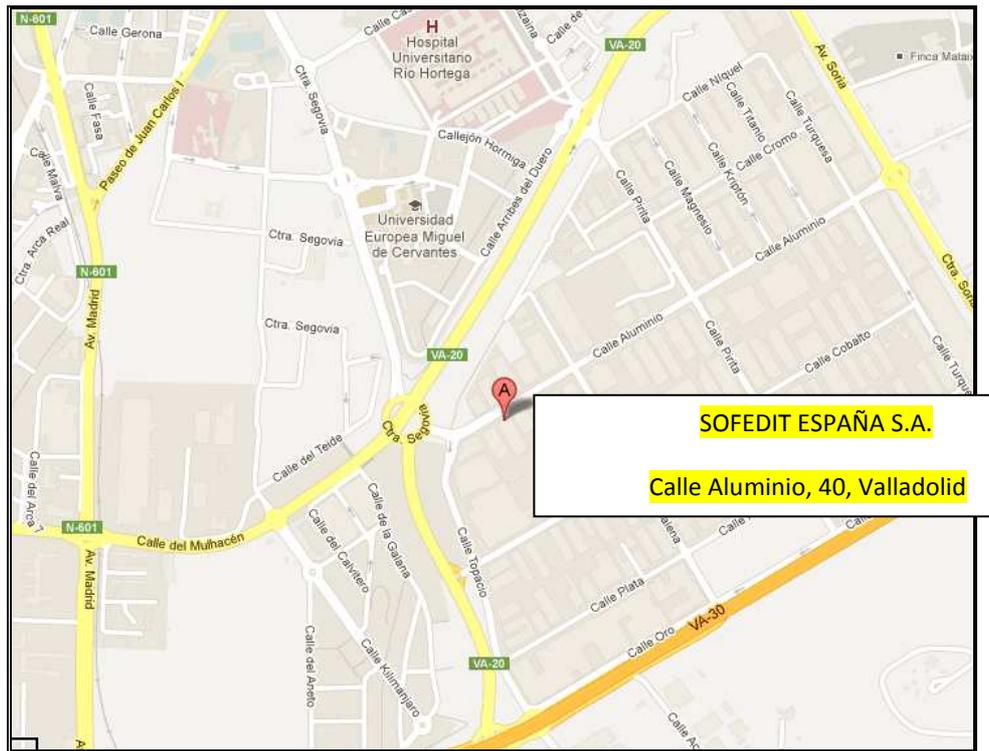


Figura 10. Plano de situación de la planta Sofedit España S.A.

Esta planta inició su actividad bajo el nombre de Sofedit Ibérica en el año 1997. Su actividad está encuadrada en la fabricación de componentes para el automóvil. Su importe neto de cifra de negocios en 2010/2011 fue de 10 millones de euros.

Cuenta con una superficie de 4.500 m<sup>2</sup>, de los cuales 2.500 están destinados a producción, 1.500 a stocks y 500 a oficinas. En la figura 11 aparece la entrada principal de la planta.

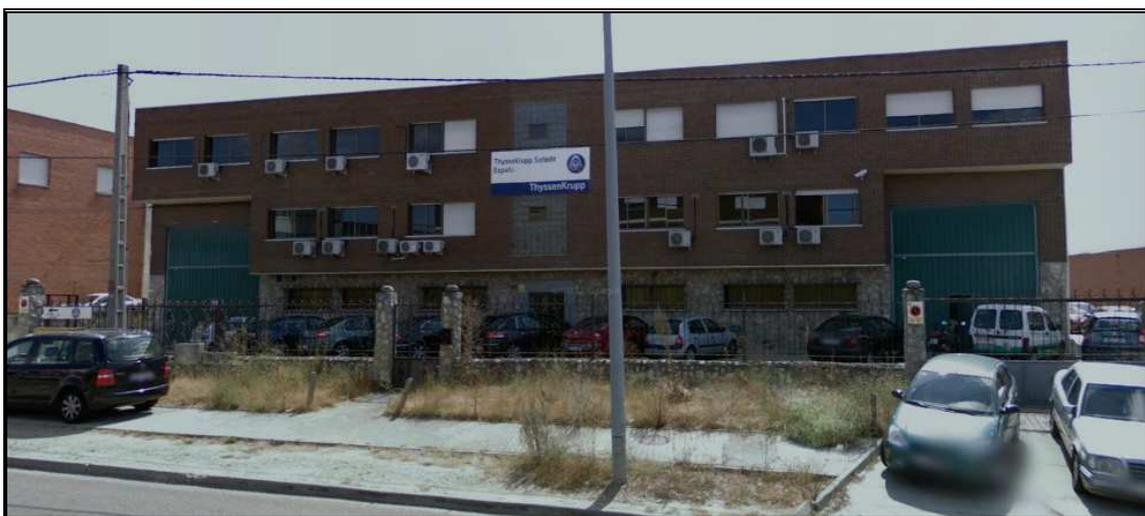


Figura 11. Entrada de la planta Sofedit España S.A.

En 2011 contaba con 48 empleados, cuya antigüedad media en la empresa es de 10 años. Además, la edad media de la plantilla es de 39 años.

Sus principales clientes son PSA, que representa el 70% de su facturación total, Faurecia con un 28% y Renault/Nissan con un 2%.

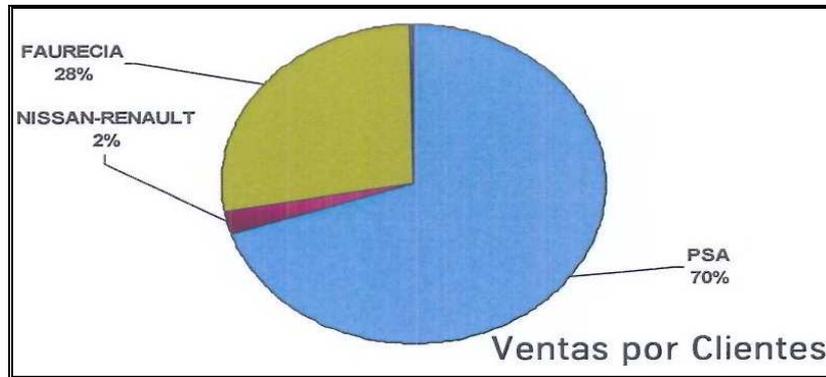


Figura 12. Distribución de las ventas de la planta Sofedit España S.A.

A nivel nacional, la siguiente imagen muestra como PSA Vigo, Faurecia Ourense, SAS Palencia, Renault Valladolid y PSA Villaverde son sus principales clientes.



Figura 123. Principales clientes de la planta Sofedit España S.A.

A nivel internacional, tal como aparece reflejado en la siguiente imagen, sus principales clientes son Renault MPR, PSA Vesoul y TK Basil.

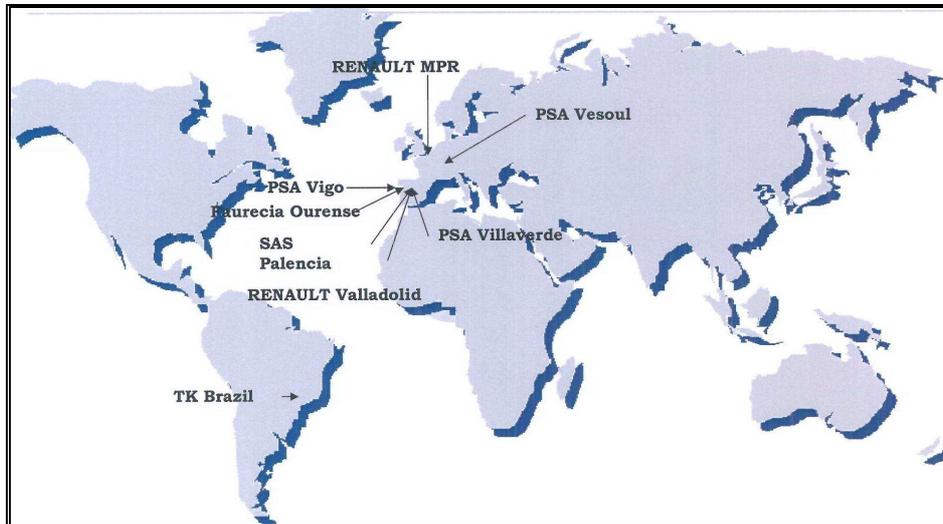


Figura 34. Principales clientes a nivel internacional de la planta Sofedit España S.A.

Con respecto a los procesos que se llevan a cabo en esta planta destacar el ensamblado de traviesas, pasos de rueda, pedaleras, la soldadura manual de refuerzo de parachoques, etc. En la figura 15 aparecen descritos gráficamente dichos procesos:



Figura 15. Principales procesos y productos de la planta Sofedit España S.A.

Respecto al nivel de ventas de cada uno de los productos, destacar que el 55% de las mismas se refieren a pedaleras, el 28% a traviesas, el 14% a pasos de rueda y el resto a productos varios. (Ver figura 16).

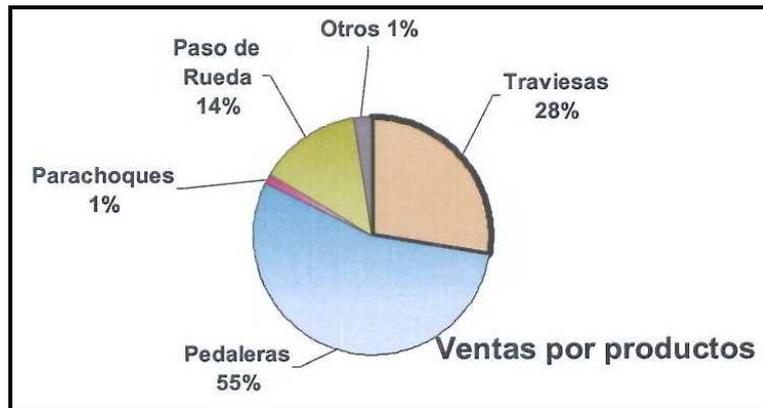


Figura 16. Distribución de las ventas por productos de la planta Sofedit España S.A.

La política de Sofedit España S.A. con respecto al absentismo es buscar que no supere el 2%. Según la grafica siguiente, se observa que tanto en el año 2009/10 como en el 2010/11 se ha conseguido dicho objetivo. Del mismo modo, también se ha cumplido la política en relación a la seguridad laboral.

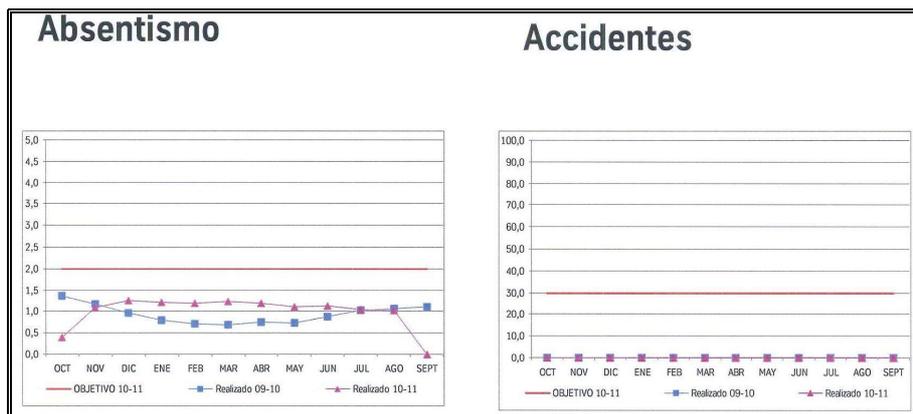


Figura 17. Nivel de absentismo y número de accidentes en la planta Sofedit España S.A.

Además, posee el certificado ISO 9001, en materia de calidad.

### 3.2.2. Layout planta

La planta tiene una una sección rectangular de 4.500 m2, estando su entrada principal por el lado oeste a través de la calle Aluminio. En dicho emplazamiento se encuentran las oficinas. Éstas se localizan de norte a sur, con planta rectangular también y constan de tres plantas. La primera se sitúa a pie de taller, constando de las oficinas de producción, vestuarios, laboratorios, etc. las otras dos plantas son oficinas para la gestión y producción de la planta.

Delante de la fachada principal de oficinas existe una zona destinada al aparcamiento de los vehículos de personal de plantilla, sí como a lo largo del lado sur de la planta.

Además, la parcela donde se sitúa la planta posee una superficie adicional localizada al este, la cual no está edificada. Está destinada al stockaje de contenedores vacíos. Es por este lado este de la planta por donde se reciben los componentes y donde se expiden los productos terminados. Cuenta con dos puertas, una al norte y otra al sur, según se puede apreciar en la figura 18. Para ello, los camiones entran por la entrada principal en la calle Aluminio, discurren paralelos al lado norte de la planta y llegan a las entradas del lado este.

En cuanto al layout de la planta, se aprecia que las líneas de producción y ensamblaje se localizan principalmente en los lados sur y norte de la planta, a lo largo de la pared del edificio. Para dar acceso a estas dos zonas se disponen dos pasillos longitudinales que convergen en un pasillo común transversal, paralelo al lado este de la planta, junto a las oficinas de producción. Estos dos pasillos principales finalizan en cada una de las entradas de mercancías de la zona este.

Entre los dos pasillos mencionados anteriormente, y en posición longitudinal según la planta de la nave, se localizan otras líneas de producción y ensamblaje.

La figura 18 muestra gráficamente la distribución en planta de la fábrica. En color naranja son las zonas destinadas a líneas de producción y ensamblajes. En color azul, son zonas de almacenamiento de componentes de origen externo (POE). En color verde, son áreas donde se localizan componentes de origen interno (POI). En color rojo quedan reflejados los almacenes de producto final, localizados lo más cercano posible a la entrada de camiones.

Por otro lado, en gris se encuentra la zona de bloqueo de productos, por defectos, falta de información, etc. Y en negro, se refleja el la oficina de recepción /expedición, donde se realiza la documentación pertinente de las cargas/descargas de productos.

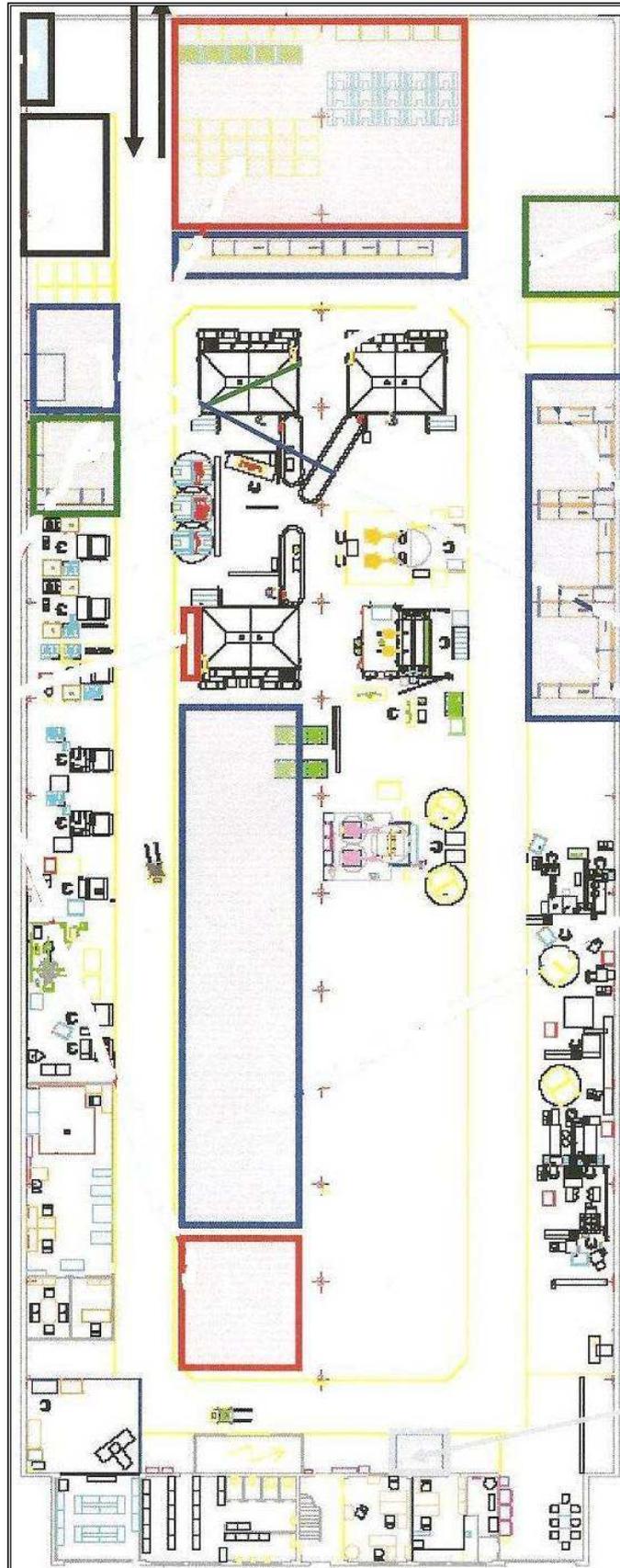


Figura 18. Layout de la planta Sofedit España S.A.

### 3.2.3. Layout líneas proyecto

---

El proyecto que se realiza tiene como objeto la optimización de las líneas de ensamblaje de las pedaleras B-9 y B-58, es por ello, que se hace una descripción más detallada del layout de la zona que comprende dichas líneas.

Esta zona está situada al noroeste de la planta. Las dos líneas de ensamblaje se disponen longitudinalmente en relación a la planta del edificio y lindando al norte con la pared norte de la fabrica y al sur con uno de los dos pasillos longitudinales.

Como muestra la figura 19 la línea de ensamblaje de las pedaleras B-58 es la que está mas situada al oeste. A su derecha transversalmente al pasillo, se encuentra una estantería destinada a zona de aprovisionamiento de componentes de peso y dimensiones reducidas, tanto para la línea B-58 como para la línea B-9. Continuando hacia el este, se encuentra la zona de estocaje de los pedales, también componentes de ambas líneas. Anexo a esta área se encuentra la línea de ensamblaje de las pedaleras B-9. Le sigue un pasillo donde se dispone un pequeño stocaje de dos componentes de las pedaleras B-9. Y finalmente, se localiza la zona de stocaje de carcasas, tanto para el modelo B-58 como el B-9. Estas carcasas son un componente de la pedalera final. Dependiendo de la línea de ensamblaje y el modelo de pedalera son considerados de diferente forma:

- **Pedaleras B-9:** las carcasas son consideradas componentes de origen interno (POI). Es decir, se stocan todas las unidades y posteriormente se aprovisionan a la línea de ensamblaje.
- **Pedaleras B-58-A (Automático):** un porcentaje pequeño de las carcasas de este modelo son consideradas componentes de origen interno (POI), por lo tanto stocadas, y la mayor parte pasan del puesto de producción de carcasas a los puestos de ensamblaje directamente. Es decir, en este modelo hay un aprovisionamiento mixto de carcasas. O bien directamente del operario de carcasas o a través de contenedores stocados. Esto es necesario, ya que la línea está desequilibrada. Uno de los operarios de ensamblaje tiene un tiempo de ciclo sensiblemente inferior al tiempo de ciclo del operario de producción de carcasas.
- **Pedaleras B-58-M (Manual):** las carcasas pasan directamente del operario de producción de carcasas a los operarios de ensamblaje.

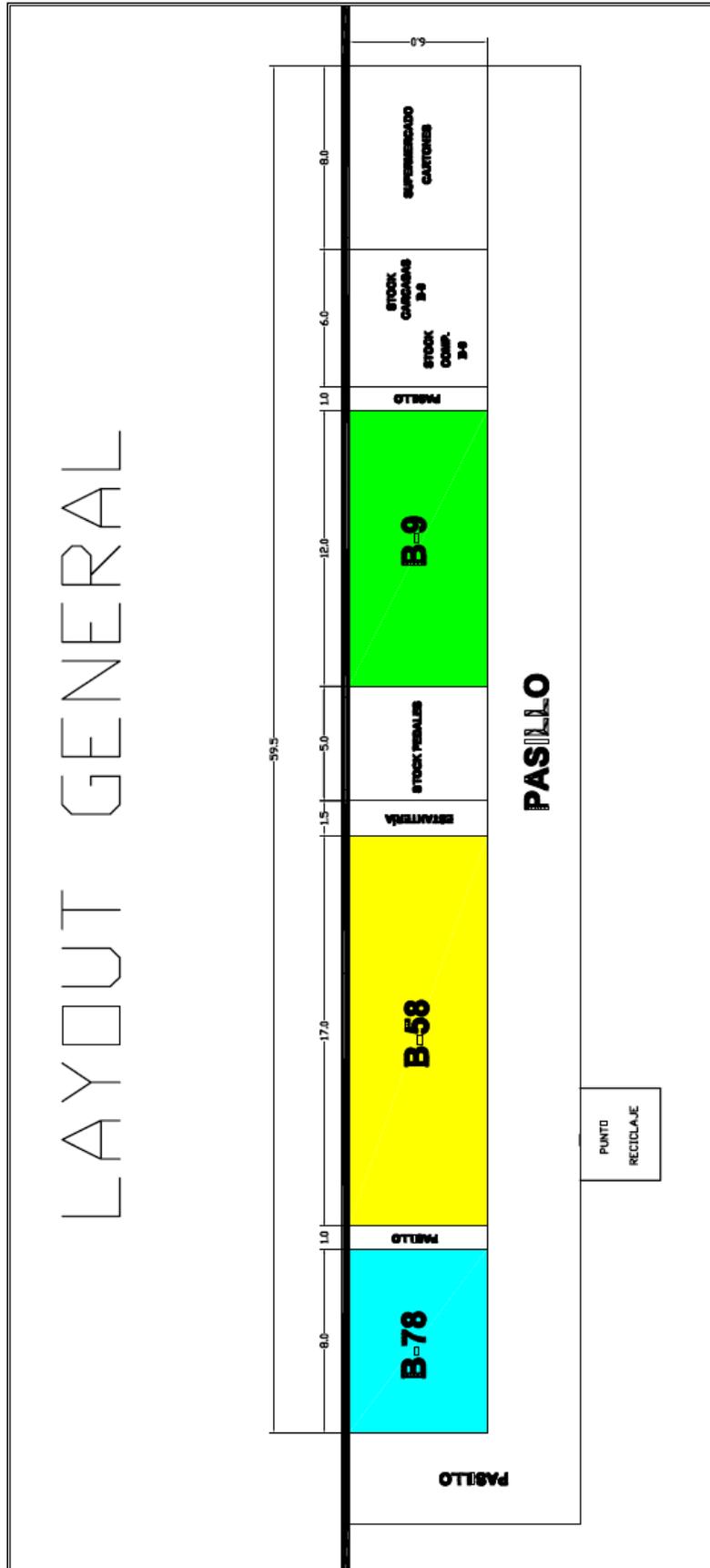


Figura 19. Layout zona líneas de proyecto en la planta Sofedit España S.A.

### 3.2.3.1. Layout líneas pedaleras B-58

En la línea de pedaleras B-58 se fabrican dos modelos. Por un lado, las pedaleras automáticas B-58-A), que no llevan pedal de embrague, y por otro, las pedaleras manuales (B-58-M), que sí llevan pedal de embrague.

La línea pedalera B-58- Automático consta de tres puestos de trabajo, con un operario en cada uno. El flujo de producto va desde el operario de carcasas, para pasar posteriormente por el puesto del operario de ensamblaje, y finalmente, por el puesto de control.

En el puesto de trabajo número uno, o puesto de carcasas, el operario ensambla el producto de origen intermedio (POI) carcasa de la pedalera. Esto se realiza mediante dos máquinas que mediante dos puntos de soldadura unen los tres componentes de dicha carcasa. Parte de este producto es almacenado en contenedores para su almacenaje en una zona intermedia y posteriormente ser transportado mediante carretilla al puesto número dos, o puesto de ensamblaje. Pero la mayor parte de las carcasas son aprovisionadas directamente al puesto de ensamblaje a través de una cinta de rodillos.

En el puesto número dos, o puesto de ensamblaje, el operario ensambla el pedal de freno en la pedalera y pasa el conjunto al operario de control por medio de una cinta mecánica.

Finalmente, en el puesto de control se coloca el muelle, se comprueba el producto final, se etiqueta y se deposita en el contenedor. Además, este operario tiene la misión de aprovisionar las cajas de pedales de freno al operario del puesto de ensamblaje.

La figura 20 muestra dicho layout del modelo pedalera B-58-A.

Por otra parte, la línea pedalera B-58- Manual consta de cuatro puestos de trabajo, con un operario en cada uno. El flujo de producto va desde el operario de carcasas, para pasar posteriormente por el puesto del operario de ensamblaje 1 y 2, y finalmente, por el puesto de control.

En el puesto de trabajo número uno, o puesto de carcasas, el operario ensambla la carcasa de la pedalera. Esto se realiza mediante tres máquinas que mediante dos puntos de soldadura unen los cuatro componentes de dicha carcasa. Tras ello, mediante una cinta de rodillos son pasadas directamente al puesto de ensamblaje 1.

En el puesto de trabajo número dos, o puesto de ensamblaje 1, el operario ensambla a la carcasa de la pedalera el pedal de freno y el cable del circuito eléctrico. Posteriormente, el conjunto formado por carcasa más pedal de freno pasa por gravedad al operario de ensamblaje 2 mediante una rampa de rodillos.

En el puesto número dos, o puesto de ensamblaje 2, el operario le añade el pedal de embrague y el muelle. Tras ello, deposita el producto en una cinta que lo transporta hasta el puesto de control.

En el puesto número tres, o puesto de control, el operario comprueba el producto final, se etiqueta y se deposita en el contenedor. Además, este operario tiene la misión de aprovisionar las cajas de pedales de freno y de embrague al operario del puesto de ensamblaje 1 y 2.

La figura 21 muestra dicho layout del modelo pedalera B-58-M.

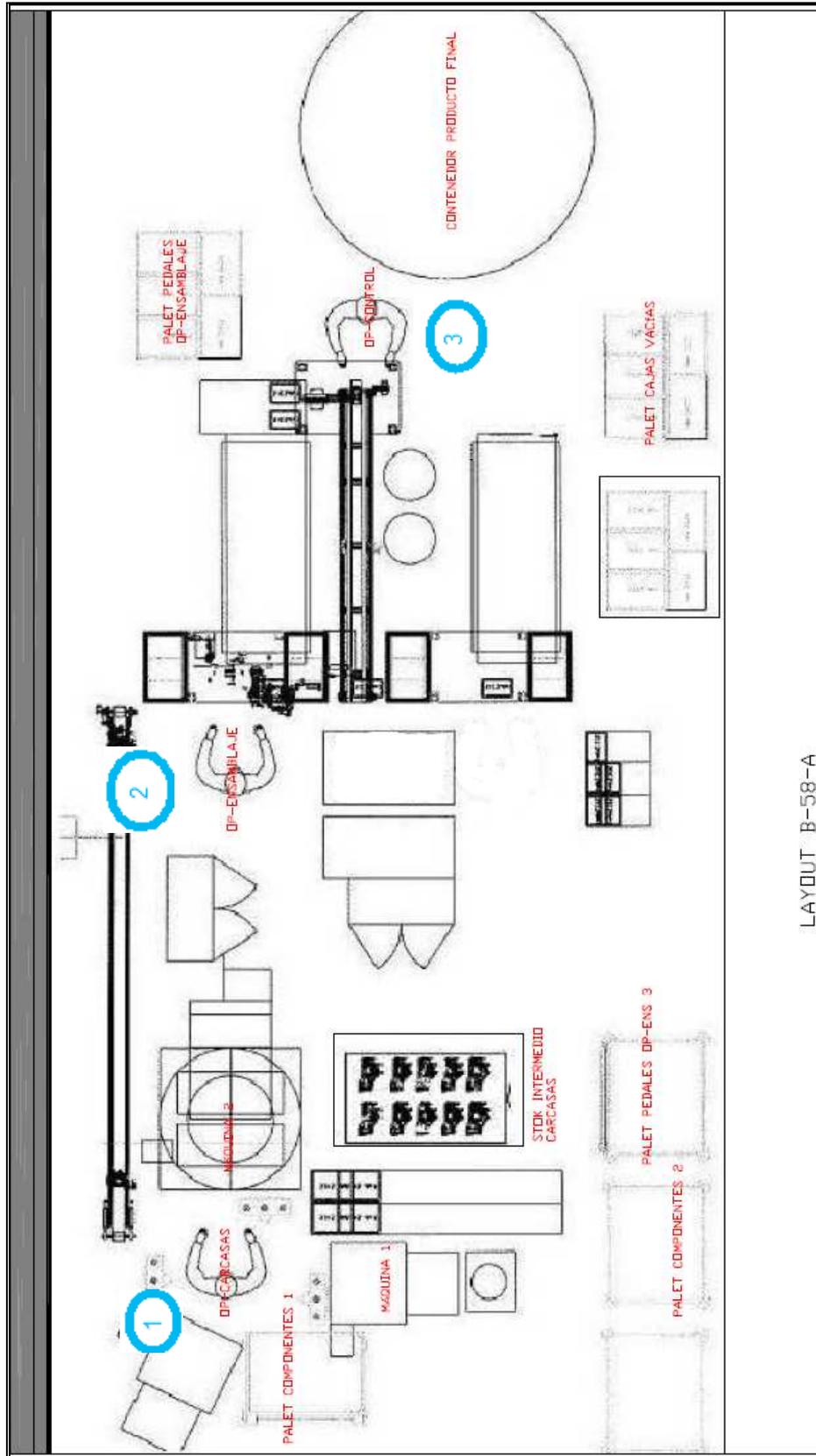


Figura 20. Layout de la línea de ensamble de las pedaleras B-58 automático.

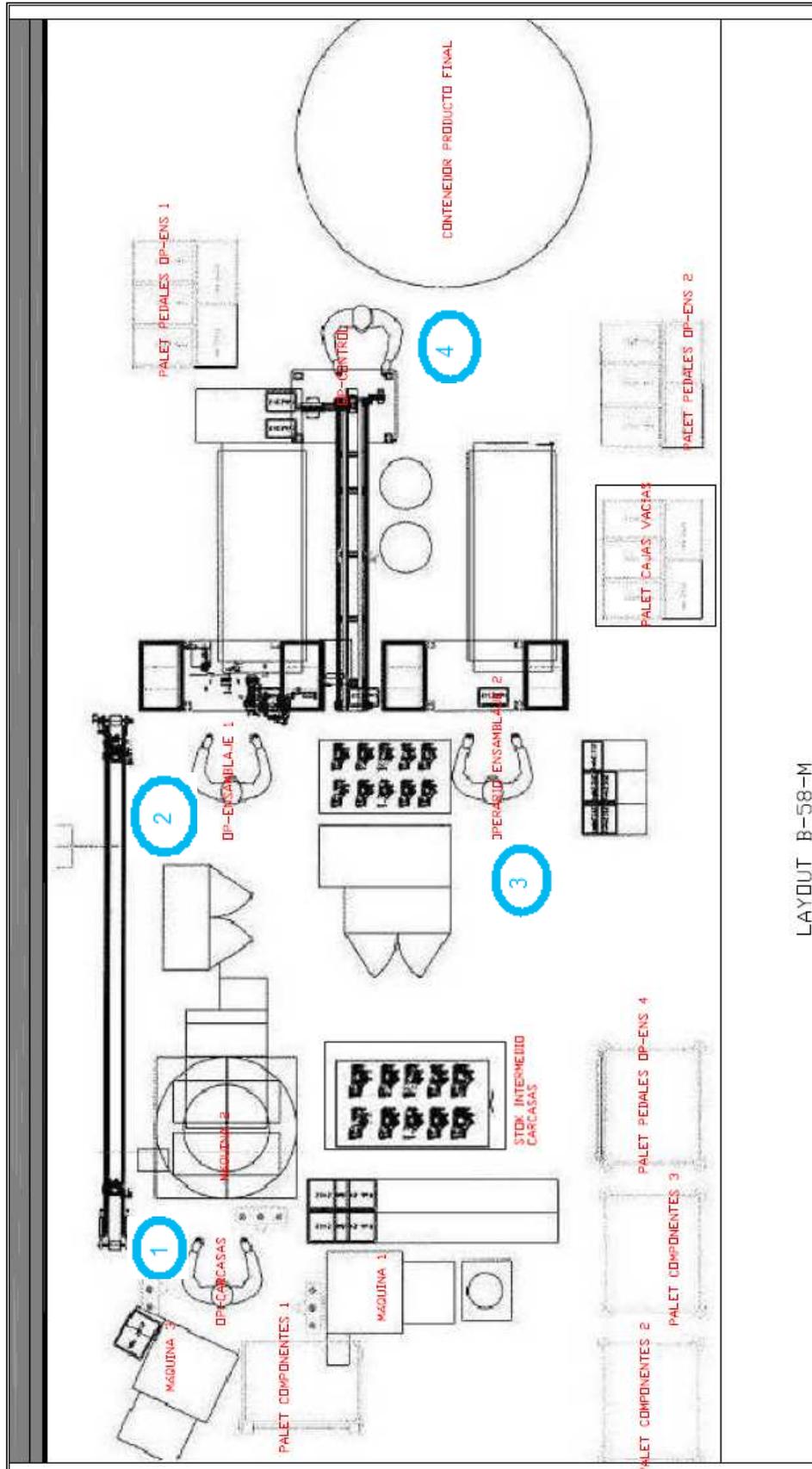


Figura 21. Layout de la línea de ensamblaje de las pedaleras B-58 manual.

### 3.2.3.2. Layout línea pedalera B-9 en línea B-58

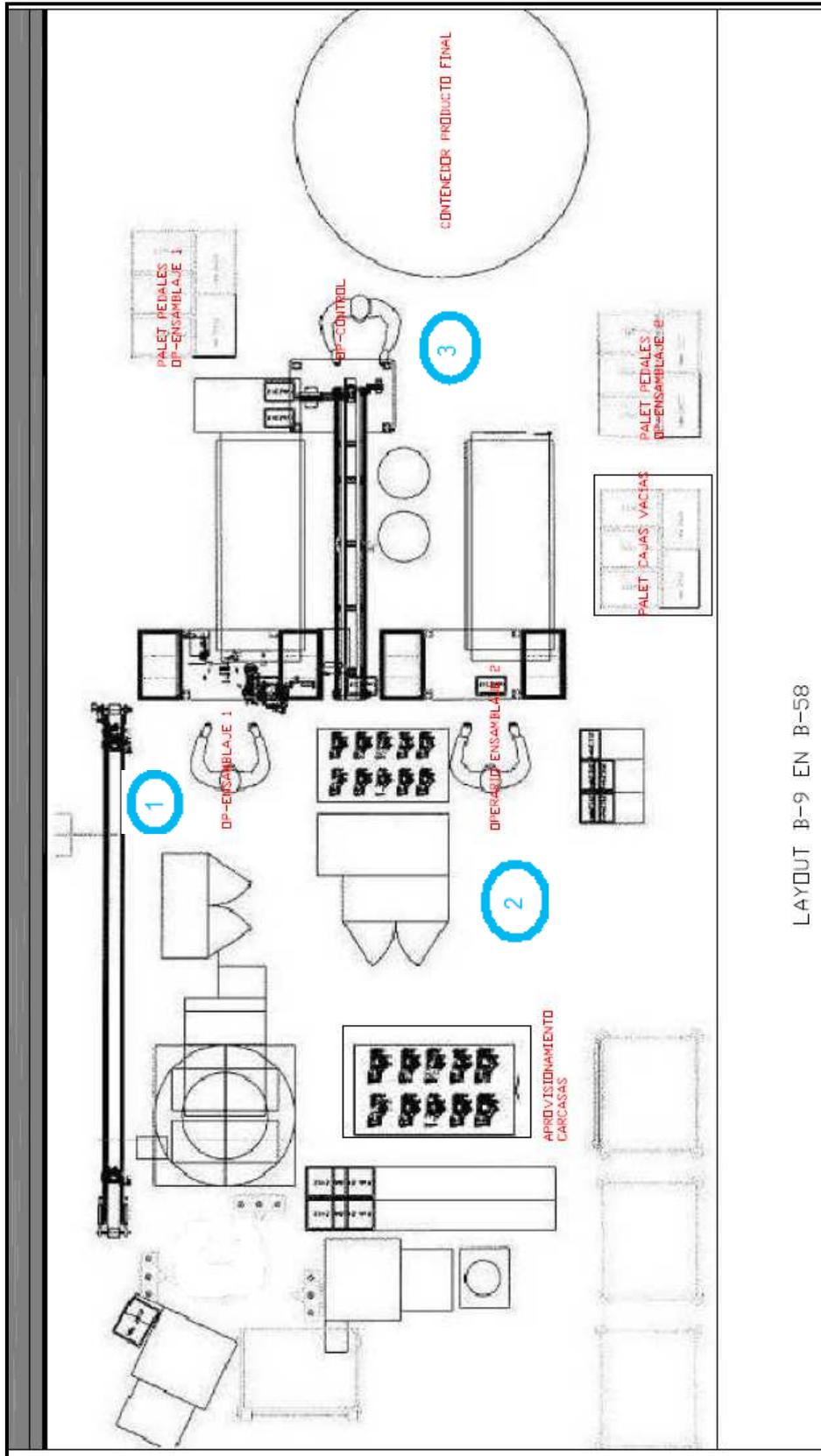
La presente línea consta de tres puestos de trabajo, con un operario en cada uno. El flujo de producto va desde el operario de ensamblaje 1, para pasar posteriormente por el puesto del operario de ensamblaje 2, y finalmente, por el puesto de control.

En el puesto de trabajo número uno, o puesto de ensamblaje 1, el operario ensambla al producto de origen intermedio (POI) carcasa de la pedalera el pedal de freno y el cable del circuito eléctrico. Para ello tiene que aprovisionarse de las carcasas previamente estocadas y colocadas cerca del puesto por un operario carretillero. Posteriormente, el conjunto formado por carcasa más pedal de freno pasa por gravedad al operario de ensamblaje 2 mediante una rampa de rodillos.

En el puesto número dos, o puesto de ensamblaje 2, el operario le añade el pedal de embrague y el muelle. Tras ello, deposita el producto en una cinta que lo transporta hasta el puesto de control.

En el puesto número tres, o puesto de control, el operario comprueba el producto final, se etiqueta y se deposita en el contenedor. Además, este operario tiene la misión de aprovisionar las cajas de pedales de freno y de embrague al operario del puesto de ensamblaje 1 y 2.

La figura 22 muestra dicho layout.



LAYOUT B-9 EN B-58

Figura 22. Layout de la línea de ensamble de las pedaleras B-9 en línea de ensamble B-58.

### 3.2.3.3. Layout línea pedalera B-9

La presente línea consta de tres puestos de trabajo, con un operario en cada uno. El flujo de producto va desde el operario de carcasas, para pasar posteriormente por el puesto del operario de ensamblaje, y finalmente, por el puesto de control.

En el puesto de trabajo número uno, o puesto de carcasas, el operario ensambla el producto de origen intermedio (POI) carcasa de la pedalera. Esto se realiza mediante una máquina que mediante dos puntos de soldadura unen los tres componentes de dicha carcasa. Este producto intermedio es stocado en contenedores para su almacenaje en una zona intermedia y posteriormente ser transportado mediante carretilla al puesto número dos, o puesto de control.

En el puesto número dos, o puesto de control, el operario va aprovisionando al puesto mediante una rampa de rodillos por gravedad las carcasas, le añade el cable y fijador del circuito eléctrico y pasa el conjunto al siguiente puesto por gravedad a través de una rampa de rodillos. Además, este operario tiene la misión de aprovisionar las cajas de pedales de freno y de embrague al operario del puesto de ensamblaje.

En el puesto número tres, o puesto de ensamblaje, el operario coloca tanto el pedal de freno como el del embrague en la pedalera y pasa de nuevo el conjunto al operario de control por medio de una cinta mecánica.

Finalmente, en el puesto de control se coloca el muelle, se comprueba el producto final, se etiqueta y se deposita en el contendor.

La figura 23 muestra dicho layout.

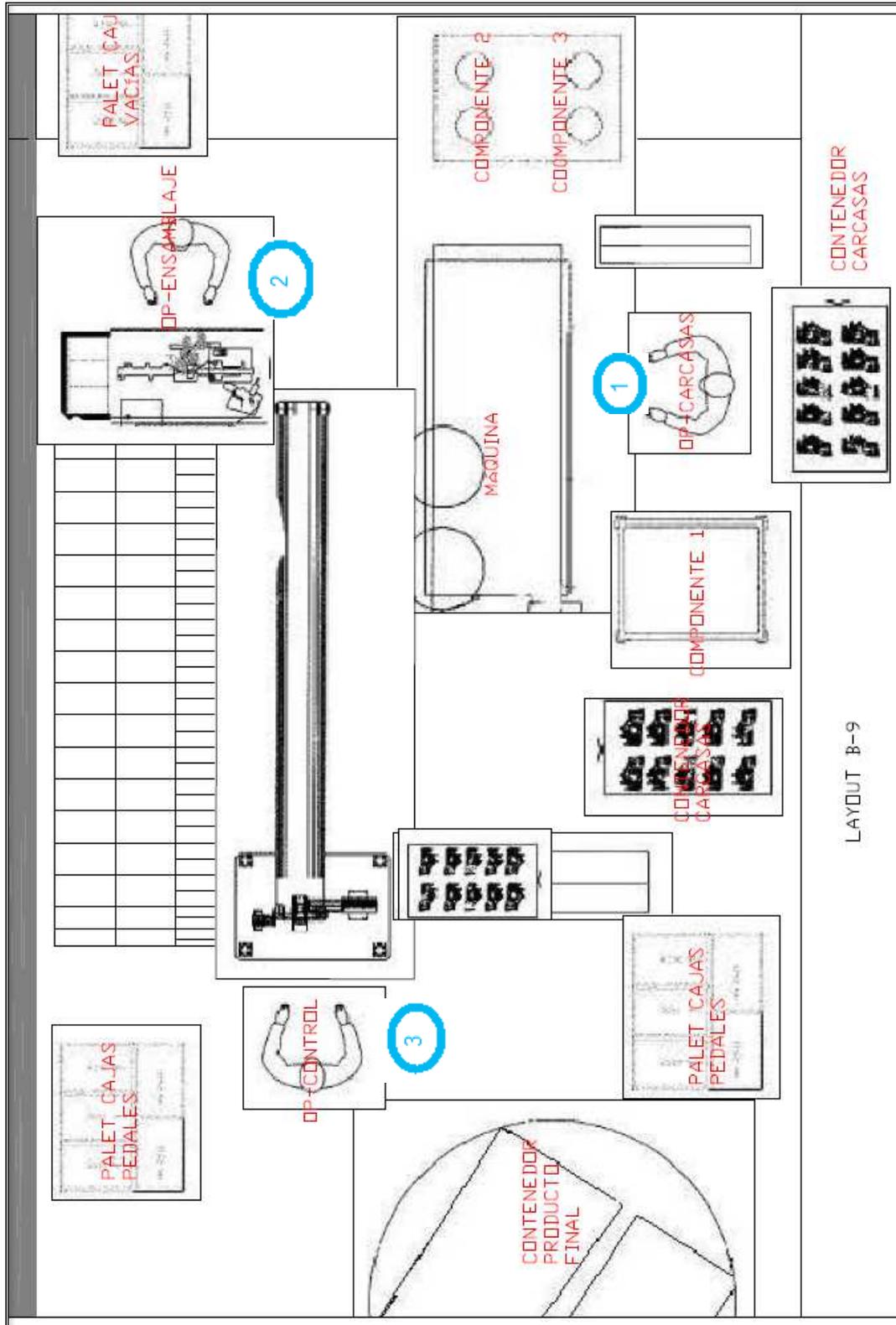


Figura 23. Layout de la línea de ensamble de las pedaleras B-9.

## 4. Aplicación de las herramientas de lean manufacturing

### 4.1. Línea B-58. Pedaleras automáticas (A).

#### 4.1.1. Situación inicial de la línea

El primer punto principal de mejora en esta línea se encuentra en la disminución de desperdicios, buscando una solución para que no sea necesario el almacenaje de las carcasas. De esta forma, como ya se ha descrito en el punto 3.2.3. "Layout líneas de proyecto", un porcentaje pequeño de las carcasas de este modelo son consideradas componentes de origen interno (POI), por lo tanto almacenadas, y la mayor parte pasan del puesto de producción de carcasas a los puestos de ensamblaje directamente. Es decir, en este modelo hay un aprovisionamiento mixto de carcasas, siendo en torno a unas 152 unidades/turno. O bien directamente del operario de carcasas o a través de contenedores almacenados. Esto es necesario, ya que la línea está desequilibrada. La situación ideal es que no sea necesario almacenar las carcasas, ya que de esta forma se evitan tareas innecesarias, sobremanipulación, movimientos no necesarios, etc.

La segunda posibilidad de mejora aparece al mejorar el reparto de las tareas para que los puestos de trabajo estén lo más equilibrados posible. Tal como se puede apreciar en la figura 24, los tiempos de ciclo de los tres operarios están completamente descompesados, llegando a haber una diferencia de más de un 25% entre el tiempo de ciclo del operario de carcasas y el operario de ensamblaje y de un 15% con el tiempo de ciclo del operario de control.

Op-Carcasas		Op-Control		Op-Ensamblaje	
Tc total - tareas en rojo	26,76	Tc total - tareas en rojo	21,30	Tc total - tareas en rojo	20,00
Tc tareas en rojo	1,47	Tc tareas en rojo	3,11	Tc tareas en rojo	0,45
Tc total	28,23	Tc total	24,40	Tc total	20,45

Figura 24. Tiempos de ciclo de los operarios de la línea B-58 automático desglosados en operaciones que pueden o no ser realizadas por otro operario.

#### 4.1.2. Equilibrado de la línea

##### 4.1.2.1. Operaciones principales y auxiliares. Toma de tiempos de ciclo.

Para medir el tiempo de ciclo de las operaciones principales de todos los puestos de todas las líneas se realizaron 15 mediciones, ya que según la fórmula del punto 2.3.4. "Número de ciclos a cronometrar" este valor era suficiente para garantizar la validez estadística de los datos. A la media de estos tiempos ( $T_0$ ), se aplicó el coeficiente  $A_n$  de valoración de la actividad, para posteriormente tener en cuenta la ampliación por los suplementos ( $K$ ), resultando finalmente el tiempo tipo ( $T_p$ ) elemental. Todos los datos recogidos a pie de puesto, así como las sucesivas operaciones de cálculo se encuentran en el Anexo 10.1. "Tiempos de ciclo de las operaciones principales ( $T_c$ )".

Se debe tener en cuenta, que dichos tiempos resultantes de las operaciones principales deben corresponderse a los tiempos de ciclo teóricos calculados en las fichas de operación estándar, algunas de las cuales aparecen en el Anexo 10.2 "Fichas de operación estándar (FOS)".

Las operaciones auxiliares son aquellas que realizan los operarios pero que realmente no forman parte directamente del proceso de producción del producto. Son tareas que deberían ser ejecutadas por un operario auxiliar, para que los operarios de los puestos se centrasen únicamente en realizar las tareas principales. Entre ellas destacan los aprovisionamientos de componentes, la gestión de embalajes, etc.

Para comprender mejor las tablas resumen de las tareas auxiliares, para cada puesto se ha representado gráficamente su layout.

### Operario de Carcasas

- **Operaciones principales:** El tiempo de ciclo del el operario de carcasas (operario 1) fue de 26,41 segundos.
- **Operaciones auxiliares:** El layout del puesto del operario de carcasas (operario 1) es el que aparece en la figura 25.

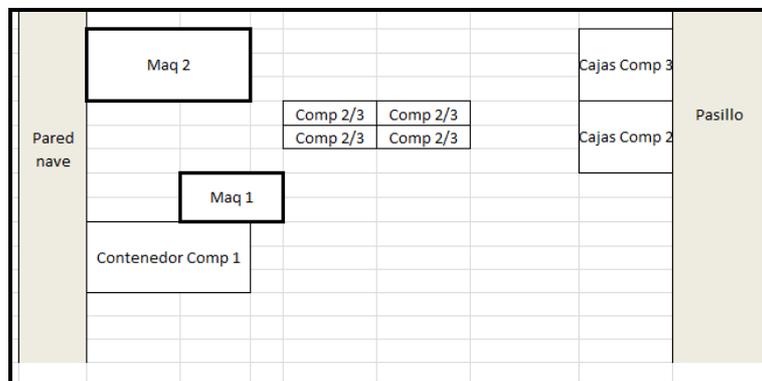


Figura 25. Layout del operario de carcasas (operario 1) de la línea B-58 automático.

Gracias a este layout se puede comprender mejor las operaciones auxiliares que aparecen en la tabla 1. En ella, aparecen operaciones que en si no forman directamente parte del proceso productivo, como son la recepción de componentes, aprovisionamiento de componentes a otros puestos, movimientos internos en el puesto de trabajo, reposición de componentes, reciclaje de los embalajes de componentes, etc.

Por otra parte, también aparece el tiempo estándar medido en cada una de las operaciones, así como la frecuencia que tiene cada operación con respecto a la pieza final. Teniendo esto en cuenta se obtiene el tiempo de ciclo total del puesto, que en este caso resulta ser de un valor de 28,23 segundos.

En otra línea, aparecen ciertas tareas auxiliares subrayadas en rojo. Esto quiere decir que son tareas auxiliares que realiza este operario, pero que podrían ser realizadas por otro operario. Además, se calcula su frecuencia con respecto a la pieza final, para calcular su tiempo, medido en minutos, a lo largo de un turno de trabajo de 8 horas.

Finalmente, las tareas auxiliares sombreadas en azul representan el desperdicio de tiempo que se produce al stocar las carcasas, siendo está una tarea que no crea valor añadido al producto. Representan en torno a un 4,5% del total del tiempo del turno del operario.

Tareas		Tiempo estándar	Frecuencia por pieza	Tiempo de ciclo	Nº de veces	t(min)
	Tareas principales	26,41	1/1	26,41		
1	Recepcion Contenedor Comp 1	90,00	1/700	0,13	1,38	2,07
2	Recepcion Palet Comp 2	60,00	1/2500	0,02	0,39	0,39
3	Recepcion Palet Comp 3	60,00	1/4000	0,02	0,24	0,24
4	Aprovisionamiento Caja Comp 2 a cinta rodillos	60,00	1/120	0,50	8,06	8,06
5	Aprovisionamiento Caja Comp 3 a cinta rodillos	60,00	1/160	0,38	6,04	6,04
6	Pasar Caja vacia Comp 3 a bandeja inferior der	3,00	1/20	0,15		
7	Pasar Caja vacia Comp 4 a bandeja inferior der	3,00	1/20	0,15		
8	Aprovisionar caja tuercas Maq 1	40,00	1/2000	0,02	0,48	0,32
9	Rellenar tuercas Maq 1	148,00	1/500	0,30	1,93	4,77
10	Reciclaje embalaje tuercas Maq 1	19,20	1/2000	0,01	0,48	0,15
11	Aprovisionar caja pasadores	40,00	1/600	0,07	1,61	1,07
12	Rellenar pasadores	30,00	1/600	0,05		
13	Reciclaje caja pasadores	19,20	1/600	0,03	1,61	0,52
14	Recepcion y retirada contenedor carcasas	85,00	1/120	0,71	8,06	11,42
15	Aprovisionamiento carcasas	12,00	1/20	0,60	48,35	9,67
						<b>21,09</b>
			<b>Tc total</b>	<b>28,23</b>		

Tabla 1. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de carcasas (operario 1) de la línea B-58 automático.

### Operario de Ensamblaje

- **Operaciones principales:** El tiempo de ciclo del operario de ensamblaje (operario 2) fue de 19,56 segundos.
- **Operaciones auxiliares:** El layout del puesto del operario de ensamblaje (operario 2) es el que aparece en la figura 26.

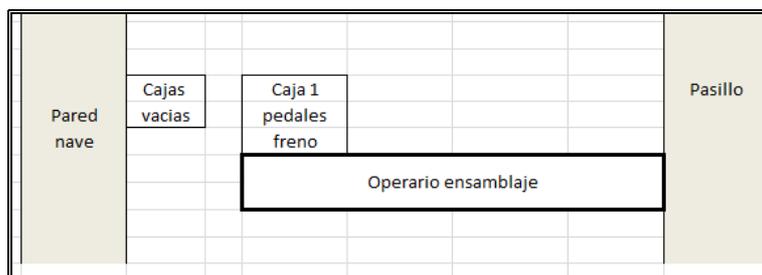


Figura 26. Layout del operario de ensamblaje (operario 2) de la línea B-58 automático.

Gracias a este layout se puede comprender mejor las operaciones auxiliares que aparecen en la tabla 2. En ella, aparecen operaciones que en si no forman directamente parte del proceso productivo, como son la recepción de componentes, aprovisionamiento de componentes a otros puestos, movimientos internos en el puesto de trabajo, reposición de componentes, reciclaje de los embalajes de componentes, etc.

Por otra parte, también aparece el tiempo estándar medido en cada una de las operaciones, así como la frecuencia que tiene cada operación con respecto a la pieza final. Teniendo esto en cuenta se obtiene el tiempo de ciclo total del puesto, que en este caso resulta ser de un valor de 20,67 segundos.

En otra línea, aparecen ciertas tareas auxiliares subrayadas en rojo. Esto quiere decir que son tareas auxiliares que realiza este operario, pero que podrían ser realizadas por otro operario. Además, se calcula su frecuencia con respecto a la pieza final, para calcular su tiempo, medido en minutos, a lo largo de un turno de trabajo de 8 horas.

Las tareas auxiliares sombreadas en violeta representan el desperdicio de tiempo que se produce al rellenar componentes (tornillería especialmente) en recipientes en el puesto, en lugar de colocar la unidad de acondicionamiento (caja de cartón) directamente en el puesto. Esta tarea auxiliar no crea valor añadido al producto. Representan en torno a un 1% del total del tiempo del turno del operario.

Finalmente, las tareas auxiliares sombreadas en azul representan el desperdicio de tiempo que se produce al stocar las carcasas, siendo está una tarea que no crea valor añadido al producto. Representan en torno a un 5,7% del total del tiempo del turno del operario.

Tareas		Tiempo estándar	Frecuencia por pieza	Tiempo de ciclo	Nº de veces	t(min)
	Tareas principales	19,56	1/1	19,56		
1	Recargar barra pintura	86,40	1/3480	0,02	0,38	0,55
2	Quitar caja vacía y colocar caja llena	8,00	1/20	0,40		
3	Aprovisionar caja tornillos	32,00	1/300	0,11	4,40	2,35
4	Rellenar tornillos	20,00	1/200	0,10	6,60	2,20
5	Reciclaje embalaje tornillos	19,20	1/300	0,06	4,40	1,41
6	Aprovisionar tipex	86,40	1/3480	0,02	0,38	0,55
7	Aprovisionar caja tuercas	32,00	1/2000	0,02	0,66	0,35
8	Rellenar tuercas	20,00	1/600	0,03		
9	Reciclaje embalaje tuercas	19,20	1/2000	0,01		
10	Aprovisionar caja cilindros	32,00	1/600	0,05	2,20	1,17
11	Rellenar cilindros	20,00	1/175	0,11	7,55	2,52
12	Reciclaje embalaje cilindros	19,20	1/600	0,03	2,20	0,70
13	Aprovisionar grasa	120,00	1/1050	0,11	1,26	2,52
14	Retirar cajas vacías	15,00	1/60	0,01	22,02	5,50
15	Recepcion y retirada contenedor carcasas	85,00	1/120	0,71	11,01	15,59
16	Aprovisionamiento carcasas	10,00	1/20	0,53	69,53	11,59
						<b>31,90</b>
			<b>Tc total</b>	<b>20,67</b>		

Tabla 2. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de ensamblaje (operario 2) de la línea B-58 automático.

## Operario de Control

- **Operaciones principales:** El tiempo de ciclo del operario de control (operario 3) fue de 20,27 s.
- **Operaciones auxiliares:** El layout del puesto del operario de control (operario 3) es el que aparece en la figura 27.



Figura 27. Layout del operario de control (operario 3) de la línea B-58 automático.

Gracias a este layout se puede comprender mejor las operaciones auxiliares que aparecen en la tabla 3 En ella, aparecen operaciones que en si no forman directamente parte del proceso productivo, como son la recepción de componentes, aprovisionamiento de componentes a otros puestos, movimientos internos en el puesto de trabajo, reposición de componentes, reciclaje de embalajes, etc.

Por otra parte, también aparece el tiempo estándar medido en cada una de las operaciones, así como la frecuencia que tiene cada operación con respecto a la pieza final. Teniendo esto en cuenta se obtiene el tiempo de ciclo total del puesto, que en este caso resulta ser de un valor de 24,40 segundos.

En otra línea, aparecen ciertas tareas auxiliares subrayadas en rojo. Son tareas auxiliares que realiza este operario, pero que podrían ser realizadas por otro. Además, se calcula su frecuencia con respecto a la pieza final, para calcular su tiempo, medido en minutos, a lo largo de un turno de trabajo.

Tareas		Tiempo estándar	Frecuencia por pieza	Tiempo de ciclo	Nº de veces	t(min)
	Tareas principales	20,27	1/1	20,27		
1	Embalaje contenedor, giro, etiqueta y 1ª base	91,31	1/48	1,90	23,30	35,46
2	Aprovisionar cajas pedales Op Ensamblaje	25,00	1/75	0,33	14,91	6,21
3	Recepcion palet cajas pedales -Op Ens	120,00	1/500	0,24	2,24	4,47
4	Poner la 2ª y 3ª base	10,21	1/24	0,43		
5	Colocar cartones con carrito	300,00	1/2400	0,13	0,47	2,33
6	Retirar cajas vacias Op-Ensamblaje a carretilla	20,00	1/60	0,33	18,64	6,21
7	Aprovisionar pintura	86,40	1/500	0,17	2,24	3,22
8	Cambio rollo etiquetas maquina	300,00	1/1000	0,60		
			<b>Tc total</b>	<b>24,40</b>		

Tabla 3. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de control (operario 3) de la línea B-58 automático.

#### 4.1.2.2. Estudio toma tiempos de ciclo. Soluciones de equilibrado

##### Solución nº1.- Situación (2)

Esta solución consiste en equilibrar el puesto del operario de ensamblaje con el puesto del operario de control. Para ello, este último operario debe realizar la tarea 1 (tarea en rojo) del operario de control. Con ello, se logra que la diferencia de tiempo de ciclo entre ambos sea sólo de 0,15 segundos.

Por otra parte, es necesario aprovisionar 246 carcasas por turno, en lugar de las 152 unidades actuales, en contenedores previamente almacenados como consecuencia del mayor tiempo de ciclo del operario de carcasas.

En la tabla 4 se compara la distribución de los tiempos de ciclo de los operarios de la solución nº1 con respecto a la situación actual, así como el tiempo de ciclo del producto final.

	Tc actual (1)	Tc situacion (2)
<b>Op Control</b>	24,40	22,50
<b>Op Ensamblaje</b>	20,45	22,35
<b>Op Carcasas</b>	28,23	28,23
<b>Suma tiempos ciclo</b>	73,08	73,08

Tabla 4. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 automático en la solución nº1 comparándolos con la situación actual.

##### Solución nº2.- Situación (3)

Esta solución consiste en equilibrar todos los puestos. Para ello, el operario de ensamblaje debe realizar las tareas en rojo del operario de carcasas. Con ello, se logra reducir la diferencia de tiempo de ciclo entre el operario de carcasas (operario más cargado) con los otros dos operarios. Sin embargo, dicha diferencia sigue siendo grande, ya que se trata de en torno a 2 segundos con el operario de control y de más de 4,5 segundos con el operario de ensamblaje, lo que supone un 9% y un 18% de variación respectivamente.

Por otra parte, es necesario aprovisionar 99 carcasas por turno, en lugar de las 152 unidades actuales, en contenedores previamente almacenados como consecuencia del mayor tiempo de ciclo del operario de carcasas.

En la tabla 5 se compara la distribución de los tiempos de ciclo de los operarios de la solución nº2 con respecto a la situación actual, así como el tiempo de ciclo del producto final.

	Tc actual (1)	Tc situacion (3)
<b>Op Control</b>	24,40	24,40
<b>Op Ensamblaje</b>	20,45	21,92
<b>Op Carcasas</b>	28,23	26,76
<b>Suma tiempos ciclo</b>	73,08	73,08

Tabla 5. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 automático en la solución nº2 comparándolos con la situación actual.

### Solución nº3.- Situación (4)

Como en la anterior solución, se trata de equilibrar todos los puestos. Se trata de una mejora de la solución nº2, ya que en ella los tiempos de ciclo del operario de ensamblaje y del operario de control están desequilibrados. En esta solución nº3 se hace dicho equilibrado. Los cambios a realizar son que todas las tareas en rojo del operario de carcasas y las tareas 2,3,5,6 y 7 en rojo del operario de control sean realizadas por el operario de ensamblaje. Con ello, se logra que la diferencia de tiempo de ciclo entre ambos sea sólo de 0,08 segundos.

Sin embargo, la diferencia entre los tiempos del operario de control y del operario de ensamblaje con el tiempo de ciclo del operario de carcasas sigue siendo grande, ya que se trata en ambos casos en torno a 3,5 segundos, lo que supone alrededor de un 13% de variación.

Por otra parte, es necesario aprovisionar 157 carcasas por turno, en lugar de las 152 unidades actuales, en contenedores previamente almacenados como consecuencia del mayor tiempo de ciclo del operario de carcasas.

En la tabla 6 se compara la distribución de los tiempos de ciclo de los operarios de la solución nº3 con respecto a la situación actual, así como el tiempo de ciclo del producto final.

	Tc actual (1)	Tc situacion (4)
<b>Op Control</b>	24,40	23,20
<b>Op Ensamblaje</b>	20,45	23,12
<b>Op Carcasas</b>	28,23	26,76
<b>Suma tiempos ciclo</b>	73,08	73,08

Tabla 6. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 automático en la solución nº3 comparándolos con la situación actual.

### Solución nº4.- Situación (5)

Esta solución consiste en equilibrar el puesto del operario de ensamblaje con el puesto del operario de control. Para ello, este último operario debe realizar la tarea 1 (tarea en rojo) del operario de control. Con ello, se logra que la diferencia de tiempo de ciclo entre ambos sea sólo de 0,15 segundos. En este sentido es el mismo procedimiento que en la solución nº1.

Sin embargo, la diferencia entre los tiempos del operario de control y del operario de ensamblaje con el tiempo de ciclo del operario de carcasas sigue siendo grande. Por ello, se propone que en los 15 minutos de descanso del operario de carcasas sean aprovechados por el operario de ensamblaje y control para ensamblar carcasas. La producción máxima por turno en este caso sería de 999 unidades, siendo la capacidad de producción, quitados los 7,5 minutos en su tiempo útil, del operario de ensamblaje y de control de 1201 y 1193 unidades respectivamente. Por lo que esta solución es factible.

Además, no sería necesario almacenar ninguna carcasa, aunque todavía no estarían equilibrados los tres puestos al 100%.

En la tabla 7 se compara la distribución de los tiempos de ciclo de los operarios de la solución nº4 con respecto a la situación actual, así como el tiempo de ciclo del producto final.

	Tc actual (1)	Tc situacion (5)
<b>Op Control</b>	24,40	22,50
<b>Op Ensamblaje</b>	20,45	22,35
<b>ºOp Carcasas</b>	28,23	28,23
<b>Suma tiempos ciclo</b>	73,08	73,08

Tabla 7. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 automático en la solución nº4 comparándolos con la situación actual.

### Solución nº5.- Situación (6)

Se trata de equilibrar todos los puestos, siendo una mejora de la solución nº4. Sin embargo, la diferencia entre los tiempos del operario de control y del operario de ensamblaje con el tiempo de ciclo del operario de carcasas sigue siendo grande. Por ello, se propone que en los 15 minutos de descanso del operario de carcasas sean aprovechados por el operario de ensamblaje y control para ensamblar carcasas. La producción máxima por turno en este caso sería de 1054 unidades, siendo la capacidad de producción, quitados los 7,5 minutos en su tiempo útil, del operario de ensamblaje y de control de 1161 y 1157 unidades respectivamente. Por lo que esta solución es factible.

Además, no sería necesario almacenar ninguna carcasa, aunque todavía no estarían equilibrados los tres puestos al 100%, pero el tiempo ocioso del operario de ensamblaje y control reduciría.

En la tabla 7 se compara la distribución de los tiempos de ciclo de los operarios de la solución nº5 con respecto a la situación actual, así como el tiempo de ciclo del producto final.

	Tc actual (1)	Tc situacion (6)
<b>Op Control</b>	24,40	23,20
<b>Op Ensamblaje</b>	20,45	23,12
<b>Op Carcasas</b>	28,23	26,76
<b>Suma tiempos ciclo</b>	73,08	73,08

Tabla 8 Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 automático en la solución nº5 comparándolos con la situación actual.

### Solución nº6.- Situación (7)

Según la distribución de tiempos actual, el operario de ensamblaje que es el puesto con menos carga de trabajo realizaría carcasas en los 15 minutos de descanso del operario de carcasas. La producción máxima por turno en este caso sería de 999 unidades, siendo la capacidad de producción, quitados los 15 minutos en su tiempo útil, del operario de ensamblaje de 1291 unidades. Por lo que esta solución es factible.

Además, no se almacena ninguna carcasa, aunque todavía no estarían equilibrados los tres puestos al 100%.

En la tabla 9 se compara la distribución de los tiempos de ciclo de los operarios de la solución nº6 con respecto a la situación actual, así como el tiempo de ciclo del producto final.

	<b>Tc actual (1)</b>	<b>Tc situacion (7)</b>
<b>Op Control</b>	24,40	24,40
<b>Op Ensamblaje</b>	20,45	20,45
<b>Op Carcasas</b>	28,23	28,23
<b>Suma tiempos ciclo</b>	73,08	73,08

Tabla 9. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 automático en la solución nº6 comparándolos con la situación actual.

### **Solución nº7.- Situación (8)**

Se trata de equilibrar todos los puestos, siendo una mejora de la solución nº2. Sin embargo, la diferencia entre los tiempos del operario de control y del operario de ensamblaje con el tiempo de ciclo del operario de carcasas sigue siendo grande. Por ello, se propone que en los 15 minutos de descanso del operario de carcasas sean aprovechados por el operario de ensamblaje para ensamblar carcasas. La producción máxima por turno en este caso sería de 1054 unidades, siendo la capacidad de producción, quitados los 15 minutos en su tiempo útil, del operario de ensamblaje de 1204 unidades. Por lo que esta solución es factible.

Además, no se almacena ninguna carcasa, aunque todavía no estarían equilibrados los tres puestos al 100%.

En la tabla 10 se compara la distribución de los tiempos de ciclo de los operarios de la solución nº7 con respecto a la situación actual, así como el tiempo de ciclo del producto final.

	<b>Tc actual (1)</b>	<b>Tc situacion (8)</b>
<b>Op Control</b>	24,40	24,40
<b>Op Ensamblaje</b>	20,45	21,92
<b>Op Carcasas</b>	28,23	26,76
<b>Suma tiempos ciclo</b>	73,08	73,08

Tabla 10. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 automático en la solución nº7 comparándolos con la situación actual.

### 4.1.3. Análisis de la eficiencia del equilibrado de la línea

	Tc actual (1)	Tc actual (2)	Tc situación (3)	Tc situación (4)	Tc situación (5)	Tc situación (6)	Tc situación (7)	Tc situación (8)
Op Control	24,40	22,50	24,40	23,20	22,50	23,20	24,40	24,40
Op Ensamblaje	20,45	22,35	21,92	23,12	22,35	23,12	20,45	21,92
Op Carcasas	28,23	28,23	26,76	26,76	28,23	26,76	28,23	26,76
Suma tiempos ciclo	73,08	73,08	73,08	73,08	73,08	73,08	73,08	73,08
% t ocioso (resp turno 1 Op)	16,20	0,66	26,91	0,33	33,11	18,20	33,31	18,32
Coste tiempo ocioso	51,84	2,12	86,10	1,07	105,95	58,25	106,58	58,61
Prod	967	967	1020	1020	999	1054	999	1054
Stock carcasas necesarias	152	246	99	157	0	0	0	0
Prod final	1119	1213	1119	1177	999	1054	999	1054
T produccion (h)	8,77	9,51	8,32	8,75	7,58	7,58	7,58	7,58
T produccion/ud	28,23	28,23	26,76	26,76	27,33	25,91	27,33	25,91
Coste/ud	1,110	1,065	1,082	1,054	1,161	1,101	1,161	1,101
T produccion 200 ud	1,57	1,57	1,49	1,49	1,52	1,44	1,52	1,44
Coste 200 ud	239,90	239,90	227,44	227,44	232,25	220,18	232,25	220,18
Coste/ud (200 ud)	1,200	1,200	1,137	1,137	1,161	1,101	1,161	1,101
Coste Carretillero+carretilla	5,33	8,65	4,22	5,51	0,00	0,00	0,00	0,00
Coste/ud (200 ud) + carret	1,226	1,243	1,158	1,165	1,161	1,101	1,161	1,101
Tc con aporte carcasas	24,40	22,50	24,40	23,20				

Figura 28. Tabla análisis eficiencia de la línea B-58 automática.

Para realizar el análisis de la línea, lo primero a tener en cuenta es la demanda del cliente. En este sentido todas las soluciones, incluida la situación actual, son capaces de producir las 200 unidades de pedaleras automáticas B-58 necesarias.

Por otra parte, el principal aspecto a tener en cuenta para elegir la solución óptima va a ser el coste y el tiempo de producción de 200 unidades. Se pasa ahora a analizar cada una de las alternativas, según la figura 28:

En la situación actual, la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es elevado, siendo de un 16,20%. La producción máxima por turno es de 967 unidades, siendo necesario el aporte de 152 carcasas. El tiempo de producción por unidad es de 28,23 segundos. El tiempo de producción de 200 unidades es de 1,57 horas, con un coste, incluyendo el coste del carretillero y la carretilla, de 1,226 €/ud.

La solución nº1 (situación 2), la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es bajo, siendo de un 0,66%. La producción máxima por turno es de 967 unidades, siendo necesario el aporte de 246 carcasas. El tiempo de producción por unidad es de 28,23 segundos. El tiempo de producción de 200 unidades es de 1,57 horas, con un coste, incluyendo el coste del carretillero y la carretilla, de 1,243 €/ud.

La solución nº2 (situación 3), la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es elevado, siendo de un 26,91%. La producción máxima por turno es de 1020 unidades, siendo necesario el aporte de 99 carcasas. El tiempo de producción por unidad es de 28,23 segundos. El tiempo de producción de 200 unidades es de 1,49 horas, con un coste, incluyendo el coste del carretillero y la carretilla, de 1,158 €/ud.

La solución nº3 (situación 4), la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es bajo, siendo de un 0,33%. La producción máxima por turno es de 1020 unidades, siendo necesario el aporte de 157 carcasas. El tiempo de producción por unidad es de

26,76 segundos. El tiempo de producción de 200 unidades es de 1,49 horas, con un coste, incluyendo el coste del carretillero y la carretilla, de 1,165 €/ud.

La solución nº4 (situación 5), la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es elevado, siendo de un 33,11%. La producción máxima por turno es de 999 unidades, no siendo necesario el aporte de carcasas. El tiempo de producción por unidad es de 27,33 segundos. El tiempo de producción de 200 unidades es de 1,52 horas, con un coste de 1,161 €/ud.

La solución nº5 (situación 6), la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es elevado, siendo de un 18,20%. La producción máxima por turno es de 1054 unidades, no siendo necesario el aporte de carcasas. El tiempo de producción por unidad es de 25,91 segundos. El tiempo de producción de 200 unidades es de 1,44 horas, con un coste de 1,101 €/ud.

La solución nº6 (situación 7), la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es elevado, siendo de un 33,11%. La producción máxima por turno es de 999 unidades, no siendo necesario el aporte de carcasas. El tiempo de producción por unidad es de 27,33 segundos. El tiempo de producción de 200 unidades es de 1,52 horas, con un coste de 1,161 €/ud.

La solución nº7 (situación 8), la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es elevado, siendo de un 18,32%. La producción máxima por turno es de 1054 unidades, no siendo necesario el aporte de carcasas. El tiempo de producción por unidad es de 25,91 segundos. El tiempo de producción de 200 unidades es de 1,44 horas, con un coste de 1,101 €/ud.

Como se puede apreciar las soluciones óptimas son la nº5 y nº7, ya que son las que tienen el menor tiempo y coste de producción de 200 unidades. Entre estas dos, sería un poco mejor la nº5 ya que la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es algo menor que en la nº7, concretamente, de un 18,20% respecto a un 18,32%.

### 4.1.4. Cambios a realizar en la solución óptima siguiendo los principios del lean manufacturing

---

#### 4.1.4.1. Cinco S

##### Seleccionar (Seiri)

El primer paso de las cinco S es identificar en el puesto de trabajo todos los elementos innecesarios para realizar las tareas, de esta forma se selecciona lo realmente necesario. Para ello, se coloca una tarjeta, que significa expulsión, a cada elemento considerado como no necesario para la operación. Posteriormente, estos artículos son retirados a un área de almacenamiento transitorio. Para que, si se confirma que son innecesarios, se dividan en dos clases, los que se pueden utilizar para otra operación y los que no, que serán descartados.

Se marcan con tarjeta roja una serie de elementos que son catalogados como innecesarios, y que por lo tanto deben ser eliminados. Entre ellos se citan: componentes de pequeñas dimensiones desparramados por el suelo (tornillos, tuercas, pasadores, etc.), productos finales obsoletos colgados en la pared anexa de la nave, trapos de limpieza en mal estado de conservación, trozos de cinta de embalar, tapas de cajas de embalaje, papeles, tippex y barras de pintura vacíos, bolígrafos gastados, etc.

##### Organizar (Seiton)

Una vez se han clasificado los elementos como necesarios, se organizan éstos para que puedan ser encontrados con facilidad. Para ello se establecen normas de orden como pintar el suelo delimitando claramente áreas de trabajo y ubicaciones, etc.

Entre los elementos que necesitan de este orden destacan los siguientes:

- **Transpaleta:** Actualmente, no existe una zona definida para dejar la transpaleta. Los operarios la usan y la dejan en diferentes sitios. Esto conlleva que cuando es necesaria, el operario no sabe donde está, por lo que la debe buscar, conllevando una pérdida de tiempo. Se propone delimitar un sitio determinado para colocar la transpaleta una vez utilizada. Un buen lugar es al lado del punto de reciclaje de plásticos y cartones, ya que equidista de las líneas de pedaleras actuales B58 y B9, y de la futura línea B78.

Esta zona será delimitada pintando sus correspondientes lados en el suelo.

La figura 29 representa gráficamente la zona a ocupar por la transpaleta.

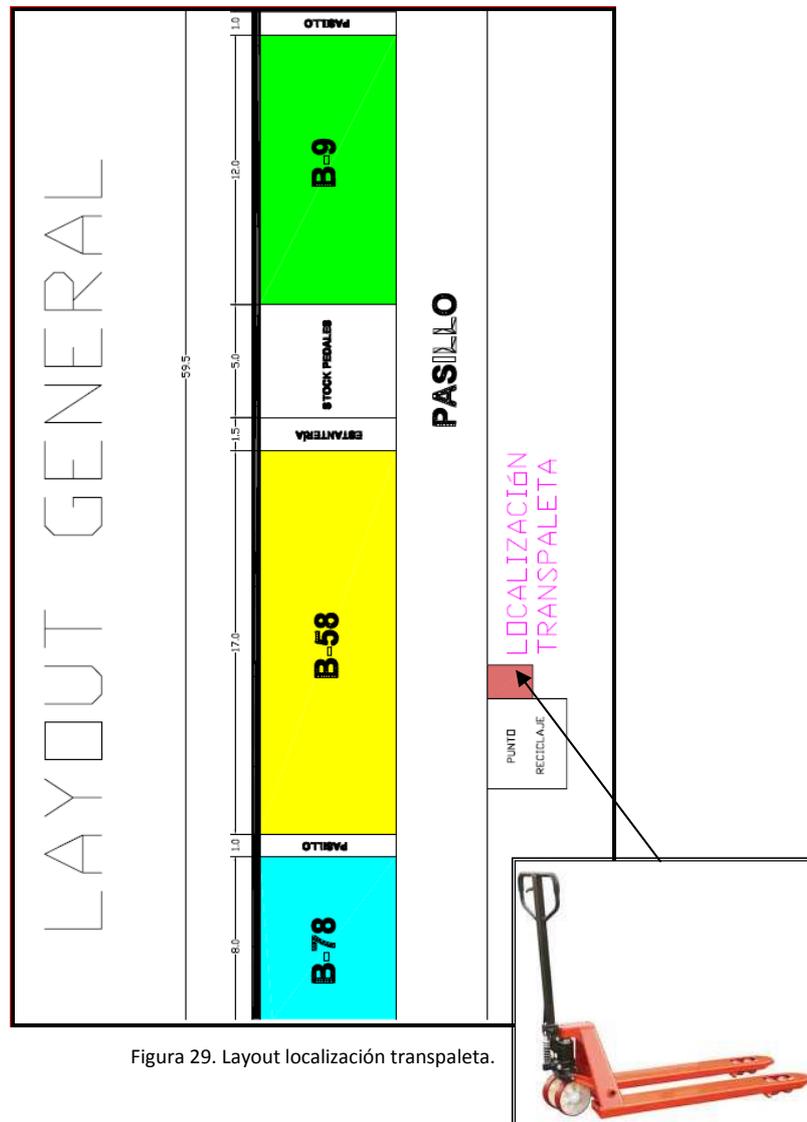


Figura 29. Layout localización transpaleta.

- **Elementos de limpieza:** Actualmente, tampoco existe una zona definida para dejar los elementos de limpieza. Los operarios los usan y los dejan en diferentes sitios. Esto conlleva que cuando los necesitan, los operarios no saben donde están, por lo que la deben buscar, conllevando una pérdida de tiempo. Se propone delimitar un sitio determinado para colocar

estos elementos una vez utilizados. Un buen lugar es al lado de los contenedores de producto final.

Esta zona será delimitada pintando sus correspondientes lados en el suelo.

La figura 30 representa gráficamente la zona a ocupar por los elementos de limpieza.

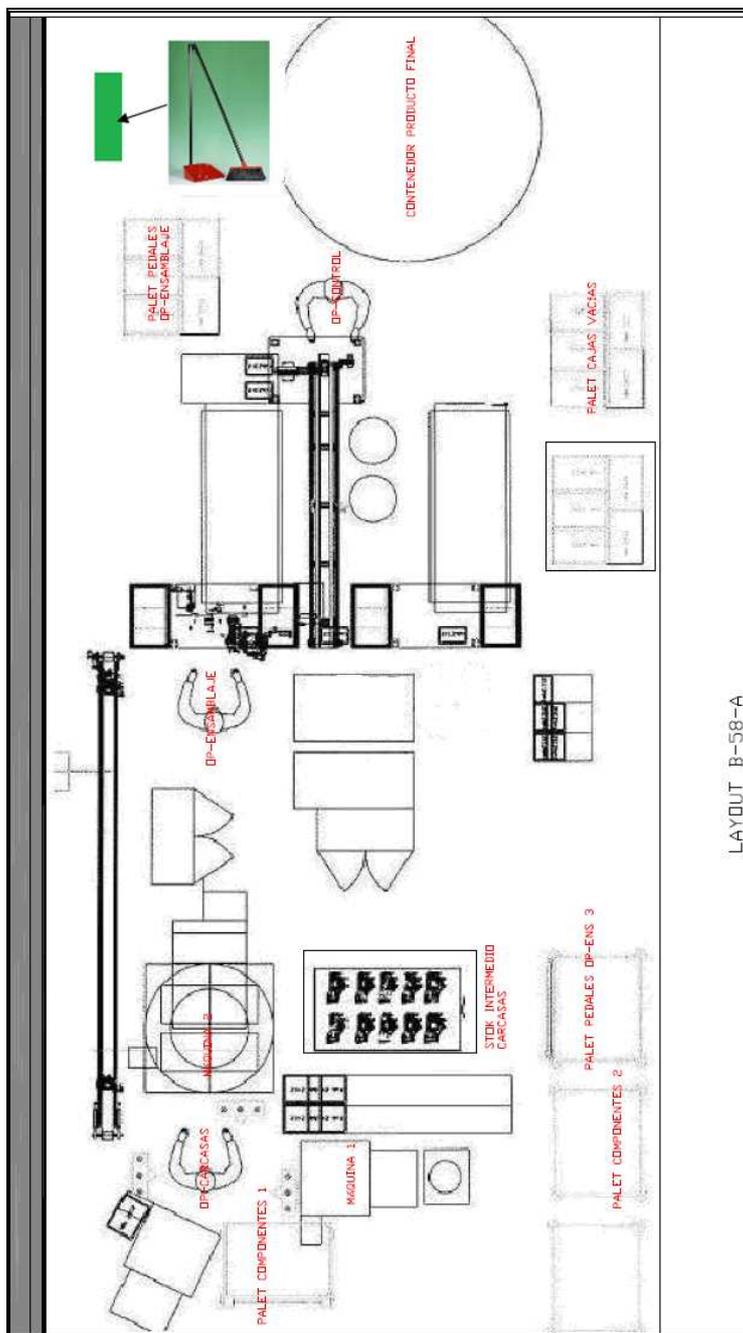


Figura 30. Layout localización de los elementos de limpieza en la línea B58 automática.

- **Punto de utilización de materiales:** Actualmente, tampoco existe una zona definida para dejar los elementos tales como los tippex, las barras de pintura, trapos o bolígrafo o barras de pintura. Por ello los operarios al acabar su turno de trabajo los depositan sin ningún criterio ni orden. Se propone en cada puesto unos compartimentos para el tippex, las barras de pintura y los bolígrafos. Por otra parte, en estanterías anexas ya existentes, se propone dejar los trapos de limpieza en cajas de plástico. Con ello se evita que manchen los partes de trabajo diarios con formato en papel.

### Limpiar (Seiso)

Se refiere al eliminar toda suciedad y polvo en todos los elementos de una planta. Limpiando el polvo, limaduras, grasa, aceites, taladrinas u otro tipo de suciedad o residuos, hace que el operario se identifique con su puesto y con las máquinas asignadas.

Además, hay que considerar que no solo es necesario la limpieza periódica, sino que el objetivo es integrarla en los hábitos y en los procedimientos de trabajo.

### Estandarizar (seiketsu)

Estandarizar tiene la función de conservar el estado de limpieza y organización logrado con la aplicación de las anteriores S's. Esta etapa debe ser permanente y su objetivo es distinguir fácilmente una situación normal de otra anormal, mediante normas sencillas y controles visuales.

Para llevarla a cabo, se pueden llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- Localizar fotografías del puesto de trabajo en condiciones óptimas para que puedan ser vistas por todos los empleados.
- Gestión visual mediante paneles de seguimiento.
- Cajas de plástico o contenedores metálicos para componentes o productos rechazados de diferentes colores según el origen de la causa, ya sea achacadas a la línea, al proveedor o para ser reprocesadas. Al ser clasificadas las piezas, sólo hay un sitio para cada cosa, y cualquier persona puede apreciar de modo inmediato si una operación particular está procediendo normal o anormalmente, sin tener en cuenta su conocimiento del mismo.



Figura 31. Bandejas rojas: scrap; bandejas amarillas: scrap proveedor; bandejas azules: reproceso.

#### 4.1.4.2. Aprovechamiento de componentes a puesto de trabajo directamente desde embalajes del proveedor

En la actualidad los componentes con referencias 20002391/00A, V45143 y 20005543/00A, respectivamente tuercas, cilindros y tornillos son aprovisionados al puesto de trabajo desde el punto de aprovisionamiento a la línea mediante el embalaje del proveedor. Éste consiste en cajas de cartón de las siguientes dimensiones: 30x20x10, 29x16x13 y 30,5x20x9,5 cm., respectivamente. En cada puesto existen una cajas de plástico tales como en la figura 32, los cuales se transpasan los componentes anteriores desde sus embalajes anteriores.

La idea es quitar estas cajas de plástico y poner los componentes directamente en el puesto en sus embalajes de cartón originales, según la figura 32. Éstos son lo suficientemente resistentes para no deformarse ni plantear ningún problema. Con ello se consigue eliminar una pérdida de tiempo en el transpaso entre ambas cajas, además de evitar que se desparramen por el suelo algunas piezas debidas a su reducido tamaño.

En la línea de ensamblaje de las pedaleras B58 automáticas, esta acción es posible en el puesto del operario de ensamblaje con los cilindros y tornillos, referencias V45143 y 20005543/00A, respectivamente. En los demás puestos o para otras referencias no hay suficiente espacio para incluir el embalaje de cartón directamente.



Figura 32. Caja de componentes en los puestos de ensablado y caja de embalaje de proveedor de los componentes con referencias 20002391/00A, V45143 y 20005543/00A.

#### 4.1.4.3. Modificaciones en puesto del operario de carcasas

El puesto de trabajo del operario de carcasas presenta una oportunidad de mejora, tanto para la ergonomía del puesto como para la productividad. Como se ve en la figura 33, la estantería rodeada en color rosa presenta dos alturas y dos filas y es del tipo que aparece en la figura 34. Esta estantería dinámica por gravedad es la que alimenta con los componentes 2 y 3 al puesto, en las superiores el 2 y en las inferiores el 3.

Actualmente, no hay una rampa inferior o superior para el retorno de las cajas vacías para ser depositadas en la zona de alimentación de la línea anexa al pasillo. Esto conlleva que el operario cada vez que se acaban las piezas de una de las cajas tenga que salir de su puesto para realizar la operación descrita anteriormente, lo cual lleva consigo una considerable pérdida de tiempo en recorridos que no aportan valor.

Introduciendo una estantería dinámica por gravedad con 4 filas con pendiente hacia el puesto y otras tantas con pendiente hacia la zona de alimentación de la línea, el operario de carcasas puede dejar las cajas vacías en una de las rampas de retorno de cajas vacías, sin tener que abandonar su puesto de trabajo, según modelo de estantería de la figura 35. De esta forma, la pérdida de tiempo por el aprovisionamiento de componentes al puesto se puede reducir en un 800%, ya que en cada fila de la

estantería se pueden disponer 5 cajas. Además, este aprovisionamiento, al ser menos frecuente, podría ser realizado por otro operario, para equilibrar más todos los puestos de la línea.

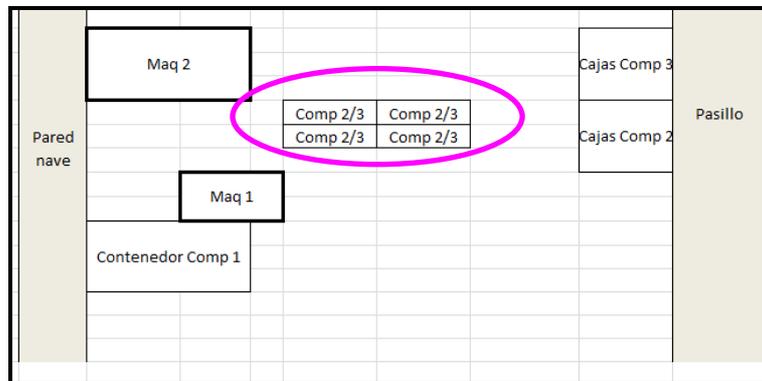


Figura 33. Layout del operario de cascos (operario 1) de la línea B-58 automática.

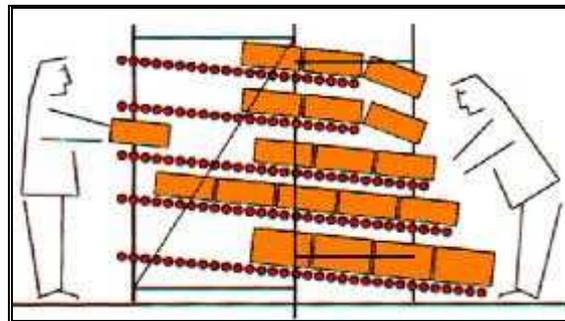


Figura 34. Estantería dinámica de picking por gravedad del puesto de cascos de la línea B-58 automática.

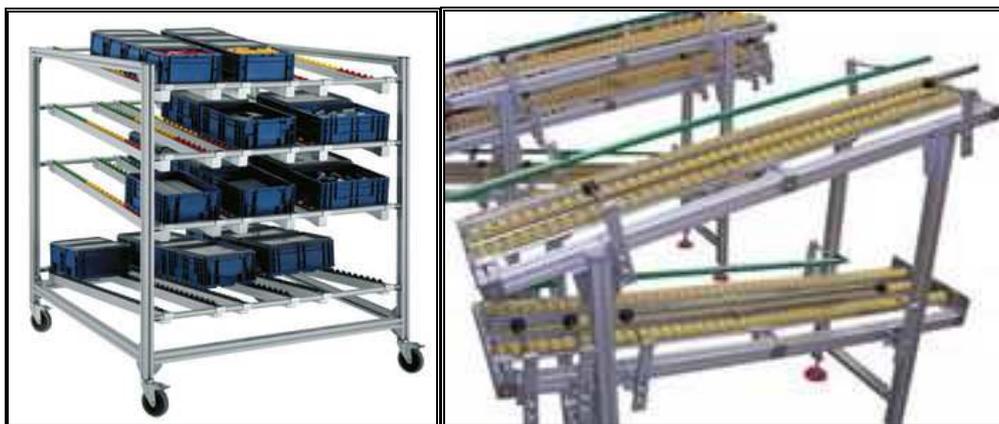


Figura 35. Estanterías dinámicas de Licking por gravedad con rampa con diferente pendiente para retorno de cajas vacías para el puesto de cascos de la línea B-58 automática.

## 4.2. Línea B-58. Pedaleras manuales (M).

### 4.2.1. Situación inicial de la línea

El punto principal de mejora en esta línea se encuentra en el equilibrado del reparto de las tareas para que los puestos de trabajo estén lo más equilibrados posible. Tal como se puede apreciar en la figura 36, los tiempos de ciclo de los cuatro operarios están completamente descompesados. El operario que marca el cuello de botella es el operario de carcasas. Por tanto, el operario de ensamblaje se encuentra un 17% menos cargado, el operario de ensamblaje un 7% y el operario de control un 33%.

Además, decir que las carcasas pasan directamente del operario de producción de carcasas a los operarios de ensamblaje. Sin embargo, serían necesarias el aprovisionamiento intermedio de 45 carcasas para que la igualar la capacidad de producción del operario de ensamblaje 2 a la capacidad de producción del operario de carcasas.

Op-Carcasas		Op-Control		Op-Ensamblaje 1		Op-Ensamblaje 2	
Tc total - tareas en rojo	41,42	Tc total - tareas en rojo	26,73	Tc total - tareas en rojo	37,43	Tc total - tareas en rojo	40,96
Tc tareas en rojo	3,89	Tc tareas en rojo	3,72	Tc tareas en rojo	0,94	Tc tareas en rojo	1,20
Tc total	45,30	Tc total	30,45	Tc total	38,37	Tc total	42,16

Figura 36. Tiempos de ciclo de los operarios de la línea B-58 manual.

### 4.2.2. Equilibrado de la línea

#### 4.2.2.1. Operaciones principales y auxiliares. Toma de tiempos de ciclo.

Para medir el tiempo de ciclo de las operaciones principales de todos los puestos de todas las líneas se realizaron 15 mediciones, ya que según la fórmula del punto 2.3.4. "Número de ciclos a cronometrar" este valor era suficiente para garantizar la validez estadística de los datos. A la media de estos tiempos (To), se aplicó el coeficiente An de valoración de la actividad, para posteriormente tener en cuenta la ampliación por los suplementos (K), resultando finalmente el tiempo tipo (Tp) elemental. Todos los datos recogidos a pie de puesto, así como las sucesivas operaciones de cálculo se encuentran en el Anexo 10.1. "Tiempos de ciclo de las operaciones principales (Tc)".

Se debe tener en cuenta, que dichos tiempos resultantes de las operaciones principales deben corresponderse a los tiempos de ciclo teóricos calculados en las fichas de operación estándar, algunas de las cuales aparecen en el Anexo 10.2 "Fichas de operación estándar (FOS)".

Las operaciones auxiliares son aquellas que realizan los operarios pero que realmente no forman parte directamente del proceso de producción del producto. Son tareas que deberían ser ejecutadas por un operario auxiliar, para que los operarios de los puestos se centrasen únicamente en realizar las tareas principales. Entre ellas destacan los aprovisionamientos de componentes, la gestión de embalajes, etc.

Para comprender mejor las tablas resumen de las tareas auxiliares, para cada puesto se ha representado gráficamente su layout.

#### Operario de Carcasas

- **Operaciones principales:** El tiempo de ciclo del el operario de carcasas (operario 1) fue de 40,93 segundos.

- **Operaciones auxiliares:** El layout del puesto del operario de carcasas (operario 1) es el que aparece en la figura 37.

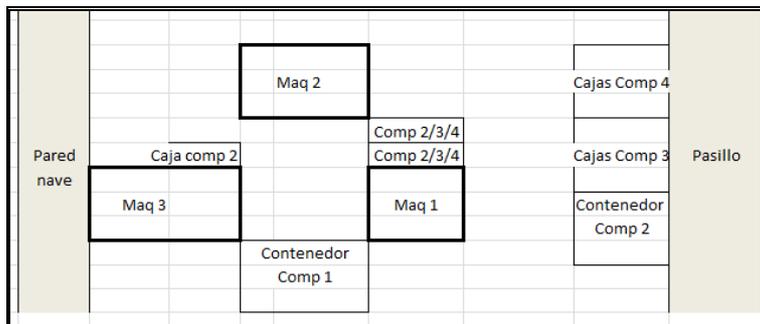


Figura 37. Layout del operario de carcasas (operario 1) de la línea B-58 manual.

Gracias a este layout se puede comprender mejor las operaciones auxiliares que aparecen en la tabla 11. En ella, aparecen operaciones que en si no forman directamente parte del proceso productivo, como son la recepción de componentes, aprovisionamiento de componentes a otros puestos, movimientos internos en el puesto de trabajo, reposición de componentes, reciclaje de los embalajes de componentes, etc.

Por otra parte, también aparece el tiempo estándar medido en cada una de las operaciones, así como la frecuencia que tiene cada operación con respecto a la pieza final. Teniendo esto en cuenta se obtiene el tiempo de ciclo total del puesto, que en este caso resulta ser de un valor de 45,30 segundos.

En otra línea, aparecen ciertas tareas auxiliares subrayadas en rojo. Esto quiere decir que son tareas auxiliares que realiza este operario, pero que podrían ser realizadas por otro operario. Además, se calcula su frecuencia con respecto a la pieza final, para calcular su tiempo, medido en minutos, a lo largo de un turno de trabajo de 8 horas.

Finalmente, las tareas auxiliares sombreadas en azul representan el desperdicio de tiempo que se produce al almacenar las carcasas, siendo está una tarea que no crea valor añadido al producto. Representan en torno a un 2,5% del total del tiempo del turno del operario.

Tareas		Tiempo estándar	Frecuencia por pieza	Tiempo de ciclo	Nº de veces	t(min)
	Tareas principales	40,93	1/1	40,93		
1	Recepcion Contenedor Comp 1	90,00	1/700	0,13	0,86	1,29
2	Recepcion Contenedor Comp 2	60,00	1/1000	0,06	0,60	0,60
3	Recepcion Palet Comp 3	60,00	1/2500	0,02	0,24	0,24
4	Recepcion Palet Comp 4	60,00	1/4000	0,02	0,15	0,15
5	Aprovisionamiento Caja Comp 2 a cinta rodillos	120,00	1/50	2,40	3,01	6,03
6	Aprovisionamiento Caja Comp 3 a cinta rodillos	60,00	1/180	0,33	3,35	3,35
7	Aprovisionamiento Caja Comp 4 a cinta rodillos	60,00	1/120	0,50	5,02	5,02
8	Traslado Caja llena Comp 2 junto a Maq 2	3,00	1/20	0,15		
9	Traslado Caja llena Comp 2 junto a Maq 2	3,00	1/20	0,15		
10	Pasar Caja vacia Comp 3 a bandeja inferior	3,00	1/20	0,15		
11	Aprovisionar caja tuercas Maq 1	40,00	1/2000	0,02	0,30	0,20
12	Rellenar tuercas Maq 1	148,00	1/500	0,30	1,21	2,97
13	Reciclaje embalaje tuercas Maq 1	19,20	1/2000	0,01	0,30	0,10
14	Aprovisionar caja pasadores	40,00	1/600	0,07	1,00	0,67
15	Rellenar pasadores	20,00	1/600	0,03		
16	Reciclaje caja pasadores	19,20	1/600	0,03	1,00	0,32
17	Recepcion y retirada contenedor carcasas	85,00	1/120	0,71	5,02	7,11
18	Aprovisionamiento carcasas	10,00	1/20	0,50	30,13	5,02
						12,13
			<b>Tc total</b>	45,30		

Tabla 11. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de carcasas (operario 1) de la línea B-58 manual.

### Operario de Ensamblaje 1

- **Operaciones principales:** El tiempo de ciclo del el operario de ensamblaje 1 (operario 2) fue de 36,96 segundos.
- **Operaciones auxiliares:** El layout del puesto del operario de ensamblaje 1 (operario 2) es el que aparece en la figura 38.



Figura 38. Layout del operario de ensamblaje 1 (operario 2) de la línea B-58 manual.

Gracias a este layout se puede comprender mejor las operaciones auxiliares que aparecen en la tabla 12. En ella, aparecen operaciones que en si no forman directamente parte del proceso productivo,

como son la recepción de componentes, aprovisionamiento de componentes a otros puestos, movimientos internos en el puesto de trabajo, reposición de componentes, reciclaje de embalajes, etc.

Por otra parte, también aparece el tiempo estándar medido en cada una de las operaciones, así como la frecuencia que tiene cada operación con respecto a la pieza final. Teniendo esto en cuenta se obtiene el tiempo de ciclo total del puesto, que en este caso resulta ser de un valor de 38,59 segundos.

En otra línea, las tareas auxiliares subrayadas en rojo son tareas que realiza este operario, pero que podrían ser realizadas por otro operario. Además, se calcula su frecuencia con respecto a la pieza final, para calcular su tiempo, medido en minutos, a lo largo de un turno de trabajo de 8 horas.

Las tareas auxiliares en violeta representan el desperdicio de tiempo que se produce al rellenar componentes (tornillería especialmente) en recipientes en el puesto, en lugar de colocar la unidad de acondicionamiento (caja de cartón) directamente. Esta tarea auxiliar no crea valor añadido al producto. Representan en torno a un 0,5% del total del tiempo del turno del operario.

Finalmente, las tareas auxiliares sombreadas en azul representan el desperdicio de tiempo que se produce al stocar las carcasas, siendo está una tarea que no crea valor añadido al producto. Representan en torno a un 3% del total del tiempo del turno del operario.

Tareas		Tiempo estándar	Frecuencia por pieza	Tiempo de ciclo	Nº de veces	t(min)
	Tareas principales	36,96	1/1	36,96		
1	Recargar barra pintura	86,40	1/3480	0,02	0,20	0,29
2	Quitar caja vacia y colocar caja llena	8,00	1/20	0,40		
3	Aprovisionar caja tornillos	32,00	1/300	0,11	2,36	1,26
4	Rellenar tornillos	20,00	1/200	0,10	3,54	1,18
5	Reciclaje embalaje tornillos	19,20	1/300	0,06	2,36	0,75
6	Aprovisionar tipex	86,40	1/3480	0,02	0,20	0,29
7	Aprovisionar caja tuercas	32,00	1/2000	0,02	0,35	0,19
8	Rellenar tuercas	20,00	1/600	0,03		
9	Reciclaje embalaje tuercas	19,20	1/2000	0,01		
10	Aprovisionar caja cilindros	32,00	1/600	0,05	1,18	0,63
11	Rellenar cilindros	20,00	1/175	0,11	4,04	1,35
12	Reciclaje embalaje cilindros	20,00	1/600	0,03		
13	Aprovisionar grasa	120,00	1/1050	0,11	0,67	1,35
14	Aprovisionar caja conectores	32,00	1/420	0,08	1,68	0,90
15	Rellenar conectores	5,00	1/15	0,33	47,17	3,93
16	Reciclaje embalaje caja conectores	19,20	1/420	0,05	1,68	0,54
17	Aprovisionar caja piezas plastico	32,00	1/4000	0,01	0,18	0,09
18	Rellenar piezas plastico	20,00	1/300	0,07	2,36	0,79
19	Reciclaje embalaje piezas plastico	19,20	1/4000	0,00	0,18	0,06
20	Recepcion y retirada contenedor carcasas	85,00	1/120	0,71	5,90	8,35
21	Aprovisionamiento carcasas	10,00	1/20	0,50	35,37	5,90
						<b>16,77</b>
			<b>Tc total</b>	<b>38,59</b>		

Tabla 12. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de ensamblaje 1 (operario 2) de la línea B-58 manual.

## Operario de Ensamblaje 2

- **Operaciones principales:** El tiempo de ciclo del el operario de ensamblaje 2 (operario 3) fue de 40,17 segundos.
- **Operaciones auxiliares:** El layout del puesto del operario de ensamblaje 2 (operario 3) es el que aparece en la figura 39.



Figura 39. Layout del operario de ensamblaje 2 (operario 3) de la línea B-58 manual.

Gracias a este layout se puede comprender mejor las operaciones auxiliares que aparecen en la tabla 13. En ella, aparecen operaciones que en si no forman directamente parte del proceso productivo, como son la recepción de componentes, aprovisionamiento de componentes a otros puestos, movimientos internos en el puesto de trabajo, reposición de componentes, reciclaje de los embalajes de componentes, etc.

Por otra parte, también aparece el tiempo estándar medido en cada una de las operaciones, así como la frecuencia que tiene cada operación con respecto a la pieza final. Teniendo esto en cuenta se obtiene el tiempo de ciclo total del puesto, que en este caso resulta ser de un valor de 42,16 segundos.

En otra línea, aparecen ciertas tareas auxiliares subrayadas en rojo. Esto quiere decir que son tareas auxiliares que realiza este operario, pero que podrían ser realizadas por otro operario. Además, se calcula su frecuencia con respecto a la pieza final, para calcular su tiempo, medido en minutos, a lo largo de un turno de trabajo de 8 horas.

Las tareas auxiliares sombreadas en violeta representan el desperdicio de tiempo que se produce al rellenar componentes (tornillería especialmente) en recipientes en el puesto, en lugar de colocar la unidad de acondicionamiento (caja de cartón) directamente en el puesto. Estas tareas auxiliares no crean valor añadido al producto. Representan en torno a un 0,1% del total del tiempo del turno del operario.

Finalmente, las tareas auxiliares sombreadas en azul representan el desperdicio de tiempo que se produce al stocar las carcasas, siendo está una tarea que no crea valor añadido al producto. Representan en torno a un 2,7% del total del tiempo del turno del operario.

Tareas		Tiempo estándar	Frecuencia por pieza	Tiempo de ciclo	Nº de veces	t(min)
	Tareas principales	40,17	1/1	40,17		
1	Aprovisionar caja muelles	32,00	1/250	0,13	2,59	1,38
2	Aprovisionar caja tornillos	32,00	1/300	0,11	2,16	1,15
3	Aprovisionar tuercas	32,00	1/2000	0,02	0,32	0,17
4	Aprovisionar cilindros	32,00	1/600	0,05	1,08	0,58
5	Rellenar tornillos	20,00	1/200	0,10	1,08	0,36
6	Rellenar tuercas	20,00	1/600	0,03		
7	Rellenar cilindros	20,00	1/175	0,11		
8	Aprovisionar tipex	86,40	1/3750	0,02	0,17	0,25
9	Aprovisionar grasa	120,00	1/1500	0,08	0,43	0,86
10	Reciclar caja tornillos	19,20	1/300	0,06	2,16	0,69
11	Reciclar caja tuercas	19,20	1/2000	0,01	0,32	0,10
12	Reciclar caja cilindros	19,20	1/600	0,03	1,08	0,35
13	Tirar caja grasa vacia	19,20	1/1500	0,01	0,43	0,14
14	Quitar caja vacia y colocar llena	10,00	1/20	0,50		
15	Cargar cajas vacias a carretilla	40,00	1/120	0,33	5,40	3,60
16	Aprovisionar vimercati	32,00	1/150	0,21	4,32	2,30
17	Movimientos en mesa vimercati	3,00	1/20	0,15		
18	Reciclar embalaje vimercati	19,20	1/150	0,13	4,32	1,38
19	Aprovisionamiento carcasas	10,00	1/20	0,50	32,37	5,40
20	Recepcion y retirada contenedor carcasas	85,00	1/120	0,71	5,40	7,64
						13,40
			<b>Tc total</b>	42,16		

Tabla 13. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de ensamblaje 2 (operario 3) de la línea B-58 manual.

## Operario de Control

- **Operaciones principales:** El tiempo de ciclo del el operario de control (operario 4) fue de 25,17 segundos.
- **Operaciones auxiliares:** El layout del puesto del operario de control (operario 4) es el que aparece en la figura 40.

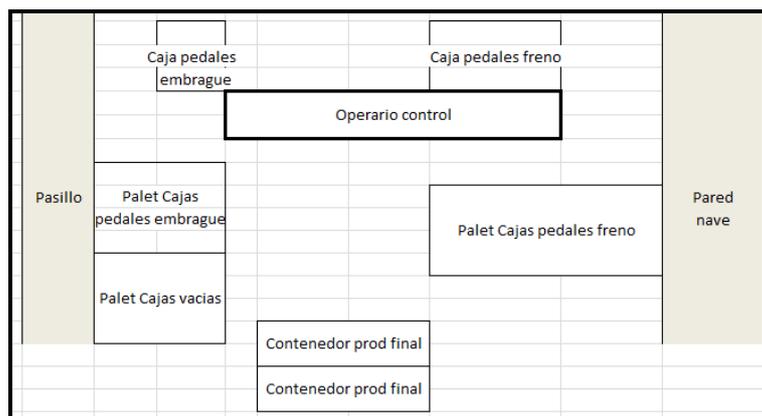


Figura 40. Layout del operario de control (operario 4) de la línea B-58 manual.

Gracias a este layout se puede comprender mejor las operaciones auxiliares que aparecen en la tabla 14. En ella, aparecen operaciones que en si no forman directamente parte del proceso productivo, como son la recepción de componentes, aprovisionamiento de componentes a otros puestos, movimientos internos en el puesto de trabajo, reposición de componentes, reciclaje de los embalajes de componentes, etc.

Por otra parte, también aparece el tiempo estándar medido en cada una de las operaciones, así como la frecuencia que tiene cada operación con respecto a la pieza final. Teniendo esto en cuenta se obtiene el tiempo de ciclo total del puesto, que en este caso resulta ser de un valor de 30,45 segundos.

Tareas		Tiempo estándar	Frecuencia por pieza	Tiempo de ciclo	Nº de veces	t(min)
	Tareas principales	25,17	1/1	25,17		
1	Embalaje contenedor, giro, etiqueta y 1ª base	91,31	1/48	1,90	18,68	28,42
2	Aprovisionar cajas pedales Op Ensamblaje 1	25,00	1/75	0,33	11,95	4,98
3	Recepcion palet cajas pedales -Op Ens 1	120,00	1/500	0,24	1,79	3,59
4	Poner la 2ª y 3ª base	10,21	1/24	0,43		
5	Aprovisionar cartones con carrito	300,00	1/2400	0,13	0,37	1,87
6	Retirar cajas vacias Op-Ensamblaje 1	20,00	1/60	0,33	14,94	4,98
7	Aprovisionar pintura	86,40	1/500	0,17	1,79	2,58
8	Cambio rollo etiquetas maquina	300,00	1/1000	0,30		
9	Recepcion palet cajas pedales -Op Ens 2	60,00	1/500	0,12	1,79	1,79
10	Aprovisionar cajas pedales Op Ensamblaje 2	25,00	1/75	0,33	11,95	4,98
11	Aprovisionar capot capteur	12,80	1/200	0,06	4,48	0,96
12	Rellenar capot capteur	10,00	1/12	0,83		
13	Reciclar embalaje capot capteur	19,20	1/200	0,10	4,48	1,43
			<b>Tc total</b>	<b>30,45</b>		

Tabla 14. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de control (operario 4) de la línea B-58 manual.

#### 4.2.2.2. Estudio de toma de tiempos. Soluciones de equilibrado

##### Solución nº1.- Situación (2)

Esta solución consiste en equilibrar todos los puestos. Para ello, el operario de control debe realizar las tareas en rojo del operario de carcasas y del operario de ensamblaje 2. Con ello, se logra reducir la diferencia de tiempo de ciclo entre el operario de carcasas (operario más cargado) con los otros tres operarios. Sin embargo, dicha diferencia sigue siendo grande, ya que se trata de en torno a 6 segundos con el operario de control, 3 segundos con el operario de ensamblaje 1 y de 0,5 segundos con el operario de ensamblaje, lo que supone un 14,5%, un 7,25% y un 1,2% de variación respectivamente.

Por otra parte, no es necesario aprovisionar carcasas, en lugar de las 45 unidades actuales, en contenedores previamente almacenados como consecuencia del mayor tiempo de ciclo del operario de carcasas.

En la tabla 15 se compara la distribución de los tiempos de ciclo de los operarios de la solución nº1 con respecto a la situación actual, así como el tiempo de ciclo del producto final.

	Tc actual (1)	Tc situación (2)
<b>Op Control</b>	30,45	35,54
<b>Op Ensamblaje 1</b>	38,37	38,37
<b>Op Ensamblaje 2</b>	42,16	40,96
<b>Op Carcasas</b>	45,30	41,42
<b>Suma tiempos ciclo</b>	156,29	156,29

Tabla 15. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 manual en la solución nº1 comparándolos con la situación actual.

##### Solución nº2.- Situación (3)

Debido a que en la anterior solución existe una importante cantidad de tiempo ocioso que no puede ser eliminada con la situación de actual de 4 operarios en la línea, se propone eliminar el puesto del operario de ensamblaje 2, redistribuyendo de esta forma las todas las tareas entre un puesto de carcasas, un puesto de ensamblaje y un puesto de control. La nueva distribución de tareas es la siguiente:

El nuevo operario de carcasas lleva a cabo sus tareas auxiliares y las tareas 14,15,16,17 y 18 en rojo del antiguo operario de ensamblaje 1. El nuevo operario de control realiza sus tareas auxiliares y la tarea 5 en rojo del operario de carcasas. Finalmente, el nuevo operario de ensamblaje hace sus tareas auxiliares y las tareas 1,2,3,4,6,7 en rojo del antiguo operario de carcasas y la 3 y 5 del anterior operario de control. Además, en esta solución no se contempla el almacenaje de carcasas.

En el punto 5.4.1. del presente trabajo, se presentan las fichas de operación estandar (FOS) para esta solución, donde quedan reflejadas exhaustivamente las tareas y el modo operatorio que se deben realizar en cada uno de los nuevos puestos.

Así mismo, en el anexo 10.2. aparecen los cálculos y la redistribución de tareas de esta solución.

En la tabla 16 se compara la distribución de los tiempos de ciclo de los operarios de la solución nº2 con respecto a la situación actual, así como el tiempo de ciclo del producto final.

	Tc actual (1)	Tc situación (3)	
Op Control	30,45	50,48	Op Control
Op Ensamblaje 1	38,37	50,32	Op Ensamblaje
Op Ensamblaje 2	42,16	50,37	Op Carcasas
Op Carcasas	45,30		
Suma tiempos ciclo	156,29	151,17	Suma tiempos ciclo

Tabla 16. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-58 manual en la solución n°2 comparándolos con la situación actual.

En la siguiente figura 41, se representa el nuevo layout de esta solución.

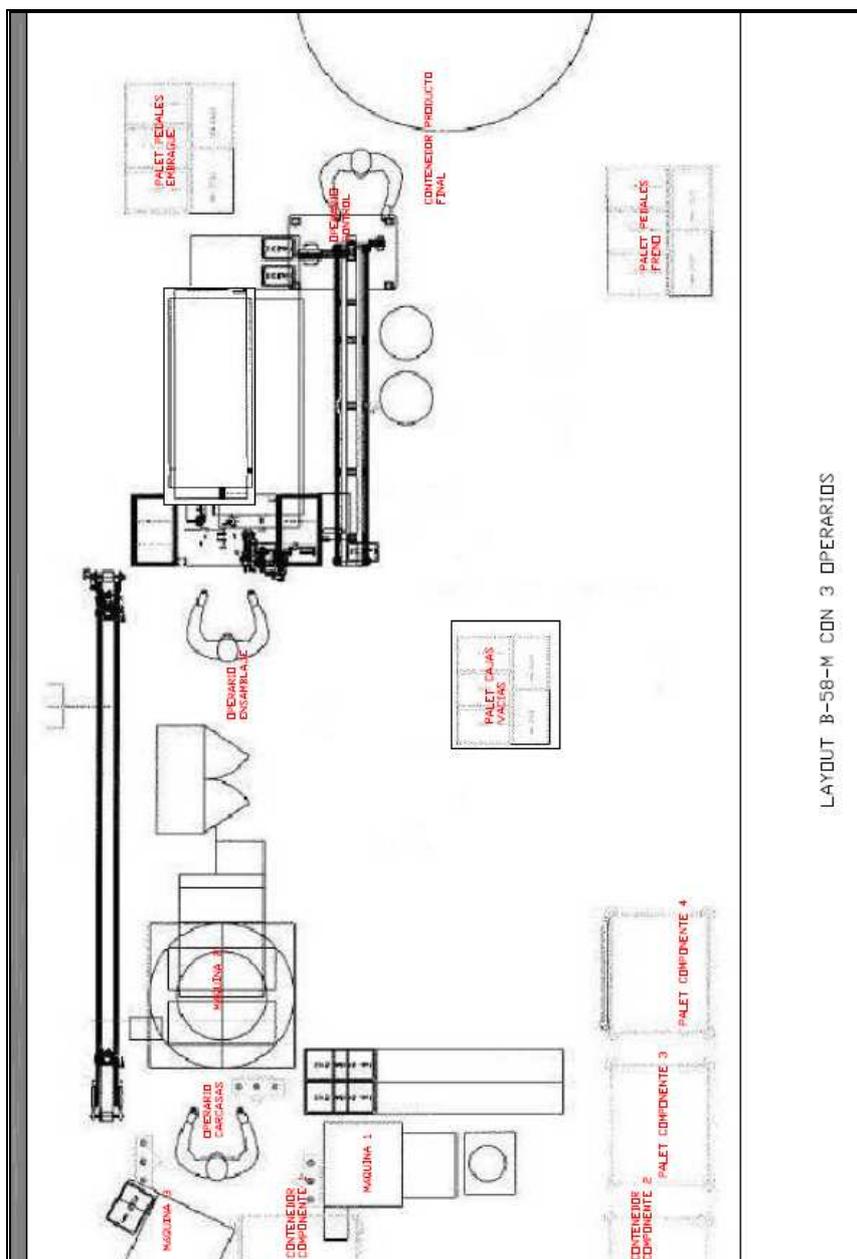


Figura 41. Layout de la línea B-58 con 3 operarios.

### 4.2.3. Análisis de la eficiencia del equilibrado de la línea

	Tc actual (1)	Tc situación (2)	Tc situación (3)	
Op Control	30,45	35,54	50,48	Op Control
Op Ensamblaje 1	38,37	38,37	50,32	Op Ensamblaje
Op Ensamblaje 2	42,16	40,96	50,37	Op Carcasas
Op Carcasas	45,30	41,42	151,17	Suma tiempos ciclo
Suma tiempos ciclo	156,29	156,29		
% t ocioso(resp turno 1 Op)	36,77	22,65	0,55	
Coste tiempo ocioso	117,67	72,48	1,77	
Prod	603	659	541	
Stock carcasas necesarias	45	0	0	
Prod final	647	659	541	
T produccion (h)	8,11	7,58	7,58	
T produccion/ud	45,30	41,42	50,48	
Coste/ud	2,672	2,549	2,515	
T produccion 200 ud	2,52	2,30	2,80	
Coste 200 ud	557,59	509,77	503,02	
Coste/ud (200 ud)	2,788	2,549	2,515	
Coste Carretillero+carretilla	4,22	0	0	
Coste/ud (200 ud) + carret	2,809	2,549	2,515	

Figura 42. Tabla análisis eficiencia de la línea B-58 manual.

Para realizar el análisis de la línea, lo primero a tener en cuenta es la demanda del cliente. En este sentido todas las soluciones, incluida la situación actual, son capaces de producir las 200 unidades de pedaleras manuales necesarias.

Por otra parte, el principal aspecto a tener en cuenta para elegir la solución óptima va a ser el coste y el tiempo de producción de 200 unidades. Se pasa ahora a analizar cada una de las alternativas, según la figura 42:

En la situación actual, la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es elevado, siendo de un 22,65%. La producción máxima por turno es de 659 unidades, siendo necesario el aporte de 45 carcasas. El tiempo de producción por unidad es de 45,30 segundos. El tiempo de producción de 200 unidades es de 2,52 horas, con un coste, incluyendo el coste del carretillero y la carretilla, de 2,809 €/ud.

La solución nº1 (situación 2), la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es elevado, siendo de un 0,66%. La producción máxima por turno es de 967 unidades, no siendo necesario el aporte de carcasas. El tiempo de producción por unidad es de 41,42 segundos. El tiempo de producción de 200 unidades es de 2,30 horas, con un coste de 2,549 €/ud.

La solución nº2 (situación 3), la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es bajo, siendo de un 0,55%. La producción máxima por turno es de 541 unidades, no siendo necesario el aporte de carcasas. El tiempo de producción por unidad es de 50,48 segundos. El tiempo de producción de 200 unidades es de 2,80 horas, con un coste de 2,515 €/ud.

Como se puede apreciar las dos soluciones planteadas pueden ser óptimas. La nº 1 tiene un coste de producción algo superior a la nº2, pero el tiempo de producción de 200 unidades es de 2,30

horas en lugar de 2,80 horas. Teniendo en cuenta que la demanda se prevee se mantenga constante o incluya un descenso, el tiempo de producción ya no es una variable decisiva, por lo que se escogería como solución óptima la nº2. Además, la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es mucho menor en la nº2 que en la nº1. Se puede afirmar incluso que el equilibrio en la solución sería casi perfecto, ya que solo existiría un 0,55% de tiempo ocioso de los operarios.

### **4.2.4. Estandarización del puesto de trabajo**

---

#### **4.2.4.1. Fichas de operación estándar para la solución con 3 operarios**

Como se ha descrito en el punto 2.4, en una FOS se define el mejor método de realización de las operaciones, que permite conseguir los objetivos de calidad, coste y plazo, garantizando al mismo tiempo la seguridad del operario. Es el mejor método del momento, pero que debe ser mejorada constantemente para mantenerla, mediante el refuerzo de las competencias y la mejora de la implantación de los equipos en el taller, del utillaje y del modo operatorio.

En el anexo 10.3 “Fichas de operación estándar” se recogen las FOS de cada operario para la solución 3, la cual cuenta con 3 operarios en lugar de 4.

El primer operario, operario de carcasas, lleva a cabo las tareas que realizaba inicialmente y ensambla parte del conexionado eléctrico de la pedalera. Posteriormente, la carcasa con el parte del conexionado eléctrico pasa al puesto dos, operario de ensamblaje, donde éste se finaliza. Además, coloca el pedal de embrague y de freno. Para finalizar, el conjunto pasa al puesto tres, operario de control, que pone el muelle del embrague, valida el producto final y lo coloca en el contenedor de expedición.

### **4.2.5. Cambios a realizar en la solución óptima siguiendo los principios del lean manufacturing**

---

#### **4.2.5.1. Cinco S**

##### **Seleccionar (Seiri)**

El primer paso de las cinco S es identificar en el puesto de trabajo todos los elementos innecesarios para realizar las tareas, de esta forma se selecciona lo realmente necesario. Para ello, se coloca una tarjeta, que significa expulsión, a cada elemento considerado como no necesario para la operación. Posteriormente, estos artículos son retirados a un área de almacenamiento transitorio. Para que, si se confirma que son innecesarios, se dividan en dos clases, los que se pueden utilizar para otra operación y los que no, que serán descartados.

Se marcan con tarjeta roja una serie de elementos que son catalogados como innecesarios, y que por lo tanto deben ser eliminados. Entre ellos se citan: componentes de pequeñas dimensiones desparramados por el suelo (tornillos, tuercas, pasadores, etc.), productos finales obsoletos colgados en la pared anexa de la nave, trapos de limpieza en mal estado de conservación, trozos de cinta de embalar, tapas de cajas de embalaje, papeles, tippex y barras de pintura vacíos, bolígrafos gastados, etc.

## Organizar (Seiton)

Una vez se han clasificado los elementos como necesarios, se organizan éstos para que puedan ser encontrados con facilidad. Para ello se establecen normas de orden como pintar el suelo delimitando claramente áreas de trabajo y ubicaciones, etc.

Entre los elementos que necesitan de este orden destacan los siguientes:

- **Transpaleta:** Actualmente, no existe una zona definida para dejar la transpaleta. Los operarios la usan y la dejan en diferentes sitios. Esto conlleva que cuando es necesaria, el operario no sabe donde está, por lo que la debe buscar, conllevando una pérdida de tiempo. Se propone delimitar un sitio determinado para colocar la transpaleta una vez utilizada. Un buen lugar es al lado del punto de reciclaje de plástico y cartones, ya que equidista de las líneas de pedaleras actuales B58 y B9, y de la futura línea B78.

Esta zona será delimitada pintando sus correspondientes lados en el suelo.

La figura 29 representa gráficamente la zona a ocupar por la transpaleta.

- **Elementos de limpieza:** Actualmente, tampoco existe una zona definida para dejar los elementos de limpieza. Los operarios los usan y los dejan en diferentes sitios. Esto conlleva que cuando los necesitan, los operarios no saben donde están, por lo que la deben buscar, conllevando una pérdida de tiempo. Se propone delimitar un sitio determinado para colocar estos elementos una vez utilizados. Un buen lugar es al lado de los contenedores de producto final.

Esta zona será delimitada pintando sus correspondientes lados en el suelo.

La figura 43 representa gráficamente la zona a ocupar por los elementos de limpieza.

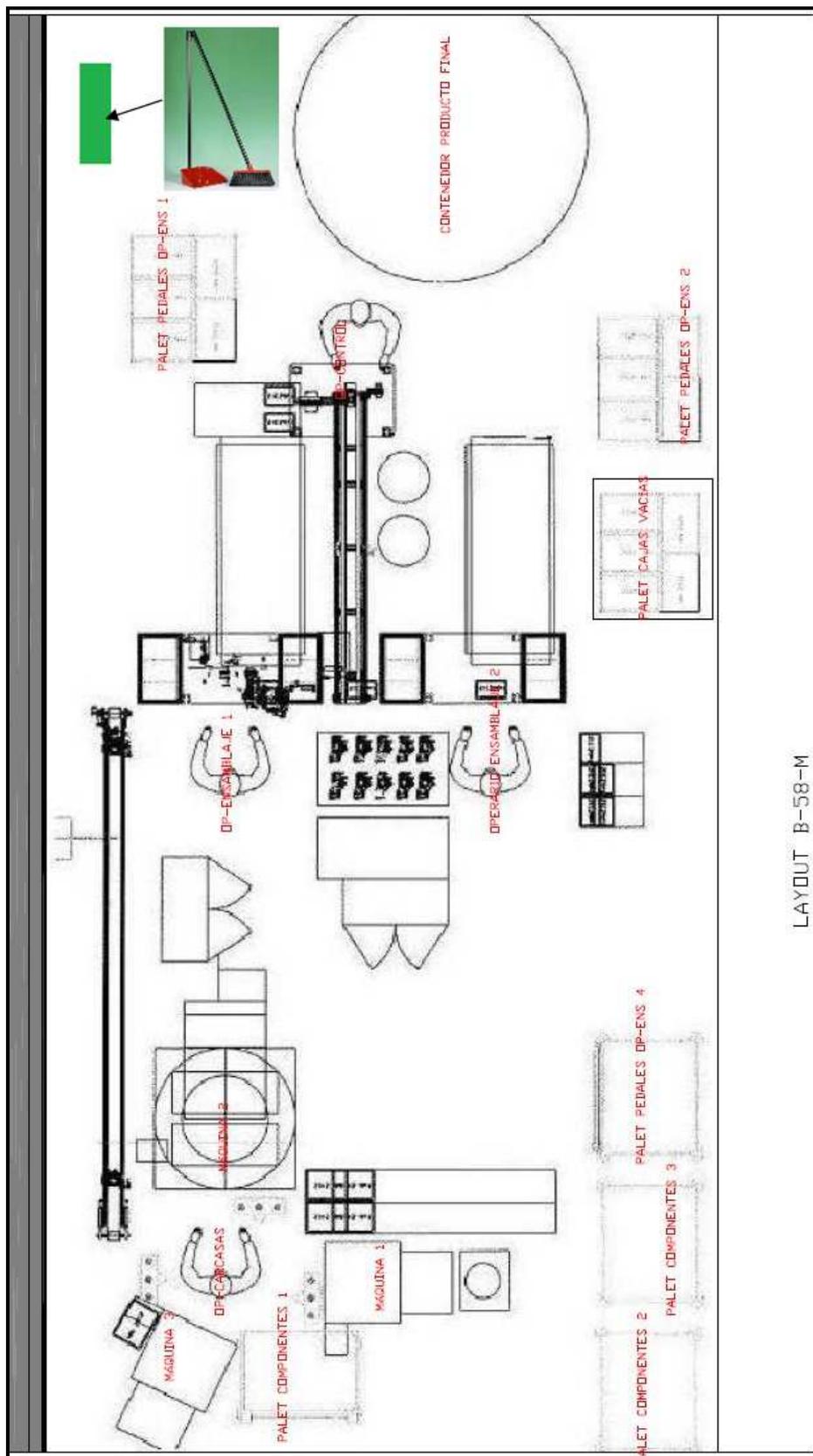


Figura 43. Layout localización de los elementos de limpieza en la línea B58 manual.

- **Punto de utilización de materiales:** Actualmente, tampoco existe una zona definida para dejar los elementos tales como los tippex, las barras de pintura, trapos o bolígrafo o barras de pintura. Por ello los operarios al acabar su turno de trabajo los depositan sin ningún criterio ni orden. Se propone en cada puesto unos compartimentos para el tippex, las barras de pintura y los bolígrafos. Por otra parte, en estanterías anexas ya existentes, se propone dejar los trapos de limpieza en cajas de plástico. Con ello se evita que manchen los partes de trabajo diarios con formato en papel.

### Limpiar (Seiso)

Se refiere al eliminar toda suciedad y polvo en todos los elementos de una planta. Limpiando el polvo, limaduras, grasa, aceites, taladrinas u otro tipo de suciedad o residuos, hace que el operario se identifique con su puesto y con las máquinas asignadas.

Además, hay que considerar que no solo es necesario la limpieza periódica, sino que el objetivo es integrarla en los hábitos y en los procedimientos de trabajo.

### Estandarizar (seiketsu)

Estandarizar tiene la función de conservar el estado de limpieza y organización logrado con la aplicación de las anteriores S's. Esta etapa debe ser permanente y su objetivo es distinguir fácilmente una situación normal de otra anormal, mediante normas sencillas y controles visuales.

Para llevarla a cabo, se pueden llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- Localizar fotografías del puesto de trabajo en condiciones óptimas para que puedan ser vistas por todos los empleados.
- Gestión visual mediante paneles de seguimiento.
- Cajas de plástico o contenedores metálicos para componentes o productos rechazados de diferentes colores según el origen de la causa, ya sea achacadas a la línea, al proveedor o para ser reprocesadas. Al ser clasificadas las piezas, sólo hay un sitio para cada cosa, y cualquier persona puede apreciar de modo inmediato si una operación particular está procediendo normal o anormalmente, sin tener en cuenta su conocimiento del mismo.



Figura 44. Bandejas rojas: scrap; bandejas amarillas: scrap proveedor; bandejas azules: reproceso.

#### 4.2.5.2. Aprovechamiento de componentes a puesto de trabajo directamente desde embalajes del proveedor

En la actualidad los componentes con referencias 20002391/00A, V45143 y 20005543/00A, respectivamente tuercas, cilindros y tornillos son aprovisionados al puesto de trabajo desde el punto de aprovisionamiento a la línea mediante el embalaje del proveedor. Éste consiste en cajas de cartón de las siguientes dimensiones: 30x20x10, 29x16x13 y 30,5x20x9,5 cm., respectivamente. En cada puesto existen una cajas de plástico tales como en la figura 45, en las cuales se transpasan los componentes anteriores desde sus embalajes anteriores.

La idea es quitar estas cajas de plástico y poner los componentes directamente en el puesto en sus embalajes de cartón originales, según figura 45. Éstos son lo suficientemente resistentes para no deformarse ni plantear ningún problema. Con ello se consigue eliminar una pérdida de tiempo en el transpaso entre ambas cajas, además de evitar que se desparramen por el suelo algunas piezas debidas a su reducido tamaño.

En la línea de ensamblaje de las pedaleras B58 manuales, esta acción es posible en el puesto del operario de ensamblaje 1 con los cilindros y tornillos, referencias V45143 y 20005543/00A, respectivamente y en el puesto de ensamblaje 2 con los tornillos, referencia 20005543/00A. En los demás puestos o para otras referencias no hay suficiente espacio para incluir el embalaje de cartón directamente.



Figura 45. Caja de componentes en los puestos de ensamble y caja de embalaje de proveedor de los componentes con referencias 20002391/00A, V45143 y 20005543/00A.

#### 4.2.5.3. Modificaciones en puesto del operario de carcasas

##### Modificación de la estantería dinámica por gravedad para el aprovisionamiento de componentes al puesto

El puesto de trabajo del operario de carcasas presenta una oportunidad de mejora, tanto para la ergonomía del puesto como para la productividad. Como se ve en la figura 46, la estantería rodeada en color rosa presenta dos alturas y dos filas y es del tipo que aparece en la figura 47. Esta estantería dinámica por gravedad es la que alimenta con los componentes 2, 3 y al puesto, en las superiores el 2 y el 3 y en las inferiores el 3.

Actualmente, no hay una rampa inferior o superior para el retorno de las cajas vacías para ser depositadas en la zona de alimentación de la línea anexa al pasillo. Esto conlleva que el operario cada vez que se acaban las piezas de una de las cajas tenga que salir de su puesto para realizar la operación descrita anteriormente, lo cual lleva consigo una considerable pérdida de tiempo en recorridos que no aportan valor.

Introduciendo una estantería dinámica por gravedad con 4 filas con pendiente hacia el puesto y otras tantas con pendiente hacia la zona de alimentación de la línea, el operario de carcasas puede dejar las cajas vacías en una de las rampas de retorno de cajas vacías, sin tener que abandonar su puesto de trabajo, según modelo de estantería de la figura 48. De esta forma, la pérdida de tiempo por el aprovisionamiento de componentes al puesto se puede reducir en un 800%, ya que en cada fila de la estantería se pueden disponer 5 cajas. Además, este aprovisionamiento, al ser menos frecuente, podría ser realizado por otro operario, para equilibrar más todos los puestos de la línea.

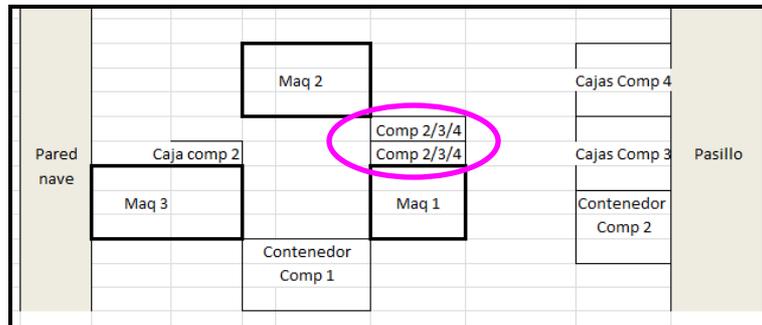


Figura 46. Layout del operario de carcasas (operario 1) de la línea B-58 manual.

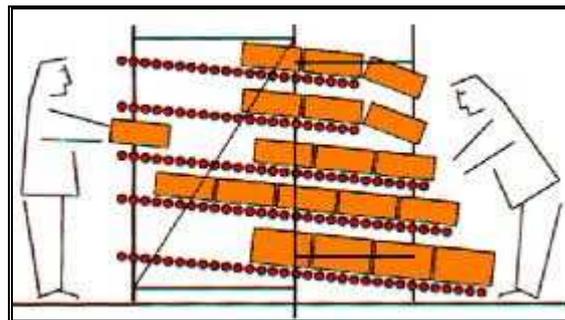


Figura 47. Estantería dinámica de picking por gravedad del puesto de carcasas de la línea B-58 manual.

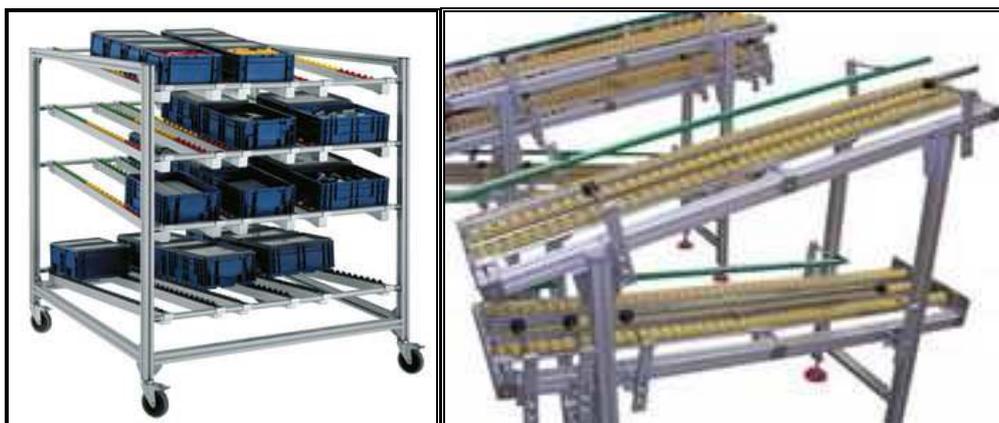


Figura 48. Estanterías dinámicas de Licking por gravedad con rampa con diferente pendiente para retorno de cajas vacías para el puesto de carcasas de la línea B-58 manual.

## Elevación del contenedor del componente 2

Con el fin de mejorar la ergonomía del puesto de trabajo se presenta esta opción. El componente 2 de las carcasas viene embalado en un contenedor de dimensiones 120x100x88 cm., en el cual hay 1000 unidades. El operario de carcasas las debe pasar manualmente a cajas de dimensiones 40x30x20,5 cm. y con contenido aproximado de 50 unidades. Es decir esta operación se hace en torno a 20 veces por contenedor. Dicho contenedor descansa a nivel del suelo, lo que hace que el operario deba agacharse demasiado y no sea una posición ergonómica. Por tanto, se propone poner una base elevadora para mejorar en lo posible la posición del operario en esta tarea. Se presentan en la figura 49 diferentes tipos de base, ya sea rodante, metálicas de diferentes altura o simplemente un palet.



Figura 49. Diferentes plataformas para elevar el palet del componente 2 del puesto de carcasas de la línea B58 manual.

### 4.3. Línea B-58. Pedalera B-9

#### 4.3.1. Situación inicial de la línea

El primer punto principal de mejora en esta línea se encuentra en la disminución de desperdicios, buscando una solución que elimine el almacenaje de las carcasas. De esta forma, como ya se ha descrito en el punto 3.2.3. "Layout líneas de proyecto", la totalidad de las carcasas de este modelo son consideradas componentes de origen interno (POI), por lo tanto stocadas. Es decir, en este modelo hay un aprovisionamiento exterior de carcasas. Las carcasas son producidas por el operario de carcasas de la línea de pedaleras B-9, son stocadas y posteriormente se aprovisionan al operario de ensamblaje 1.

La segunda posibilidad de mejora aparece al mejorar el reparto de las tareas para que los puestos de trabajo estén lo más equilibrados posible. Tal como se puede apreciar en la figura 50, aunque los tiempos de ciclo de los tres operarios no están del todo descompesados, sí que se aprecia la posibilidad de mejora al reducir la diferencia de un 4% y un 9% entre el operario de ensamblaje 1 y los operarios de control y de ensamblaje 2 respectivamente.

Op-Control		Op-Ensamblaje 1		Op-Ensamblaje 2	
Tc total - tareas en rojo	33,63	Tc total - tareas en rojo	38,11	Tc total - tareas en rojo	32,98
Tc tareas en rojo	3,41	Tc tareas en rojo	0,63	Tc tareas en rojo	2,10
Tc total	37,04	Tc total	38,74	Tc total	35,08

Figura 50. Tiempos de ciclo de los operarios de la línea B9 en B-58.

#### 4.3.2. Equilibrado de la línea

##### 4.3.2.1. Operaciones principales y auxiliares. Toma de tiempos de ciclo

Para medir el tiempo de ciclo de las operaciones principales de todos los puestos de todas las líneas se realizaron 15 mediciones, ya que según la fórmula del punto 2.3.4. "Número de ciclos a cronometrar" este valor era suficiente para garantizar la validez estadística de los datos. A la media de estos tiempos (To), se aplicó el coeficiente An de valoración de la actividad, para posteriormente tener en cuenta la ampliación por los suplementos (K), resultando finalmente el tiempo tipo (Tp) elemental. Todos los datos recogidos a pie de puesto, así como las sucesivas operaciones de cálculo se encuentran en el Anexo 10.1. "Tiempos de ciclo de las operaciones principales (Tc)".

Se debe tener en cuenta, que dichos tiempos resultantes de las operaciones principales deben corresponderse a los tiempos de ciclo teóricos calculados en las fichas de operación estándar, algunas de las cuales aparecen en el Anexo 10.2 "Fichas de operación estándar (FOS)".

Las operaciones auxiliares son aquellas que realizan los operarios pero que realmente no forman parte directamente del proceso de producción del producto. Son tareas que deberían ser ejecutadas por un operario auxiliar, para que los operarios de los puestos se centrasen únicamente en realizar las tareas principales. Entre ellas destacan los aprovisionamientos de componentes, la gestión de embalajes, etc.

Para comprender mejor las tablas resumen de las tareas auxiliares, para cada puesto se ha representado gráficamente su layout.

## Operario de Ensamblaje 1

- **Operaciones principales:** El tiempo de ciclo del el operario de ensamblaje 1 (operario 1) fue de 37,25 segundos.
- **Operaciones auxiliares:** El layout del puesto del operario de ensamblaje 1 (operario 1) es el que aparece en la figura 51.

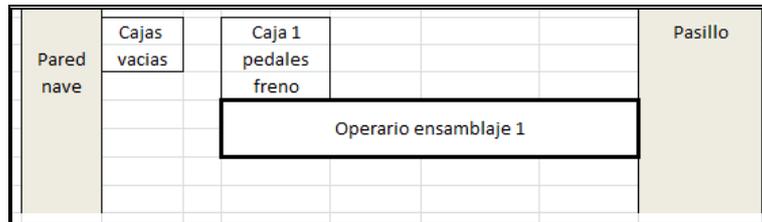


Figura 51. Layout del operario de ensamblaje 1 (operario 1) de la línea B-9 en línea B-58.

Gracias a este layout se puede comprender mejor las operaciones auxiliares que aparecen en la tabla 17. En ella, aparecen operaciones que en si no forman directamente parte del proceso productivo, como son la recepción de componentes, aprovisionamiento de componentes a otros puestos, movimientos internos en el puesto de trabajo, reposición de componentes, reciclaje de los embalajes de componentes, etc.

Por otra parte, también aparece el tiempo estándar medido en cada una de las operaciones, así como la frecuencia que tiene cada operación con respecto a la pieza final. Teniendo esto en cuenta se obtiene el tiempo de ciclo total del puesto, que en este caso resulta ser de un valor de 38,94 segundos.

En otra línea, aparecen ciertas tareas auxiliares subrayadas en rojo. Esto quiere decir que son tareas auxiliares que realiza este operario, pero que podrían ser realizadas por otro operario. Además, se calcula su frecuencia con respecto a la pieza final, para calcular su tiempo, medido en minutos, a lo largo de un turno de trabajo de 8 horas.

Finalmente, las tareas auxiliares sombreadas en violeta representan el desperdicio de tiempo que se produce al rellenar componentes (tornillería especialmente) en recipientes en el puesto, en lugar de colocar la unidad de acondicionamiento (caja de cartón) directamente en el puesto. Estas tareas auxiliares no crean valor añadido al producto. Representan en torno a un 0,44% del total del tiempo del turno del operario.

	Tareas	Tiempo estándar	Frecuencia por pieza	Tiempo de ciclo	Nº de veces	t(min)
	Tareas principales	37,25	1/1	37,25		
1	Recargar barra pintura	86,40	1/6960	0,01	0,10	0,15
2	Aprovisionar caja conectores	32,00	1/420	0,08	1,67	0,89
3	Rellenar conectores	5,00	1/15	0,33		
4	Reciclaje embalaje caja conectores	19,20	1/420	0,05	1,67	0,53
5	Quitar caja vacía y colocar caja llena	8,00	1/20	0,40		
6	Aprovisionar caja tornillos	32,00	1/300	0,11	3,51	1,87
7	Rellenar tornillos	20,00	1/200	0,10	2,34	0,78
8	Reciclaje embalaje tornillos	19,20	1/300	0,06	2,34	0,75
9	Aprovisionar tipex	86,40	1/3750	0,02	0,19	0,27
10	Aprovisionar caja tuercas	32,00	1/2000	0,02	0,35	0,19
11	Rellenar tuercas	20,00	1/600	0,03		
12	Reciclaje embalaje tuercas	19,20	1/2000	0,01	0,35	0,11
13	Aprovisionar caja piezas plástico	32,00	1/4000	0,01	0,18	0,09
14	Rellenar piezas plástico	20,00	1/300	0,07		
15	Reciclaje embalaje piezas plástico	19,20	1/4000	0,00	0,18	0,06
16	Aprovisionar caja cilindros	32,00	1/600	0,05	1,17	0,62
17	Rellenar cilindros	20,00	1/175	0,11	4,01	1,34
18	Reciclaje embalaje cilindros	19,20	1/600	0,03	1,17	0,37
19	Aprovisionar caja arandelas	32,00	1/28000	0,00	0,03	0,01
20	Rellenar arandelas	20,00	1/1000	0,03		
21	Reciclaje embalaje caja arandelas	19,20	1/28000	0,00	0,03	0,01
22	Aprovisionar grasa	120,00	1/725	0,17	0,97	1,93
						<b>2,12</b>
			<b>Tc total</b>	<b>38,94</b>		

Tabla 17. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de ensamblaje 1 (operario 1) de la línea de pedaleras B-9 en la línea B-58.

## Operario de Ensamblaje 2

- **Operaciones principales:** El tiempo de ciclo del el operario de ensamblaje 2 (operario 2) fue de 32,33 segundos.
- **Operaciones auxiliares:** El layout del puesto del operario de ensamblaje 2 (operario 2) es el que aparece en la figura 52.

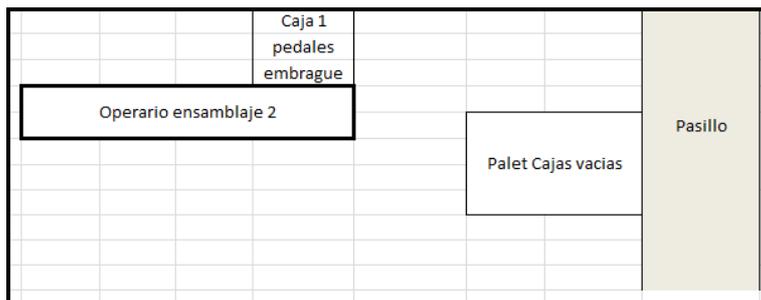


Figura 52. Layout del operario de ensamblaje 2 (operario 2) de la línea B-9 en línea B-58.

Gracias a este layout se puede comprender mejor las operaciones auxiliares que aparecen en la tabla 18. En ella, aparecen operaciones que en si no forman directamente parte del proceso productivo, como son la recepción de componentes, aprovisionamiento de componentes a otros puestos, movimientos internos en el puesto de trabajo, reposición de componentes, reciclaje de los embalajes de componentes, etc.

Por otra parte, también aparece el tiempo estándar medido en cada una de las operaciones, así como la frecuencia que tiene cada operación con respecto a la pieza final. Teniendo esto en cuenta se obtiene el tiempo de ciclo total del puesto, que en este caso resulta ser de un valor de 35,18 segundos.

En otra línea, aparecen ciertas tareas auxiliares subrayadas en rojo. Esto quiere decir que son tareas auxiliares que realiza este operario, pero que podrían ser realizadas por otro operario. Además, se calcula su frecuencia con respecto a la pieza final, para calcular su tiempo, medido en minutos, a lo largo de un turno de trabajo de 8 horas.

Las tareas auxiliares sombreadas en violeta representan el desperdicio de tiempo que se produce al rellenar componentes (tornillería especialmente) en recipientes en el puesto, en lugar de colocar la unidad de acondicionamiento (caja de cartón) directamente en el puesto. Estas tareas auxiliares no crean valor añadido al producto. Representan en torno a un 0,27% del total del tiempo del turno del operario.

Finalmente, las tareas auxiliares sombreadas en azul representan el desperdicio de tiempo que se produce al stocar las carcasas, siendo está una tarea que no crea valor añadido al producto. Representan en torno a un 3,26% del total del tiempo del turno del operario.

Tareas	Tiempo estándar	Frecuencia por pieza	Tiempo de ciclo	Nº de veces	t(min)
Tareas principales	32,33	1/1	32,33		
1 Aprovevisionar caja muelles	32,00	1/450	0,07	1,72	0,92
2 Aprovevisionar caja tornillos	32,00	1/300	0,11	2,59	1,38
3 Aprovevisionar tuercas	32,00	1/2000	0,02	0,39	0,21
4 Aprovevisionar cilindros	32,00	1/600	0,05	1,29	0,69
5 Rellenar tornillos	20,00	1/200	0,10	3,88	1,29
6 Rellenar tuercas	20,00	1/600	0,03		
7 Rellenar ciclindros	20,00	1/175	0,11		
8 Aprovevisionar tipex	86,40	1/6960	0,01	0,11	0,16
9 Aprovevisionar grasa	120,00	1/725	0,17	1,07	2,14
10 Reciclar caja tornillos	19,20	1/300	0,06	2,59	0,83
11 Reciclar caja tuercas	19,20	1/2000	0,01	0,39	0,12
12 Reciclar caja ciclindros	19,20	1/600	0,03	1,29	0,41
13 Tirar caja grasa vacia	19,20	1/725	0,03	1,07	0,34
14 Quitar caja vacia y colocar llena	10,00	1/20	0,50		
15 Cargar cajas vacias a carretilla	40,00	1/120	0,33	6,47	4,31
16 Recepcion contenedor carcasas	85,00	1/120	0,71	6,47	9,16
17 Aprovevisionar carcasas	10,00	1/20	0,50	38,80	6,47
					16,92
		Tc total	35,18		

Tabla 18. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de ensamblaje 2 (operario 2) de la línea de pedaleras B-9 en la línea B-58.

### Operario de Control

- **Operaciones principales:** El tiempo de ciclo del operario de control (operario 3) fue de 32,90 s.
- **Operaciones auxiliares:** El layout del puesto del operario de control (operario 3) es el que aparece en la figura 53.

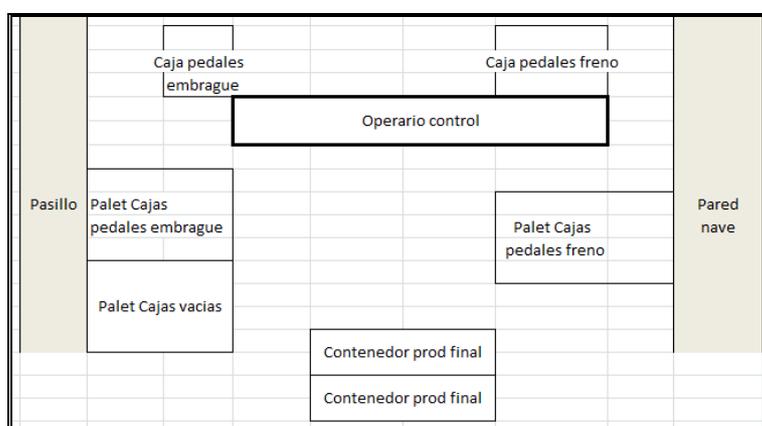


Figura 53. Layout del operario de control (operario 3) de la línea B-9 en línea B-58.

Gracias a este layout se puede comprender mejor las operaciones auxiliares que aparecen en la tabla 19. En ella, aparecen operaciones que en si no forman directamente parte del proceso productivo, como son la recepción de componentes, aprovisionamiento de componentes a otros puestos, movimientos internos en el puesto de trabajo, reposición de componentes, reciclaje de los embalajes de componentes, etc.

Por otra parte, también aparece el tiempo estándar medido en cada una de las operaciones, así como la frecuencia que tiene cada operación con respecto a la pieza final. Teniendo esto en cuenta se obtiene el tiempo de ciclo total del puesto, que en este caso resulta ser de un valor de 37,04 segundos.

En otra línea, aparecen ciertas tareas auxiliares subrayadas en rojo. Esto quiere decir que son tareas auxiliares que realiza este operario, pero que podrían ser realizadas por otro operario. Además, se calcula su frecuencia con respecto a la pieza final, para calcular su tiempo, medido en minutos, a lo largo de un turno de trabajo de 8 horas.

	Tareas	Tiempo estándar	Frecuencia por pieza	Tiempo de ciclo	Nº de veces	t(min)
	Tareas principales	32,90	1/1	32,90		
1	Embalaje contenedor, giro, etiqueta y 1ª base	91,31	1/48	1,90	15,35	23,37
2	Aprovisionar cajas pedales op ensamblaje 2	25,00	1/75	0,33	9,83	4,09
3	Recepcion palet cajas pedales op ens-2	60,00	1/500	0,12	1,47	1,47
4	Poner la 2ª y 3ª base	10,21	1/24	0,43		
5	Aprovisionar cartones con carrito	300,00	1/2400	0,13	0,31	1,54
6	Retirar cajas vacias Op-Ensamblaje 1	20,00	1/60	0,33	12,28	4,09
7	Aprovisionar pintura	86,40	1/3480	0,02	0,21	0,30
8	Recepcion palet cajas pedales op ens-1	120,00	1/500	0,24	1,47	2,95
9	Cambio rollo etiquetas maquina	300,00	1/1000	0,30	0,74	3,68
10	Aprovisionar cajas pedales Op Ensmblaje 1	25,00	11/75	0,33	9,83	4,09
			<b>Tc total</b>	<b>37,04</b>		

Tabla 19. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de control (operario 3) de la línea de pedaleras B-9 en la línea B-58.

#### 4.3.2.2. Estudio de toma de tiempos. Soluciones de equilibrado

##### Solución nº1.- Situación (2)

Esta solución consiste en equilibrar todos los puestos. Para ello, el operario de ensamblaje 2 debe realizar las tareas en rojo del ensamblaje 1. Con ello, se logra reducir la diferencia de tiempo de ciclo entre el operario de ensamblaje 1 (operario más cargado) con los otros dos operarios. Sin embargo, dicha diferencia sigue siendo grande, ya que se trata de en torno a 2,5 segundos con el operario de ensamblaje 2 y de 0,5 segundos con el operario de control, lo que supone un 6,5% y un 1,3% de variación respectivamente.

Por otra parte, el stock de carcasas que se acumula en un turno, en lugar de las 287 unidades actuales, es de 207 unidades.

En la tabla 20 se compara la distribución de los tiempos de ciclo de los operarios de la solución nº1 con respecto a la situación actual, así como el tiempo de ciclo del producto final.

	<b>Tc actual (1)</b>	<b>Tc situación (2)</b>
<b>Op Control</b>	37,04	37,04
<b>Op Ensamblaje 1</b>	38,74	38,11
<b>Op Ensamblaje 2</b>	35,08	35,71
<b>Suma tiempos ciclo</b>	110,86	110,86

Tabla 20. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-9 en la línea B-58 manual en la solución nº1 comparándolos con la situación actual.

### **Solución nº2.- Situación (3)**

Debido a que en la anterior solución todavía existe una importante cantidad de tiempo ocioso que no puede ser eliminada con la situación de actual de 3 operarios en la línea, se propone que el operario de carcasas de la línea de pedaleras B-9, que está poco cargado, realice ciertas tareas auxiliares en rojo de los 3 operarios de la presente línea. La nueva distribución de tareas es la siguiente:

El operario de ensamblaje 1 realiza sus tareas actuales menos las tareas auxiliares en rojo 1,2,4,6,8,9,10,12,13,15,16,18,19,21 y 22 y menos la tarea principal de poner cable y 3 piezas plástico a carcasas. El operario de ensamblaje 2 lleva a cabo sus operaciones actuales menos las tareas auxiliares 1,2,3,4,8,9,10,11,12,13,15 y 16 y se le añade la operación 1 del operario de control. Por su parte, el operario de control hace sus tareas actuales menos la 1,3,5,7 y 8. Finalmente, el operario de carcasas de la línea B-9 realiza sus operaciones actuales más la 1,2,4,6,8,9,10,12,13,15,16,18,19,21 y 22 del operario de ensamblajes 1, más la 1,2,3,4,8,9,10,11,12,13,15 y 16 del operario de ensamblaje 2, más la 3,5,7 y 8 del operario de control y más poner cable y 3 piezas plástico a carcasas. Decir que el tiempo que necesita este operario para realizar estas tareas ha sido calculado teniendo en cuenta la distancia entre la línea B-9 y la línea B-58.

En el anexo 10.2. del presente trabajo aparecen los cálculos y la redistribución de tareas de esta solución.

En la tabla 21 se compara la distribución de los tiempos de ciclo de los operarios de la solución nº2 con respecto a la situación actual, así como el tiempo de ciclo del producto final.

	<b>Tc actual (1)</b>	<b>Tc situación (3)</b>
<b>Op Control</b>	37,04	34,63
<b>Op Ensamblaje 1</b>	38,74	35,12
<b>Op Ensamblaje 2</b>	35,08	35,38
<b>Suma tiempos ciclo</b>	110,86	105,13

Tabla 21. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-9 en la línea B-9 en la solución nº2 comparándolos con la situación actual.

### 4.3.3. Análisis de la eficiencia del equilibrado de la línea

	Tc actual (1)	Tc situacion (2)	situacion (3)
Op Control	37,04	37,04	34,63
Op Ensamblaje 1	38,74	38,11	35,12
Op Ensamblaje 2	35,08	35,71	35,38
Op Carcasas	27,53	27,53	35,69
Suma tiempos ciclo	138,39	138,39	140,82
% t ocioso(resp turno 1 Op`)	13,82	9,10	6,37
Prod final	705	716	772
Stock carcasas	287	276	0
T produccion (h)	7,58	7,58	7,58
T produccion/ud	38,74	38,11	35,69
Coste/ud	1,685	1,663	1,659
T produccion 900 ud	9,68	9,53	8,86
Coste 900 ud	1516,32	1496,42	1494,89
Coste/ud (900 ud)	1,685	1,663	1,661
Coste Carretillero+carretilla	31,65	31,65	31,65
Coste/ud (900 ud) + carret	1,720	1,698	1,696

Figura 54. Tabla análisis eficiencia de la línea B-9 en la línea B-58.

Para realizar el análisis de la línea, lo primero a tener en cuenta es la demanda del cliente. En este sentido todas las soluciones, incluida la situación actual, son capaces de producir las 900 unidades de pedaleras manuales necesarias.

Por otra parte, el principal aspecto a tener en cuenta para elegir la solución óptima va a ser el coste y el tiempo de producción de 900 unidades. Se pasa ahora a analizar cada una de las alternativas, según la figura 54:

En la situación actual, la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es elevado, siendo de un 13,82%. La producción máxima por turno es de 705 unidades, habiendo un excedente de 287 carcasas por turno. El tiempo de producción por unidad es de 38,74 segundos. El tiempo de producción de 900 unidades es de 9,68 horas, con un coste, incluyendo el coste del carretillero y la carretilla, de 1,720 €/ud.

La solución nº1 (situación 2), la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es menor que en la situación actual, siendo de un 9,10%. La producción máxima por turno es de 716 unidades, habiendo un excedente de 276 carcasas por turno. El tiempo de producción por unidad es de 38,11 segundos. El tiempo de producción de 900 unidades es de 9,53 horas, con un coste de 1,698 €/ud.

La solución nº2 (situación 3), la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es menor, siendo de un 6,37%. La producción máxima por turno es de 772 unidades, no existiendo exceso de carcasas por turno. El tiempo de producción por unidad es de

35,69 segundos. El tiempo de producción de 900 unidades es de 8,86 horas, con un coste de 1,696 €/ud.

Como se puede apreciar ninguna de las dos soluciones son capaces de satisfacer la demanda del cliente. Teniendo en cuenta lo anterior, ambas soluciones planteadas pueden ser válidas. La nº 2 tiene un coste de producción algo superior a la nº1, pero el tiempo de producción de 900 unidades es de 8,86 horas en lugar de 9,53 horas. Por ello, se tomaría como mejor solución la nº2, ya que se producen más unidades por unidad de tiempo. Además, en el coste del producto habría que sumarle el coste correspondiente al stocaje de las carcasas, lo que haría que el menor coste unitario le correspondiese también a la solución nº2. También hay que tener en cuenta, que la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es algo menor en la nº2 que en la nº1.

### 4.3.4. Cambios a realizar en la solución óptima siguiendo los principios del lean manufacturing

---

#### 4.3.4.1. Cinco S

##### Seleccionar (Seiri)

El primer paso de las cinco S es identificar en el puesto de trabajo todos los elementos innecesarios para realizar las tareas, de esta forma se selecciona lo realmente necesario. Para ello, se coloca una tarjeta, que significa expulsión, a cada elemento considerado como no necesario para la operación. Posteriormente, estos artículos son retirados a un área de almacenamiento transitorio. Para que, si se confirma que son innecesarios, se dividan en dos clases, los que se pueden utilizar para otra operación y los que no, que serán descartados.

Se marcan con tarjeta roja una serie de elementos que son catalogados como innecesarios, y que por lo tanto deben ser eliminados. Entre ellos se citan: componentes de pequeñas dimensiones desparramados por el suelo (tornillos, tuercas, pasadores, etc.), productos finales obsoletos colgados en la pared anexa de la nave, trapos de limpieza en mal estado de conservación, trozos de cinta de embalaje, tapas de cajas de embalaje, papeles, tippex y barras de pintura vacíos, bolígrafos gastados, etc.

##### Organizar (Seiton)

Una vez se han clasificado los elementos como necesarios, se organizan éstos para que puedan ser encontrados con facilidad. Para ello se establecen normas de orden como pintar el suelo delimitando claramente áreas de trabajo y ubicaciones, etc.

Entre los elementos que necesitan de este orden destacan los siguientes:

- **Transpaleta:** Actualmente, no existe una zona definida para dejar la transpaleta. Los operarios la usan y la dejan en diferentes sitios. Esto conlleva que cuando es necesaria, el operario no sabe donde está, por lo que la debe buscar, conllevando una pérdida de tiempo. Se propone delimitar un sitio determinado para colocar la transpaleta una vez utilizada. Un buen lugar es al lado del punto de reciclaje de plástico y cartones, ya que equidista de las líneas de pedaleras actuales B58 y B9, y de la futura línea B78.

Esta zona será delimitada pintando sus correspondientes lados en el suelo.

La figura 29 representa gráficamente la zona a ocupar por la transpaleta.

- **Elementos de limpieza:** Actualmente, tampoco existe una zona definida para dejar los elementos de limpieza. Los operarios los usan y los dejan en diferentes sitios. Esto conlleva que cuando los necesitan, los operarios no saben donde están, por lo que la deben buscar, conllevando una pérdida de tiempo. Se propone delimitar un sitio determinado para colocar estos elementos una vez utilizados. Un buen lugar es al lado de los contenedores de producto final.

Esta zona será delimitada pintando sus correspondientes lados en el suelo.

La figura 55 representa gráficamente la zona a ocupar por los elementos de limpieza.

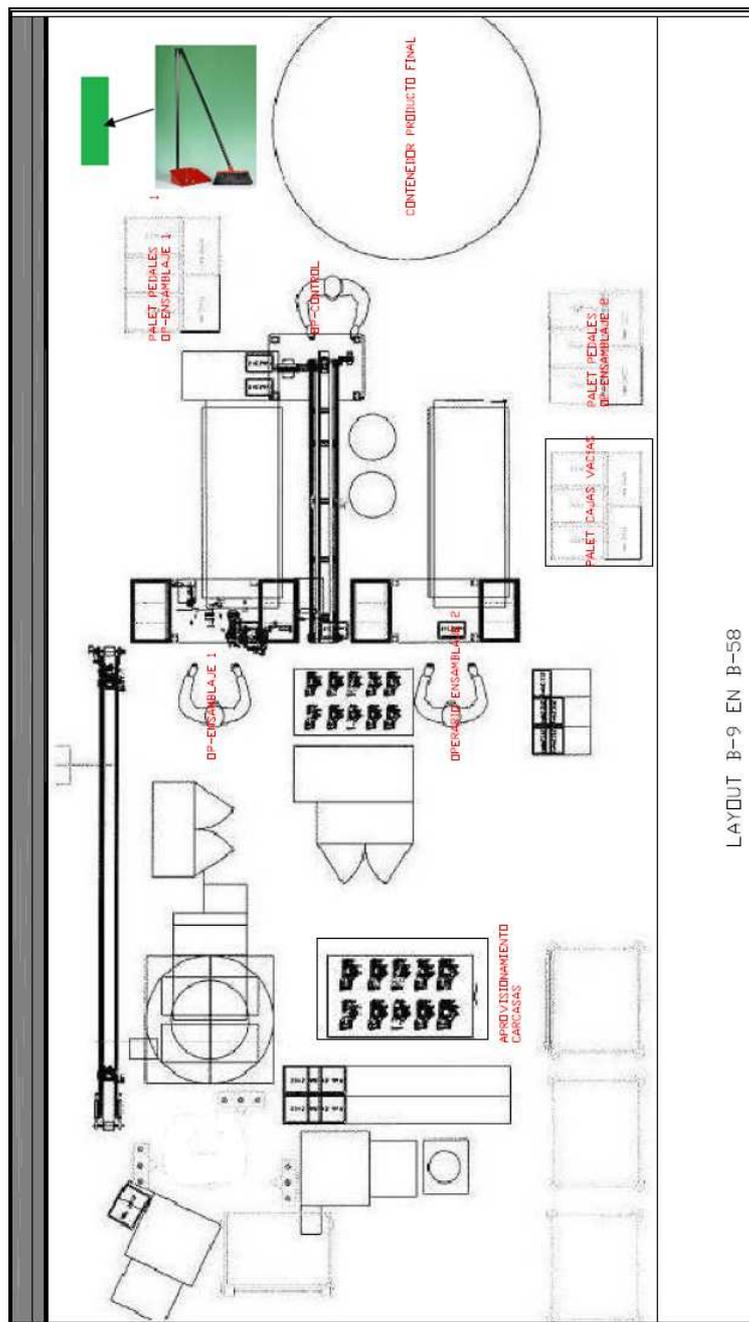


Figura 55. Layout localización de los elementos de limpieza en la línea B9 en línea de ensamble B58.

- **Punto de utilización de materiales:** Actualmente, tampoco existe una zona definida para dejar los elementos tales como los tippex, las barras de pintura, trapos o bolígrafo o barras de pintura. Por ello los operarios al acabar su turno de trabajo los depositan sin ningún criterio ni orden. Se propone en cada puesto unos compartimentos para el tippex, las barras de pintura y los bolígrafos. Por otra parte, en estanterías anexas ya existentes, se propone dejar los trapos de limpieza en cajas de plástico. Con ello se evita que manchen los partes de trabajo diarios con formato en papel.

### Limpiar (Seiso)

Se refiere al eliminar toda suciedad y polvo en todos los elementos de una planta. Limpiando el polvo, limaduras, grasa, aceites, taladrinas u otro tipo de suciedad o residuos, hace que el operario se identifique con su puesto y con las máquinas asignadas.

Además, hay que considerar que no solo es necesario la limpieza periódica, sino que el objetivo es integrarla en los hábitos y en los procedimientos de trabajo.

### Estandarizar (seiketsu)

Estandarizar tiene la función de conservar el estado de limpieza y organización logrado con la aplicación de las anteriores S's. Esta etapa debe ser permanente y su objetivo es distinguir fácilmente una situación normal de otra anormal, mediante normas sencillas y controles visuales.

Para llevarla a cabo, se pueden llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- Localizar fotografías del puesto de trabajo en condiciones óptimas para que puedan ser vistas por todos los empleados.
- Gestión visual mediante paneles de seguimiento.
- Cajas de plástico o contenedores metálicos para componentes o productos rechazados de diferentes colores según el origen de la causa, ya sea achacadas a la línea, al proveedor o para ser reprocesadas. Al ser clasificadas las piezas, sólo hay un sitio para cada cosa, y cualquier persona puede apreciar de modo inmediato si una operación particular está procediendo normal o anormalmente, sin tener en cuenta su conocimiento del mismo.



Figura 56. Bandejas rojas: scrap; bandejas amarillas: scrap proveedor; bandejas azules: reproceso.

#### 4.3.4.2. Aprovechamiento de componentes a puesto de trabajo directamente desde embalajes del proveedor

En la actualidad los componentes con referencias 20002391/00A, V45143 y 20005543/00A, respectivamente tuercas, cilindros y tornillos son aprovisionados al puesto de trabajo desde el punto de aprovisionamiento a la línea mediante el embalaje del proveedor. Éste consiste en cajas de cartón de las siguientes dimensiones: 30x20x10, 29x16x13 y 30,5x20x9,5 cm., respectivamente. En cada puesto existen una cajas de plástico tales como en la figura, en las cuales se transpasan los componentes anteriores desde sus embalajes anteriores.

La idea es quitar estas cajas de plástico y poner los componentes directamente en el puesto en sus embalajes de cartón originales, según la figura. Éstos son lo suficientemente resistentes para no deformarse ni plantear ningún problema. Con ello se consigue eliminar una pérdida de tiempo en el transpaso entre ambas cajas, además de evitar que se desparramen por el suelo algunas piezas debidas a su reducido tamaño.

En la línea de ensamblaje de las pedaleras B9 en línea de ensamblaje B58, esta acción es posible en el puesto del operario de ensamblaje 1 con los cilindros y tornillos, referencias V45143 y 20005543/00A, respectivamente y en el puesto de ensamblaje 2 con los tornillos, referencia 20005543/00A. En los demás puestos o para otras referencias no hay suficiente espacio para incluir el embalaje de cartón directamente.



Figura 57. Caja de componentes en los puestos de ensablado y caja de embalaje de proveedor de los componentes con referencias 20002391/00A, V45143 y 20005543/00A.

## 4.4. Línea B-9.

### 4.4.1. Situación inicial de la línea

El primer punto principal de mejora en esta línea se encuentra en la disminución de desperdicios, buscando una solución para que no sea necesario el almacenaje de las carcasas. De esta forma, como ya se ha descrito en el punto 3.2.3. "Layout líneas de proyecto", la totalidad de las carcasas producidas por el operario de carcasas son almacenadas. El siguiente operario en la línea recibe el contenedor de carcasas aprovisionado por el carretillero. Es decir, la totalidad de las carcasas son consideradas componentes de origen interno (POI). Las carcasas producidas por este operario serán utilizadas tanto para la línea de pedaleras B-9 como para la línea de pedaleras B-9 en la línea B-58. La filosofía del funcionamiento de esta línea es aprovechar al máximo la capacidad de producción del puesto del operario de carcasas, sin considerar en ningún momento enciclar los tres puestos de la línea. Por lo tanto, los tiempos de ciclo de los tres operarios están completamente descompensados. La situación ideal es aquella en la que no sea necesario almacenar las carcasas, ya que de esta forma se evitan tareas innecesarias, sobremanupulación, movimientos no necesarios, etc.

La segunda posibilidad de mejora aparece al mejorar el reparto de las tareas para que los puestos de trabajo estén lo más equilibrados posible, y no sea necesario el almacenaje de las carcasas. Tal como se puede apreciar en la figura 58, los tiempos de ciclo de los operarios de ensamblaje y de control son casi el doble que el tiempo de ciclo del operario de carcasas.

Op-Carcasas		Op-Control		Op-Ensamblaje	
Tc total - tareas en rojo	23,88	Tc total - tareas en rojo	46,93	Tc total - tareas en rojo	49,77
Tc tareas solo en rojo	0,58	Tc tareas solo en rojo	6,31	Tc tareas solo en rojo	1,55
Tc tareas en rojo y azul	3,64	Tc tareas en rojo y azul	6,85		
Tc total	27,52	Tc total	53,78	Tc total	51,33

Figura 58. Tiempos de ciclo de los operarios de la línea B9.

### 4.4.2. Equilibrado de la línea

#### 4.4.2.1. Operaciones principales y auxiliares. Toma de tiempos de ciclo

Para medir el tiempo de ciclo de las operaciones principales de todos los puestos de todas las líneas se realizaron 15 mediciones, ya que según la fórmula del punto 2.3.4. "Número de ciclos a cronometrar" este valor era suficiente para garantizar la validez estadística de los datos. A la media de estos tiempos (To), se aplicó el coeficiente An de valoración de la actividad, para posteriormente tener en cuenta la ampliación por los suplementos (K), resultando finalmente el tiempo tipo (Tp) elemental. Todos los datos recogidos a pie de puesto, así como las sucesivas operaciones de cálculo se encuentran en el Anexo 10.1. "Tiempos de ciclo de las operaciones principales (Tc)".

Se debe tener en cuenta, que dichos tiempos resultantes de las operaciones principales deben corresponderse a los tiempos de ciclo teóricos calculados en las fichas de operación estándar, algunas de las cuales aparecen en el Anexo 10.2 "Fichas de operación estándar (FOS)".

Las operaciones auxiliares son aquellas que realizan los operarios pero que realmente no forman parte directamente del proceso de producción del producto. Son tareas que deberían ser ejecutadas por un operario auxiliar, para que los operarios de los puestos se centrasen únicamente en realizar las tareas principales. Entre ellas destacan los aprovisionamientos de componentes, la gestión de embalajes, etc.

Para comprender mejor las tablas resumen de las tareas auxiliares, para cada puesto se ha representado gráficamente su layout.

### Operario de Carcasas

- **Operaciones principales:** El tiempo de ciclo del el operario de carcasas (operario 1) fue de 22,59 segundos.
- **Operaciones auxiliares:** El layout del puesto del operario de carcasas (operario 1) es el que aparece en la figura 59.

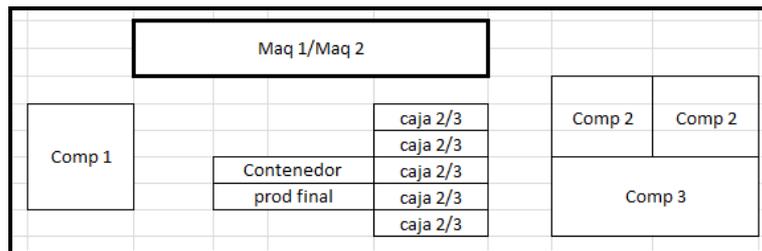


Figura 59. Layout del operario de carcasas (operario 1) de la línea B-9.

Gracias a este layout se puede comprender mejor las operaciones auxiliares que aparecen en la tabla 22. En ella, aparecen operaciones que en si no forman directamente parte del proceso productivo, como son la recepción de componentes, aprovisionamiento de componentes a otros puestos, movimientos internos en el puesto de trabajo, reposición de componentes, reciclaje de los embalajes de componentes, etc.

Por otra parte, también aparece el tiempo estándar medido en cada una de las operaciones, así como la frecuencia que tiene cada operación con respecto a la pieza final. Teniendo esto en cuenta se obtiene el tiempo de ciclo total del puesto, que en este caso resulta ser de un valor de 35,18 segundos.

En otra línea, aparecen ciertas tareas auxiliares subrayadas en rojo. Esto quiere decir que son tareas auxiliares que realiza este operario, pero que podrían ser realizadas por otro operario. Además, se calcula su frecuencia con respecto a la pieza final, para calcular su tiempo, medido en minutos, a lo largo de un turno de trabajo de 8 horas.

Finalmente, las tareas auxiliares sombreadas en azul representan el desperdicio de tiempo que se produce al stocar las carcasas, siendo está una tarea que no crea valor añadido al producto. Representan en torno a un 1,66% del total del tiempo del turno del operario. Por otra parte, las tareas 11, 12 y 13 representan una pérdida de tiempo considerable, ya que representan el paso manual de los componentes 2 y 3 de las carcasas de un embalaje de grandes dimensiones de cartón a cajas de acondicionamiento de plástico. Representan en torno a un 9,22% del total del tiempo del turno del operario. En posteriores puntos se analiza esta pérdida y se proponen soluciones.

	Tareas	Tiempo estándar	Frecuencia por pieza	Tiempo de ciclo	Nº de veces	t(min)
	Tareas principales	22,59	1/1	22,59		
1	Colocar contenedor vacío	41,00	1/120	0,34	8,27	5,65
2	Retirar contenedor lleno	5,00	1/120	0,04	8,27	0,69
3	Colocar Caja Comp 1	90,00	1/500	0,18		6,34
4	Retirar Caja Comp 1	43,20	1/500	0,09		
5	Coger Comp 1	3,00	1/10	0,30		
6	Colocar carton en contenedor	3,00	1/30	0,30	33,07	1,65
7	Recepcion caja Comp 2	160,00	1/1800	0,09		1,65
8	Reciclar embalaje Comp 2	86,40	1/1800	0,05		
9	Recepcion caja Comp 3	90,00	1/900	0,10		
10	Reciclar embalaje Comp 3	43,20	1/900	0,05		
11	Aprovisionar cajas Comp 2	225,00	1/200	1,13	4,96	18,60
12	Aprovisionar cajas Comp 3	180,00	1/160	1,13	6,20	18,60
13	Cambio uso guantes	64,00	1/150	0,43	6,61	7,05
14	Cambiar guantes	86,40	1/450	0,19		44,25
15	Desplazar cajas en estanteria Comp 2	25,00	1/150	0,17		
16	Desplazar cajas en estanteria Comp 3	20,00	1/120	0,17		
17	Retirar caja Comp 2	3,00	1/40	0,08		
18	Retirar caja Comp 3	3,00	1/40	0,08		
19	Aprovisionar tornillos	30,40	1/2500	0,01		
20	Relleno tornillos	20,00	1/2500	0,01		
21	Reciclaje embalaje tornillos	43,20	1/2500	0,02		
			<b>Tc total</b>	27,52		

Tabla 22. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de carcasas (operario 1) de la línea de pedaleras B-9.

### Operario de Ensamblaje

- **Operaciones principales:** El tiempo de ciclo del el operario de ensamblaje (operario 2) fue de 48,50 segundos.
- **Operaciones auxiliares:** El layout del puesto del operario de ensamblaje (operario 2) es el que aparece en la figura 60.

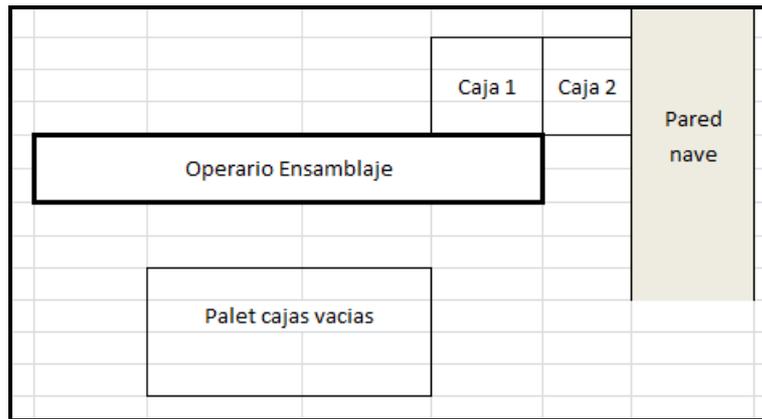


Figura 60. Layout del operario de ensamblaje (operario 2) de la línea B-9.

Gracias a este layout se puede comprender mejor las operaciones auxiliares que aparecen en la tabla 23. En ella, aparecen operaciones que en si no forman directamente parte del proceso productivo, como son la recepción de componentes, aprovisionamiento de componentes a otros puestos, movimientos internos en el puesto de trabajo, reposición de componentes, reciclaje de los embalajes de componentes, etc.

Por otra parte, también aparece el tiempo estándar medido en cada una de las operaciones, así como la frecuencia que tiene cada operación con respecto a la pieza final. Teniendo esto en cuenta se obtiene el tiempo de ciclo total del puesto, que en este caso resulta ser de un valor de 35,18 segundos.

En otra línea, aparecen ciertas tareas auxiliares subrayadas en rojo. Esto quiere decir que son tareas auxiliares que realiza este operario, pero que podrían ser realizadas por otro operario. Además, se calcula su frecuencia con respecto a la pieza final, para calcular su tiempo, medido en minutos, a lo largo de un turno de trabajo de 8 horas.

Para finalizar, las tareas auxiliares sombreadas en violeta representan el desperdicio de tiempo que se produce al rellenar componentes (tornillería especialmente) en recipientes en el puesto, en lugar de colocar la unidad de acondicionamiento (caja de cartón) directamente en el puesto. Estas tareas auxiliares no crean valor añadido al producto. Representan en torno a un 0,37% del total del tiempo del turno del operario.

Tareas		Tiempo estándar	Frecuencia por pieza	Tiempo de ciclo	Nº de veces	t(min)
	Tareas principales	48,50	1/1	48,50		
1	Apilar caja 1 vacía	7,00	1/20	0,35		
2	Apilar caja 2 y colocar	12,51	1/20	0,63		
3	Aprovisionar pintura	86,40	1/3480	0,02	0,15	0,22
4	Aprovisionar caja tornillos	40,00	2/300	0,27	3,53	2,35
5	Aprovisionar caja cilindros	40,00	2/600	0,13	1,77	1,18
6	Aprovisionar caja tuercas	40,00	2/2000	0,04	0,53	0,35
7	Rellenar tornillos	20,00	2/200	0,20	5,30	1,77
8	Rellenar cilindros	20,00	2/175	0,23		
9	Rellenar tuercas	20,00	2/600	0,07		
10	Reciclar caja tornillos	56,00	2/300	0,37	3,53	3,30
11	Reciclar caja cilindros	56,00	2/600	0,19	1,77	1,65
12	Reciclar caja tuercas	56,00	2/2000	0,06	0,53	0,49
13	Colocar tapa y sacar palet vacío	120,00	1/500	0,24	1,06	2,12
15	Aprovisionar grasa	120,00	1/580	0,21	0,91	1,83
16	Aprovisionar tipex	86,40	1/3480	0,03	0,15	0,22
						1,77
			<b>Tc total</b>	51,53		

Tabla 23. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de ensamblaje (operario 2) de la línea de pedaleras B-9.

### Operario de Control

- **Operaciones principales:** El tiempo de ciclo del el operario de control (operario 3) fue de 44,53 segundos.
- **Operaciones auxiliares:** El layout del puesto del operario de control (operario 3) es el que aparece en la figura 61.

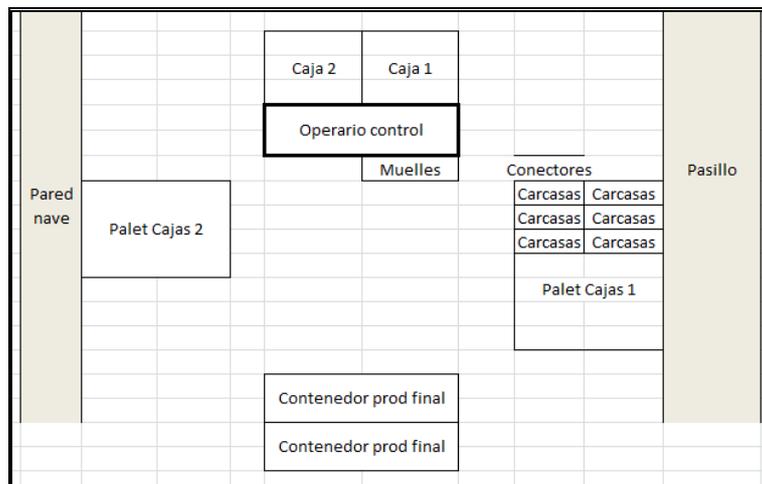


Figura 61. Layout del operario de control (operario 3) de la línea B-9.

## Aplicación de las herramientas de lean manufacturing

Gracias a este layout se puede comprender mejor las operaciones auxiliares que aparecen en la tabla 24. En ella, aparecen operaciones que en si no forman directamente parte del proceso productivo, como son la recepción de componentes, aprovisionamiento de componentes a otros puestos, movimientos internos en el puesto de trabajo, reposición de componentes, reciclaje de embalajes, etc.

Por otra parte, también aparece el tiempo estándar medido en cada una de las operaciones, así como la frecuencia que tiene cada operación con respecto a la pieza final. Teniendo esto en cuenta se obtiene el tiempo de ciclo total del puesto, que en este caso resulta ser de un valor de 53,78 segundos.

En otra línea, aparecen tareas auxiliares subrayadas en rojo. Son tareas que realiza este operario, pero que podrían ser realizadas por otro. Además, se calcula su frecuencia con respecto a la pieza final, para calcular su tiempo, medido en minutos, a lo largo de un turno de trabajo de 8 horas.

Finalmente, las tareas auxiliares sombreadas en azul representan el desperdicio de tiempo que se produce al stocar las carcasas, siendo está una tarea que no crea valor añadido al producto. Representan en torno a un 5,03% del total del tiempo del turno del operario.

Tareas		Tiempo estándar	Frecuencia por pieza	Tiempo de ciclo	Nº de veces	t(min)
	Tareas principales	44,53	1/28	44,53		
1	Aprovisionar carcasas en cinta muelles	64,71	1/28	2,31	18,13	19,55
2	Pasar caja 1 a cinta muelles	11,52	1/20	0,58		
3	Recepcion palet Cajas 2	120,00	1/500	0,24	1,02	2,03
4	Subir caja 2 de palet int a cinta muelles	4,52	1/20	0,23		
5	Aprovisionar caja muelles	32,00	1/500	0,06	1,02	0,54
6	Recepcion palet Cajas 1	55,08	1/500	0,11	1,02	0,93
7	Aprovisionar cartones con carrito	300,00	1/2400	0,13	0,21	1,06
8	Poner base plastico entre producto final	18,22	1/24	0,76		
9	Preparar contenedor (paredes+1ª base)	65,71	1/48	1,37	10,58	11,58
10	Dar vuelta a contenedor, precintar y etiqueta al vacio	89,82	1/48	1,87	10,58	15,83
11	Aprovisionar caja arandelas	32,00	2/28000	0,00	0,04	0,02
12	Aprovisionar caja piezas plastico	32,00	1/4000	0,01	0,13	0,07
13	Rellenar arandelas	20,00	2/1000	0,04		
14	Rellenar piezas de plastico	20,00	1/300	0,07		
15	Reciclar embalaje arandelas	40,00	2/28000	0,00	0,04	0,02
16	Reciclar embalaje piezas plastico	40,00	1/4000	0,01	0,13	0,08
17	Aprovisionar caja conectores	32,00	1/420	0,08	1,21	0,64
18	Rellenar conectores	3,00	1/7	0,43		
19	Reciclar embalaje conectores	40,00	1/420	0,10	1,21	0,81
20	Recepcion contenedor carcasas	30,00	1/120	0,25	4,23	2,12
21	Retirada contenedor carcasas	35,00	1/120	0,29	4,23	2,47
22	Cambio rollo etiquetas maquina	300,00	1/1000	0,30		
23	Aprovisionar pintura	86,40	1/3480	0,02	0,51	0,73
						<b>24,13</b>
			<b>Tc total</b>	<b>53,78</b>		

Tabla 24. Operaciones auxiliares, duración operaciones principales y auxiliares, frecuencia de las operaciones y tiempo de ciclo del operario de control (operario 3) de la línea de pedaleras B-9.

#### 4.4.2.2. Soluciones de equilibrado

##### Solución nº1.- Situación (2)

Esta solución consiste en equilibrar todos los puestos. Para ello, el operario de carcasas debe realizar las tareas en rojo del operario de ensamblaje y del operario de control. Con ello, se logra reducir la diferencia de tiempo de ciclo entre el operario de carcasas (operario menos cargado) con los otros dos operarios. Sin embargo, dicha diferencia sigue siendo excesiva, ya que se trata de en torno a 13,5 segundos con el operario de ensamblaje y de de 11 segundos con el operario de ensamblaje. Este tiempo debería ser aprovechado por el operario para seguir haciendo carcasas, que deberían ser almacenadas y por lo tanto se estaría en un modo de producción similar al actual. Las carcasas en el puesto de control serían aprovisionadas de un contenedor previamente almacenado.

En la tabla 62 se compara la distribución de los tiempos de ciclo de los operarios de la solución nº1 con respecto a la situación actual, así como el tiempo de ciclo del producto final.

	Tc actual (1)	Tc situacion (2)
<b>Op Control</b>	53,78	46,93
<b>Op Ensamblaje</b>	51,33	49,77
<b>Op Carcasas</b>	27,52	35,92
<b>Suma tiempos ciclo</b>	132,62	132,62

Tabla 25. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-9 en la solución nº1 comparándolos con la situación actual.

##### Solución nº2.- Situación (3)

Esta solución consiste en equilibrar el puesto del operario de control con el puesto del operario de ensamblaje. Para ello, este último operario debe realizar la tarea 9 (tarea en rojo) del operario de control. Con ello, se logra que la diferencia de tiempo de ciclo entre ambos sea sólo de 0,28 segundos.

En esta solución, el exceso de carcasas producidas deberían ser almacenadas, siendo el mismo modo de producción que el actual.

En la tabla 63 se compara la distribución de los tiempos de ciclo de los operarios de la solución nº2 con respecto a la situación actual, así como el tiempo de ciclo del producto final. Las carcasas en el puesto de control serían aprovisionadas de un contenedor previamente almacenado.

	Tc actual (1)	Tc situacion (3)
<b>Op Control</b>	54,09	52,41
<b>Op Ensamblaje</b>	51,26	52,69
<b>Op Carcasas</b>	27,53	27,52
<b>Suma tiempos ciclo</b>	132,88	132,62

Tabla 26. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-9 en la solución nº2 comparándolos con la situación actual.

### Solución nº3.- Situación (4)

Esta solución consiste en una mejora de la nº1 al tratar de equilibrar todos los puestos. Para ello, el operario de carcasas debe realizar las tareas en rojo del operario de ensamblaje y del operario de control. Con ello, se logra reducir la diferencia de tiempo de ciclo entre el operario de carcasas (operario menos cargado) con los otros dos operarios. Sin embargo, dicha diferencia sigue siendo excesiva. Por ello, el operario de control deja de ensamblar el conector y la pieza de plástico en la carcasa, siendo realizadas estas operaciones por el operario de carcasas.

De todas formas, existe una diferencia de más de 8 segundos entre los tiempos de ciclo del operario de carcasas y el de control con el tiempo de ciclo del operario de ensamblaje. Por lo que, para el operario de control esta diferencia sería tiempo ocioso y para el operario de carcasas este tiempo debería ser aprovechado para seguir haciendo carcasas, que deberían ser almacenadas y por lo tanto se estaría en un modo de producción similar al actual. Las carcasas en el puesto de control serían aprovisionadas de un contenedor previamente stocado.

Así mismo, en el anexo 10.2. aparecen los cálculos y la redistribución de tareas de esta solución.

En la tabla 64 se compara la distribución de los tiempos de ciclo de los operarios de la solución nº3 con respecto a la situación actual, así como el tiempo de ciclo del producto final.

	Tc actual (1)	Tc situacion (4)
<b>Op Control</b>	51,26	41,47
<b>Op Ensamblaje</b>	54,09	49,77
<b>Op Carcasas</b>	27,53	41,38
<b>Suma tiempos ciclo</b>	132,88	132,62

Tabla 27. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-9 en la solución nº3 comparándolos con la situación actual.

### Solución nº4.- Situación (5)

Esta solución consiste en una mejora de la nº3 al tratar de optimizar el equilibrados de los tres puestos de trabajo actuales. Para ello, la nueva distribución de tareas es la siguiente:

El operario de control debe realizar sus tareas actuales y las tareas en auxiliares en rojo del operario de carcasas, menos la t(11), que la ha de realizar el operario de ensamblaje. Además, este operario de control deja de ensamblar el conector y la pieza de plástico con la carcasa, también deja de realizar el marcaje y el verificado, siendo traspasadas estas operaciones al operario de carcasas. Finalmente, el operario de ensamblaje, deja de marcar los pedales que pasa a ser realizado por el operario de control. Para ello, sería necesario una cinta eléctrica aérea para pasar los pedales marcados al puesto de ensamblaje.

Así mismo, en el anexo 10.2. aparecen los cálculos y la redistribución de tareas de esta solución.

En la tabla 28 se compara la distribución de los tiempos de ciclo de los operarios de la solución nº4 con respecto a la situación actual, así como el tiempo de ciclo del producto final.

	Tc actual (1)	Tc situacion (5)
<b>Op Control</b>	51,26	44,17
<b>Op Ensamblaje</b>	54,09	44,45
<b>Op Carcasas</b>	27,53	45,88
<b>Suma tiempos ciclo</b>	132,88	134,50

Tabla 28. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-9 en la solución nº4 comparándolos con la situación actual.

### Solución nº5.- Situación (6)

Esta solución consiste en modificar completamente el layout de la línea introduciendo un operario otro operario de ensamblaje y distribuyendo las tareas entre los cuatro operarios. Esta es la única solución en la que se elimina el almacenado intermedio de carcasas, por lo que todos los puestos estarían encicladados y equilibrados.

En el punto 7.4.1. del presente trabajo, se presentan las fichas de operación estandar (FOS) para esta solución, donde quedan reflejadas exhaustivamente las tareas y el modo operatorio que se deben realizar en cada uno de los nuevos puestos.

Así mismo, en el anexo 10.2. aparecen los cálculos y la redistribución de tareas de esta solución.

En la tabla 29 se compara la distribución de los tiempos de ciclo de los operarios de la solución nº5 con respecto a la situación actual, así como el tiempo de ciclo del producto final.

	Tc actual (1)	Tc situacion (6)	
<b>Op Control</b>	51,26	32,36	<b>Op Control</b>
<b>Op Ensamblaje</b>	54,09	32,31	<b>Op Ensamblaje 1</b>
<b>Op Carcasas</b>	27,53	31,84	<b>Op Ensamblaje 2</b>
		32,37	<b>Op Carcasas</b>
<b>Suma tiempos ciclo</b>	132,88	128,89	<b>Suma tiempos ciclo</b>

Tabla 29. Distribución de los tiempos de ciclo de los operarios la línea B-9 en la solución nº5 comparándolos con la situación actual.

En la siguiente figura 62, se representa el nuevo layout de esta solución.

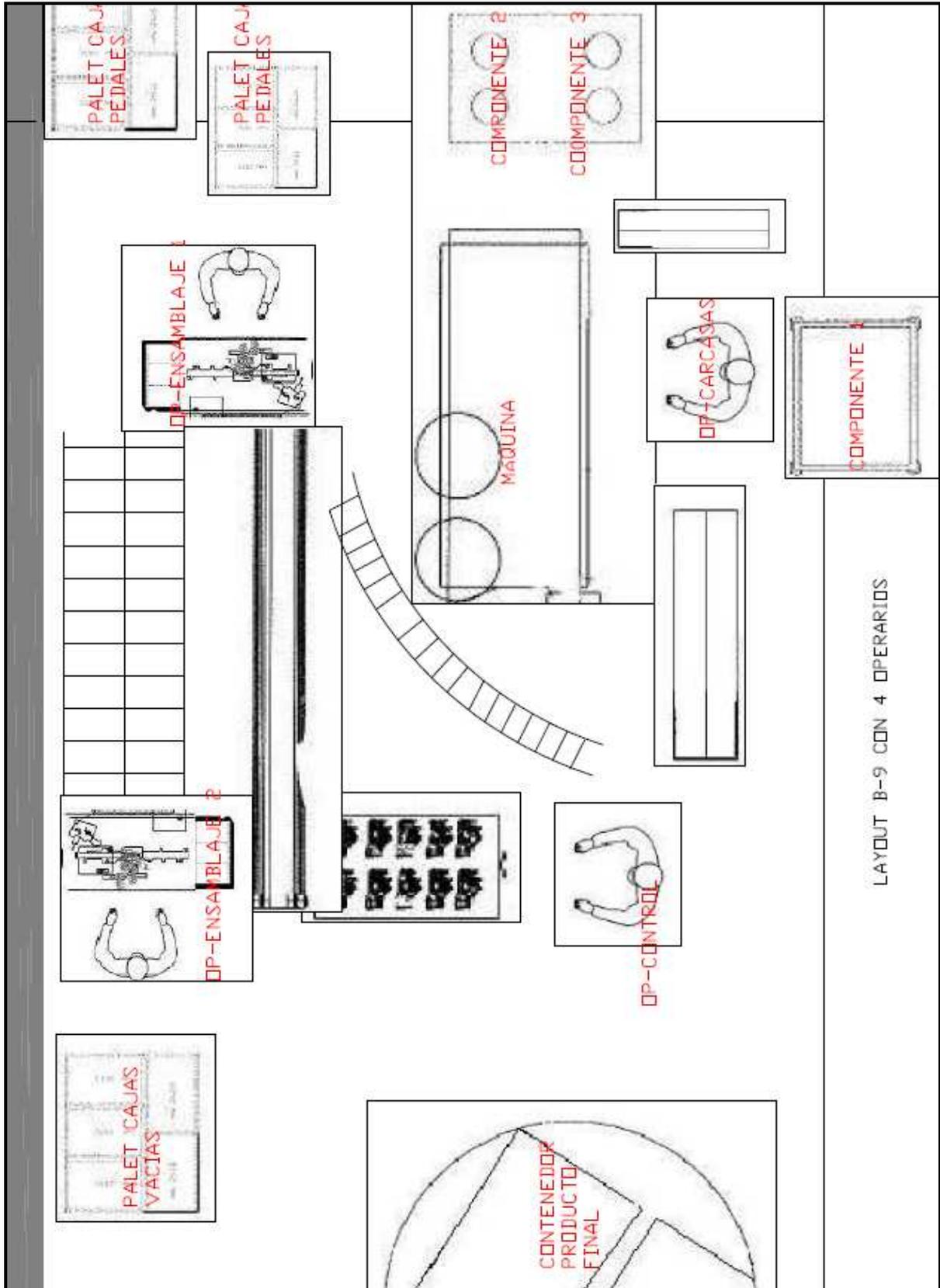


Figura 62. Layout de la línea B-9 con 4 operarios.

### 4.4.3. Análisis de la eficiencia del equilibrado de la línea

	Tc actual (1)	Tc situación (2)	Tc situación (3)	Tc situación (4)	Tc situación (5)	Tc situación (6)	
Op Control	53,78	46,93	52,41	41,47	44,17	32,36	Op-Control
Op Ensamblaje	51,33	49,77	52,69	49,77	44,45	32,31	Op-Ens 1
Op Carcasas	27,52	35,92	27,52	41,38	45,88	31,84	Op-Ens 2
Suma tiempos ciclo	132,62	132,62	132,62	132,62	134,50	32,37	Op-Carcasas
						128,89	
% t ocioso (resp turno 1 Op')	4,56	5,72	0,54	33,55	6,84	1,70	
Prod final	508	548	518	548	595	904	
Stock carcasas	484	211	474	111	0	0	
Suma prod	992	760	992	660	595	904	
T produccion (h)	14,82	10,51	14,52	9,12	7,58	7,58	
T produccion/ud	53,78	49,77	52,41	49,77	45,88	32,37	
Coste/ud	1,583	1,588	1,558	1,652	1,613	1,416	
T produccion 900 ud	13,44	12,44	13,17	12,44	11,47	7,55	
Coste 900 ud	1425,00	1429,19	1402,17	1486,77	1452,03	1274,03	
Coste/ud (900 Ud)	1,583	1,588	1,558	1,652	1,613	1,416	
Coste Carretillero+carretilla	31,65	31,65	31,65	31,65	31,65	0,00	
Coste/ud (900 ud) + carret	1,619	1,623	1,593	1,687	1,649	1,416	

Figura 63. Tabla análisis eficiencia de la línea B-9.

Para realizar el análisis de la línea, lo primero a tener en cuenta es la demanda del cliente. En este sentido todas las soluciones, incluida la situación actual, son capaces de producir las 900 unidades de pedaleras automáticas B-58 necesarias.

Por otra parte, el principal aspecto a tener en cuenta para elegir la solución óptima va a ser el coste y el tiempo de producción de 900 unidades. Se pasa ahora a analizar cada una de las alternativas, según la figura 63:

En la situación actual, la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es bajo, siendo de un 4,56%. La producción máxima por turno es de 508 unidades, siendo el stock de carcasas por turno de 484 unidades. El tiempo de producción por unidad es de 53,78 segundos. El tiempo de producción de 900 unidades es de 13,44 horas, con un coste, incluyendo el coste del carretillero y la carretilla, de 1,619 €/ud.

La solución nº1 (situación 2), la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es bajo, siendo de un 5,72%. La producción máxima por turno es de 548 unidades, siendo el stock de carcasas por turno de 211 unidades. El tiempo de producción por unidad es de 49,77 segundos. El tiempo de producción de 900 unidades es de 12,44 horas, con un coste, incluyendo el coste del carretillero y la carretilla, de 1,623 €/ud.

La solución nº2 (situación 3), la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es muy baja, siendo de un 0,54%. La producción máxima por turno es de 518 unidades, siendo el stock de carcasas por turno de 474 unidades. El tiempo de producción por unidad es de 52,41 segundos. El tiempo de producción de 900 unidades es de 13,17 horas, con un coste, incluyendo el coste del carretillero y la carretilla, de 1,593 €/ud.

La solución nº3 (situación 4), la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es elevado, siendo de un 33,55%. La producción máxima por turno es de 548 unidades, siendo el stock de carcasas por turno de 111 unidades. El tiempo de producción por

unidad es de 49,77 segundos. El tiempo de producción de 900 unidades es de 12,44 horas, con un coste, incluyendo el coste del carretillero y la carretilla, de 1,652 €/ud.

La solución nº4 (situación 5), la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es bajo, siendo de un 6,84%. La producción máxima por turno es de 595 unidades, no existiendo stock de carcasas por turno. El tiempo de producción por unidad es de 45,88 segundos. El tiempo de producción de 900 unidades es de 11,47 horas, con un coste, incluyendo el coste del carretillero y la carretilla, de 1,649 €/ud.

La solución nº5 (situación 6), la suma de tiempo ocioso de los operarios (respecto al tiempo total de un turno de 1 operario) es bajo, siendo de un 1,7%. La producción máxima por turno es de 844 unidades, no existiendo stock de carcasas por turno. El tiempo de producción por unidad es de 49,77 segundos. El tiempo de producción de 900 unidades es de 8,08 horas, con un coste 1,516 €/ud.

Como se puede apreciar la solución óptima es la nº5, ya que es la que tiene el menor tiempo y coste de producción de 900 unidades. Además, es la única que cumple con la necesidad del cliente y tiene una pérdida de tiempo, en tiempo ocioso muy bajo.

### **4.4.4. Estandarización del puesto de trabajo para la solución óptima**

---

#### **4.4.4.1. Fichas de operación estándar para la solución 4 operarios**

Como se ha descrito en el punto 2.4, en una FOS se define el mejor método de realización de las operaciones, que permite conseguir los objetivos de calidad, coste y palzo, garantizando al mismo tiempo la seguridad del operario. Es el mejor método del momento, pero que debe ser mejorada constantemente para mantenerla, mediante el refuerzo de las competencias y la mejora de la implantación de los equipos en el taller, del utillaje y del modo operatorio.

En el anexo 10.3 “Fichas de operación estándar” se recogen las FOS de cada operario para la solución 6, la cual cuenta con 4 operarios en lugar de 3.

El primer operario, operario de carcasas, lleva a cabo las tareas que realizaba inicialmente y ensambla parte del conexionado eléctrico de la pedalera. Posteriormente, la carcasa con el parte del conexionado eléctrico pasa al puesto cuatro, operario de control, donde éste se finaliza. Pasa después al operario de ensamblaje 1, el cual coloca el pedal de embrague. Tras ello, el conjunto pasa al puesto tres, operario de ensamblaje 2, que pone el pedal de freno y el muelle del embrague. Finalmente, va al cuarto puesto, de nuevo al operario de control, valida el producto final y lo coloca en el contenedor de expedición.

### **4.4.5. Cambios a realizar en la solución óptima siguiendo los principios del lean manufacturing**

---

#### **4.4.5.1. Cinco S**

##### **Seleccionar (Seiri)**

El primer paso de las cinco S es identificar en el puesto de trabajo todos los elementos innecesarios para realizar las tareas, de esta forma se selecciona lo realmente necesario. Para ello, se coloca una tarjeta, que significa expulsión, a cada elemento considerado como no necesario para la operación. Posteriormente, estos artículos son retirados a un área de almacenamiento transitorio. Para que, si se confirma que son innecesarios, se dividan en dos clases, los que se pueden utilizar para otra operación y los que no, que serán descartados.

Se marcan con tarjeta roja una serie de elementos que son catalogados como innecesarios, y que por lo tanto deben ser eliminados. Entre ellos se citan: componentes de pequeñas dimensiones desparramados por el suelo (tornillos, tuercas, pasadores, etc.), productos finales obsoletos colgados en la pared anexa de la nave, trapos de limpieza en mal estado de conservación, trozos de cinta de embalar, tapas de cajas de embalaje, papeles, tippex y barras de pintura vacíos, bolígrafos gastados, etc.

### Organizar (Seiton)

Una vez se han clasificado los elementos como necesarios, se organizan éstos para que puedan ser encontrados con facilidad. Para ello se establecen normas de orden como pintar el suelo delimitando claramente áreas de trabajo y ubicaciones, etc.

Entre los elementos que necesitan de este orden destacan los siguientes:

- **Transpaleta:** Actualmente, no existe una zona definida para dejar la transpaleta. Los operarios la usan y la dejan en diferentes sitios. Esto conlleva que cuando es necesaria, el operario no sabe donde está, por lo que la debe buscar, conllevando una pérdida de tiempo. Se propone delimitar un sitio determinado para colocar la transpaleta una vez utilizada. Un buen lugar es al lado del punto de reciclaje de plástico y cartones, ya que equidista de las líneas de pedaleras actuales B58 y B9, y de la futura línea B78.

Esta zona será delimitada pintando sus correspondientes lados en el suelo.

La figura 29 representa gráficamente la zona a ocupar por la transpaleta.

- **Elementos de limpieza:** Actualmente, tampoco existe una zona definida para dejar los elementos de limpieza. Los operarios los usan y los dejan en diferentes sitios. Esto conlleva que cuando los necesitan, los operarios no saben donde están, por lo que la deben buscar, conllevando una pérdida de tiempo. Se propone delimitar un sitio determinado para colocar estos elementos una vez utilizados. Un buen lugar es al lado de los contenedores de producto final.

Esta zona será delimitada pintando sus correspondientes lados en el suelo.

La figura 64 representa gráficamente la zona a ocupar por los elementos de limpieza.

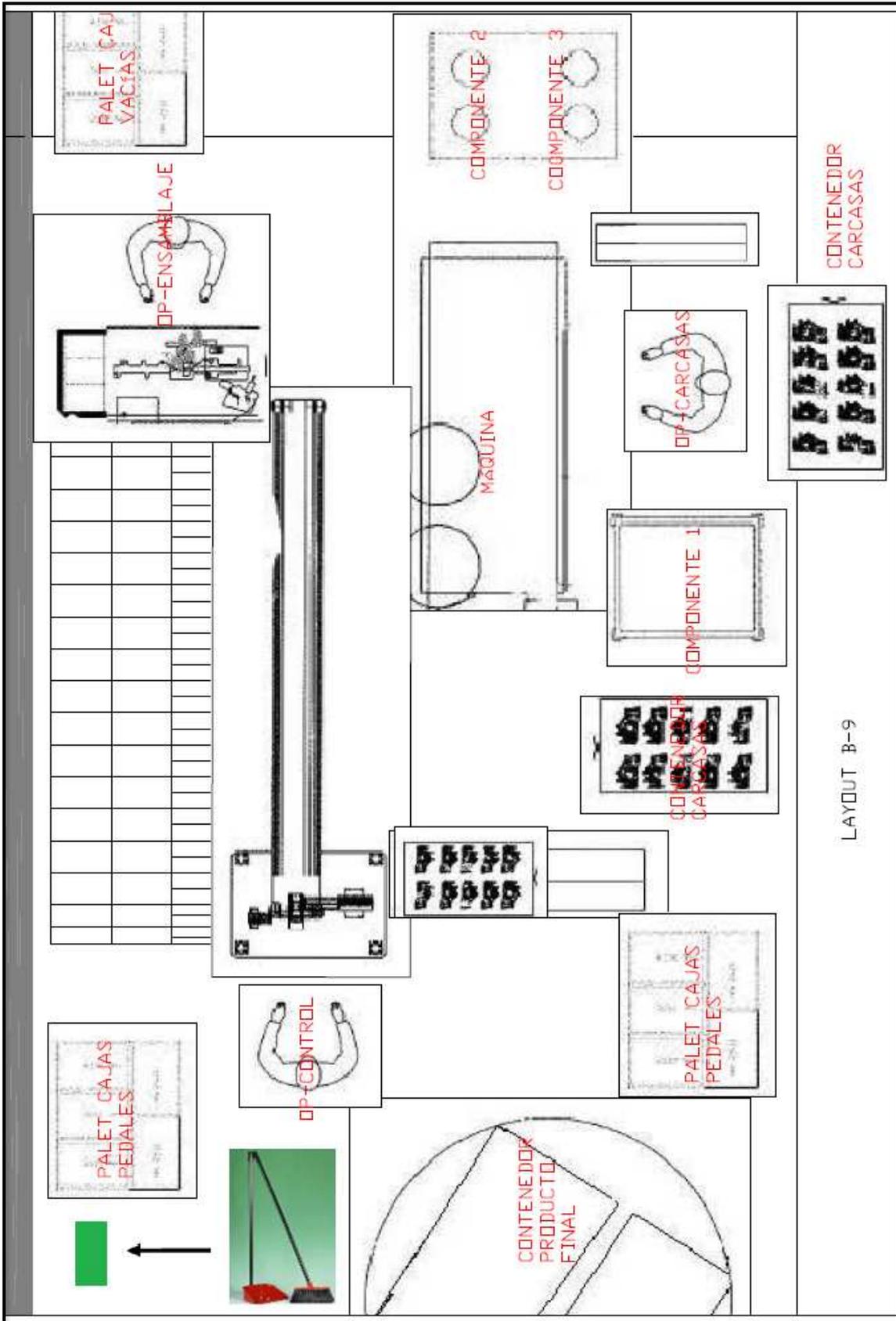


Figura 64. Layout localización de los elementos de limpieza en la línea B9.

- **Punto de utilización de materiales:** Actualmente, tampoco existe una zona definida para dejar los elementos tales como los tippex, las barras de pintura, trapos o bolígrafo o barras de pintura. Por ello los operarios al acabar su turno de trabajo los depositan sin ningún criterio ni orden. Se propone en cada puesto unos compartimentos para el tippex, las barras de pintura y los bolígrafos. Por otra parte, en estanterías anexas ya existentes, se propone dejar los trapos de limpieza en cajas de plástico. Con ello se evita que manchen los partes de trabajo diarios con formato en papel.

### Limpiar (Seiso)

Se refiere al eliminar toda suciedad y polvo en todos los elementos de una planta. Limpiando el polvo, limaduras, grasa, aceites, taladrinas u otro tipo de suciedad o residuos, hace que el operario se identifique con su puesto y con las máquinas asignadas.

Además, hay que considerar que no solo es necesario la limpieza periódica, sino que el objetivo es integrarla en los hábitos y en los procedimientos de trabajo.

### Estandarizar (seiketsu)

Estandarizar tiene la función de conservar el estado de limpieza y organización logrado con la aplicación de las anteriores S's. Esta etapa debe ser permanente y su objetivo es distinguir fácilmente una situación normal de otra anormal, mediante normas sencillas y controles visuales.

Para llevarla a cabo, se pueden llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- Localizar fotografías del puesto de trabajo en condiciones óptimas para que puedan ser vistas por todos los empleados.
- Gestión visual mediante paneles de seguimiento.
- Cajas de plástico o contenedores metálicos para componentes o productos rechazados de diferentes colores según el origen de la causa, ya sea achacadas a la línea, al proveedor o para ser reprocesadas. Al ser clasificadas las piezas, sólo hay un sitio para cada cosa, y cualquier persona puede apreciar de modo inmediato si una operación particular está procediendo normal o anormalmente, sin tener en cuenta su conocimiento del mismo.



Figura 65. Bandejas rojas: scrap; bandejas amarillas: scrap proveedor; bandejas azules: reproceso.

### 4.4.5.2. Aprovisionamiento de componentes a puesto de trabajo directamente desde embalajes del proveedor

En la actualidad los componentes con referencias 20002391/00A, V45143 y 20005543/00A, respectivamente tuercas, cilindros y tornillos son aprovisionados al puesto de trabajo desde el punto de aprovisionamiento a la línea mediante el embalaje del proveedor. Éste consiste en cajas de cartón de las siguientes dimensiones: 30x20x10, 29x16x13 y 30,5x20x9,5 cm., respectivamente. En cada puesto existen una cajas de plástico tales como en la figura 66, en las cuales se transpasan los componentes anteriores desde sus embalajes anteriores.

La idea es quitar estas cajas de plástico y poner los componentes directamente en el puesto en sus embalajes de cartón originales, según la figura 66. Éstos son lo suficientemente resistentes para no deformarse ni plantear ningún problema. Con ello se consigue eliminar una pérdida de tiempo en el transpaso entre ambas cajas, además de evitar que se desparramen por el suelo algunas piezas debidas a su reducido tamaño.

En la línea de ensamblaje de las pedaleras B9, esta acción es posible en el puesto del operario de ensamblaje con los tornillos, referencia 20005543/00A. En los demás puestos o para otras referencias no hay suficiente espacio para incluir el embalaje de cartón directamente.



Figura 66. Caja de componentes en los puestos de ensamblado y caja de embalaje de proveedor de los componentes con referencias 20002391/00A, V45143 y 20005543/00A.

### 4.4.5.3. Rediseño del método de aprovisionamiento de los componentes 2 y 3 del puesto de carcasas

#### Situación inicial

En el puesto de trabajo número uno, o puesto de carcasas, el operario ensambla el producto de origen intermedio (POI) carcasa de la pedalera. Esto se realiza mediante una máquina que mediante dos puntos de soldadura unen los tres componentes de dicha carcasa. Este producto intermedio es stocado en contenedores para su almacenaje en una zona intermedia y posteriormente ser transportado mediante carretilla al puesto número dos, o puesto de control.

Siguiendo los principios del lean manufacturing, en este punto se trata de eliminar o reducir al máximo tres tipos de desperdicio que aparecen en el puesto 1, operario de carcasas: movimientos, transporte y stock.

De este modo, tal y como se puede comprobar en la tabla 22, se necesitan en torno a 45 minutos por turno de trabajo y operario para el aprovisionamiento del puesto de trabajo desde el punto de aprovisionamiento a borde de línea de los componentes 2 y 3 de la carcasa de la pedalera, como se puede ver en el layout de la línea representado gráficamente en la figura 59 o en la figura 23 del layout del puesto del operario de carcasas. Dichos componentes están embalados en unidades de

aprovisionamiento de grandes dimensiones y peso. Concretamente, en cajas de cartón de dimensiones 80x60x40 y 120x80x60 respectivamente. Las piezas metálicas son actualmente colocadas manualmente por el operario de carcasas de estas cajas de cartón a cajas de plástico de dimensiones 40x30x20 para situarlas en una estantería de alimentación dinámica a la derecha del puesto de trabajo, como se puede ver en la siguiente figura 67. En este proceso se pierde una importante cantidad de tiempo, como ya se ha mencionado anteriormente, por lo que es necesario plantear alternativas para reducir los desperdicios presentes en la actualidad.

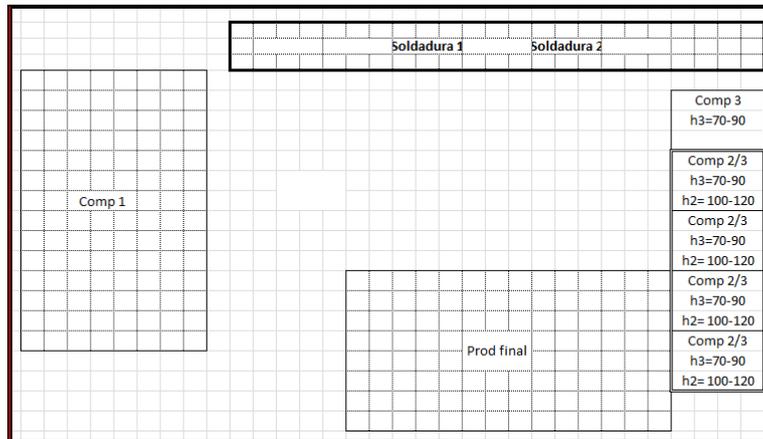


Figura 67. Layout actual del puesto 1, operario de carcasas, de la línea B-9.

## Solución 1

La primera solución es situar las unidades de acondicionamiento tanto de los componentes 2 y 3 directamente en el puesto de trabajo tal y como aparece en la figura 68. Se elimina el stock intermedio de componentes en la zona de aprovisionamiento a borde de línea y se reducen los desperdicios de movimientos, transportes y stock y disminuye la superficie necesaria para la línea.

Los puntos negativos de esta solución aparecen en que el operario queda dispuesto en una superficie relativamente pequeña y con la única posibilidad de abandonar su puesto desplazando el contenedor del producto final o el del componente 1.

Por otra parte, el tiempo de ciclo de las actividades principales aumenta al encontrarse los componentes 1 y 2 más alejados de las máquinas. Es necesario estudiar si dicho aumento no sobrepasa los 45 minutos necesarios en la actualidad para posicionar dichos componentes a pie de puesto.

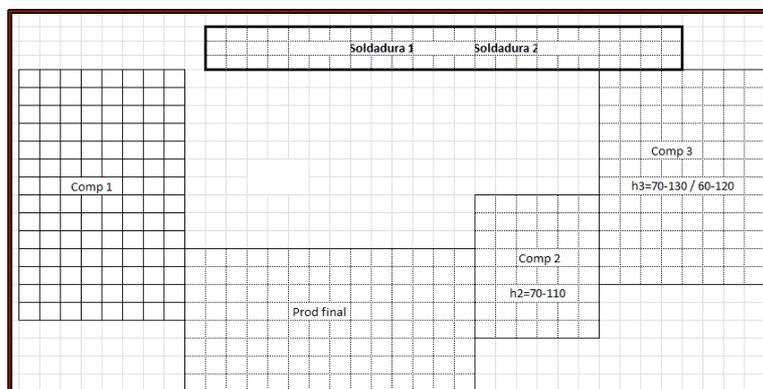


Figura 68. Layout de la solución 1 del puesto 1, operario de carcasas, de la línea B-9.

## Solución 2

La segunda solución es situar las unidades de acondicionamiento tanto de los componentes 2 y 3 directamente en el puesto de trabajo tal y como aparece en la figura 69. Se se elimina el stock intermedio de componentes en la zona de aprovisionamiento a borde de línea y se reducen los desperdicios de movimientos, transportes y stock y disminuye la superficie necesaria para la línea.

Hay que construir una estructura que permita situar el componente 3 debajo del componente 2 y que según se van consumiendo las piezas puedan ser cambiadas en altura las unidades de acondicionamiento para tener en cuenta la correcta ergonomía del operario. El estudio de consumo y distribución en alturas aparece en la figura 70.

El punto negativo de esta solución aparece en que el tiempo de ciclo de las actividades principales aumenta al encontrarse los componenetes 1 y 2 más alejados de las máquinas de soldadura. Además, hay que añadir el tiempo del carretillero y del operario de carcasas para cambiar en altura las cajas sobre palets de los componentes. Es necesario estudiar si dicho aumento no sobrepasa los 45 minutos necesarios en la actualidad para el posicionamiento de dichos componenetes a pie de puesto.

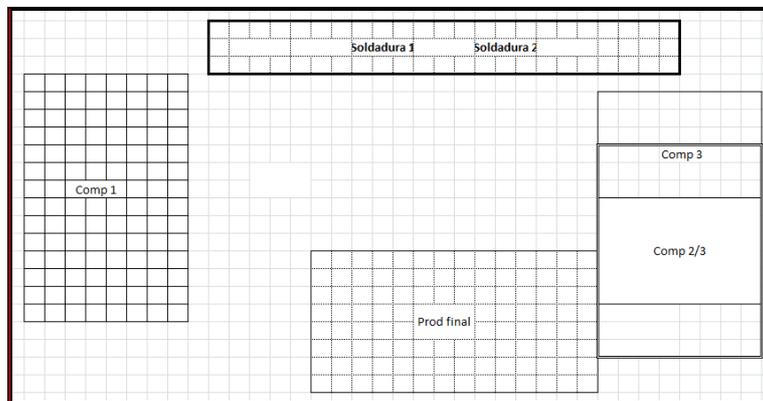


Figura 69 Layout de la solución 2 del puesto 1, operario de carcasas, de la línea B-9.

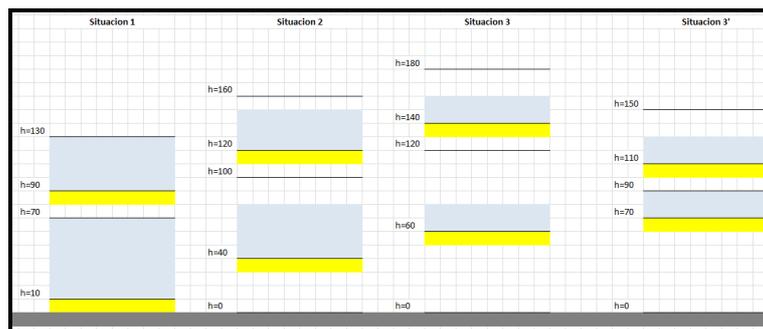


Figura 70 Vista de perfil de la solución 2 del puesto 1, operario de carcasas, de la línea B-9.

## Solución 3

La tercera solución es situar las unidades de acondicionamiento tanto de los componentes 2 y 3 directamente en el puesto de trabajo tal y como aparece en la figura 71. Se se elimina el stock intermedio de componentes en la zona de aprovisionamiento a borde de línea y se reducen los desperdicios de movimientos, transportes y stock y disminuye la superficie necesaria para la línea.

Hay que situar las unidades de acondicionamiento de los componentes 2 y 3 de canto y el operario según se vaya produciendo el consumo de las piezas, con una herramienta adecuada, corta en embalaje de cartón y de plástico para una adecuada situación ergonómica del puesto de trabajo.

Los puntos negativos de esta solución aparecen cuando se realizan las operaciones para situar las cajas en posición de canto. Habría que hacer un protocolo de seguridad y un procedimiento detallado en el cual se definiesen el modo y las eslingas u otros dispositivos a utilizar por el carretillero para que se garantice una situación de seguridad.

Por otro lado, el tiempo de ciclo de las actividades principales aumenta al encontrarse los componentes 1 y 2 más alejados de las máquinas de soldadura. Además, hay que añadir el tiempo del carretillero y del operario de carcasas para situar las cajas de los componentes en posición de canto y el tiempo de éste último en las operaciones de corte de las cajas para cumplir con unas condiciones ergonómicas adecuadas. Es necesario estudiar si dicho aumento no sobrepasa los 45 minutos necesarios en la actualidad para el posicionamiento de dichos componentes a pie de puesto.

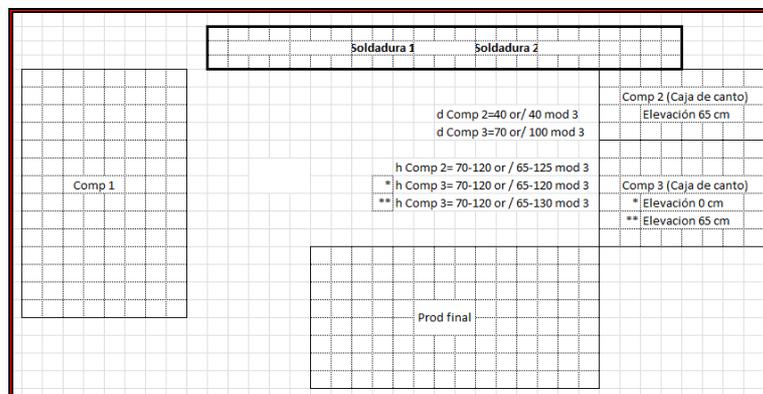


Figura 71. Layout de la solución 3 del puesto 1, operario de carcasas, de la línea B-9.

#### Solución 4

Otra solución es la renegociación con los proveedores del tipo y dimensiones del embalaje de los componentes 2 y 3 del puesto 1, operario de carcasas, de la línea B-9. De esta forma, se aprovisionan los componentes directamente al puesto y se elimina el stock intermedio de componentes en la zona de aprovisionamiento a borde de línea. Además, de reducir los desperdicios de movimientos, transportes y stock conlleva a una disminución de la superficie necesaria para la línea.

## 4.5. Solución final

---

En los puntos 4.1.3., 4.2.3., 4.3.3. y 4.4.3. del presente trabajo se ha analizado las diferentes soluciones propuestas para cada tipo de pedalera. En este estudio se ha tenido en cuenta como factores principales el coste de producción de las unidades necesarias del cliente y su tiempo de producción. Decir que este análisis se ha llevado a cabo de una forma independiente por tipo de producto y línea de ensamblaje. Es decir, no se ha tenido en cuenta la interrelación entre los modelos y las dos líneas de producción. Es por ello, que en este capítulo se recoge un análisis que contempla este aspecto. Para ello, se partirá de las mejores soluciones planteadas de cada modelo, elegidas anteriormente en los puntos citados. Además, estas soluciones representan diferentes visiones de organizar la producción. Se pasa de soluciones en las que simplemente se equilibran los puestos en la situación inicial, habiendo aporte externo o stock de WIP (carcasas), a soluciones en las que el equilibrado se hace de forma que todos los puestos de las líneas estén encicladados. Por otra parte, esta preselección disminuye los cálculos. Las soluciones individuales elegidas son las siguientes:

- Soluciones nº2 (A) (equilibrado de todos puestos en la situación actual) y la nº7 (B) (equilibrado de todos puestos y sin aporte de carcasas) del modelo de pedalera B-58-Automática.
- Soluciones nº1 (C) (equilibrado de todos puestos de la situación al y sin aporte de carcasas) y la nº2 (D) (3 operarios en lugar de 4 y sin aporte de carcasas) del modelo de pedalera B-58-Manual.
- Solución nº2 (E) (equilibrado de todos los puestos en la situación actual) del modelo de pedalera B-9 en línea de ensamblaje B-58.
- Soluciones nº2 (F) (equilibrado de todos los puestos en la situación actual y 474 carcasas en stock), nº3 (G) (equilibrado de todos los puestos en la situación actual y 111 carcasas en stock) y la nº5 (H) (4 operarios en vez de 3 y sin stock de carcasas) del modelo de pedalera B-9.

Una vez elegidas las mejores soluciones individuales, se combinan entre si, para formar un grupo de seis alternativas para posteriormente analizar cual de ellas es la que mejor se adapta a una serie de criterios. Las alternativas conjuntas propuestas son las siguientes:

- 1.- A+C+E+F
- 2.- A+C+E+G
- 3.- B+C+E+F
- 4.- B+C+E+G
- 5.- A+D+H
- 6.- B+D+H

Para la elección de la solución final, se utilizará el método multicriterio de ayuda a la elección Topsis. Su objetivo es servir de instrumento para realizar la selección final de la solución más apropiada, teniendo en cuenta para ello factores de coste, de producción, tiempo ocioso, etc. La selección de la solución propuesta se ha realizado mediante el siguiente proceso:

1. Se definen los objetivos o aspectos a valorar y los criterios o indicadores de calificación.

2. Se valoran las diferentes soluciones mediante índices de satisfacción con respecto a cada objetivo, comparándolas entre sí. Esta matriz se normaliza:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}$$

La ponderación asignada se distribuye entre los criterios valorados, de la siguiente forma:

a) Objetivos económicos: 45%. Los principales objetivos económicos que se persiguen son minimizar el coste de inversión y el coste de producción, para las necesidades del cliente de 200 unidades de pedaleras B-58 automáticas, 200 unidades B-58 manuales y 900 unidades B-9. Los indicadores económicos se han distribuido de la siguiente forma:

- Coste de inversión.
- Coste de producción: coste teniendo en cuenta los tiempos de realización de las tareas principales, como auxiliares, así como el tiempo de setup.

b) Objetivos de producción: 15%. Los objetivos a alcanzar son maximizar la producción, sin tener en cuenta las necesidades de cliente ni el coste de producción. Los indicadores de producción se han distribuido de la siguiente forma:

- Producción: producción teniendo en cuenta los tiempos de realización de las tareas principales, como auxiliares, así como el tiempo de setup.

c) Objetivos de eficiencia: 40%. Los objetivos que se persiguen es minimizar el coste del tiempo ocioso, maximización de la tasa de ocupación de la línea y minimizar el WIP y la superficie ocupada. Los indicadores se distribuye que indican la satisfacción de estos objetivos son:

- Coste tiempo ocioso.
- Tasa de ocupación de línea.
- WIP.
- Superficie ocupada.

En la tabla 30 que se adjunta a continuación, se recoge una matriz con la valoración de los indicadores de satisfacción de objetivos y con los coeficientes de ponderación asignado a cada objetivo. Y en la tabla 31, se muestra dicha matriz normalizada. Parte de los valores de dicha matriz se han obtenido de las funciones de producción de Anexo 10.4.

## Aplicación de las herramientas de lean manufacturing

INDICADOR / ALTERNATIVA	VALOR DE INDICADORES						PESOS (%)
	1	2	3	4	5	6	
<i>CRITERIOS ECONÓMICOS</i>							<b>45</b>
Coste de inversión (€)	0,00	0,00	0,00	0,00	1.720,00	1.720,00	<b>15</b>
Coste producción/turno (€)	2175,81	2124,89	2175,81	2122,59	1817,63	1817,63	<b>30</b>
<i>CRITERIOS DE PRODUCCIÓN</i>							<b>15</b>
Producción máxima/turno (uds)	1.538	1.568	1.538	1.568	1.924	1.924	<b>15</b>
<i>CRITERIOS DE EFICIENCIA</i>							<b>40</b>
Coste tiempo ocioso/turno (€)	73,98	67,76	54,26	57,46	34,99	24,68	<b>10</b>
Tasa ocupación de línea (%)	99,95%	97,99%	99,95%	97,17%	78,30%	78,30%	<b>5</b>
WIP/turno (uds)	1.863	1.530	1.764	1.431	99	0	<b>15</b>
Superficie ocupada (m2)	390	390	390	390	300	300	<b>10</b>

Tabla 30. Matriz con la valoración de los indicadores de satisfacción de objetivos y con los pesos de cada objetivo.

INDICADOR / ALTERNATIVA	VALOR DE INDICADORES					
	1	2	3	4	5	6
<i>CRITERIOS ECONÓMICOS</i>						
Coste de inversión (€)	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,707	-0,707
Coste producción/turno (€)	-0,448	-0,437	-0,446	-0,437	-0,329	-0,329
<i>CRITERIOS DE PRODUCCIÓN</i>						
Producción máxima/turno (uds)	0,372	0,380	0,373	0,380	0,466	0,466
<i>CRITERIOS DE EFICIENCIA</i>						
Coste tiempo ocioso/turno (€)	-0,549	-0,503	-0,370	-0,427	-0,260	-0,183
Tasa ocupación de línea (%)	0,441	0,433	0,440	0,429	0,346	0,346
WIP/turno (uds)	-0,562	-0,462	-0,500	-0,432	-0,030	0,000
Superficie ocupada (m2)	-0,439	-0,439	-0,439	-0,439	-0,338	-0,338

Tabla 31. Matriz normalizada.

3. Posteriormente, se multiplica cada valor de la matriz normalizada por el peso relativo del criterio al que pertenece, según la tabla 32:

$$V_{ij} = W_j \cdot r_{ij}$$

INDICADOR / ALTERNATIVA	VALOR DE INDICADORES					
	1	2	3	4	5	6
<i>CRITERIOS ECONÓMICOS</i>						
Coste de inversión (€)	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,106	-0,106
Coste producción/turno (€)	-0,134	-0,131	-0,134	-0,131	-0,099	-0,099
<i>CRITERIOS DE PRODUCCIÓN</i>						
Producción máxima/turno (uds)	0,056	0,057	0,056	0,057	0,070	0,070
<i>CRITERIOS DE EFICIENCIA</i>						
Coste tiempo ocioso/turno (€)	-0,055	-0,050	-0,037	-0,043	-0,026	-0,018
Tasa ocupación de línea (%)	0,022	0,022	0,022	0,021	0,017	0,017
WIP/turno (uds)	-0,084	-0,069	-0,075	-0,065	-0,004	0,000
Superficie ocupada (m2)	-0,044	-0,044	-0,044	-0,044	-0,034	-0,034

Tabla 32. Matriz normalizada y con los pesos correspondientes.

4. Se obtienen las soluciones, que aparecen en la tabla 33:

La ideal ( $v_i+$ ): vector que contiene en cada elemento el valor más alto de entre todas las alternativas para un criterio.

La pésima ( $v_i-$ ): vector formado por los peores valores.

$v_i +$	$v_i -$
0,000	-0,106
-0,099	-0,134
0,070	0,056
-0,018	-0,055
0,022	0,017
0,000	-0,084
-0,034	-0,044

Tabla 33. Vector solución ideal y pésima.

4. Se calculan las distancias de las diferentes alternativas a la solución ideal ( $d_i+$ ) y a la solución pésima ( $d_i-$ ), tal como aparece en la tabla 34:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}$$

Se calculan las distancias de las diferentes alternativas a la solución ideal (di+) y a la solución pésima (di-):

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

d1 +	0,100	d1 -	0,106
d2 +	0,084	d2 -	0,107
d3 +	0,086	d3 -	0,108
d4 +	0,078	d4 -	0,109
d5 +	0,107	d5 -	0,094
d6 +	0,106	d6 -	0,100

Tabla 34. Distancias a la solución ideal y a la pésima.

5. Finalmente, se obtiene el índice (Ii) con el que ordenar las diferentes alternativas, de forma que la mejor alternativa es la que está más cerca del óptimo, reflejado en la tabla 35:

$$I_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

I1	0,515
I2	0,560
I3	0,556
I4	0,582
I5	0,468
I6	0,212

Tabla 35. Índice de elección de alternativas por el método Topsis.

Por lo que la **solución óptima es la alternativa nº6.**



## 5. Estudio económico

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio para la optimización de las líneas de ensamblaje de pedaleras B-58 y B-9 de la empresa Sofedit España S.A., en su planta de Valladolid. Se debe hacer una meticulosa observación para determinar cuáles son los puntos del proceso productivo y de logística interna susceptibles a mejorar.

Se trata por tanto de un proyecto de análisis y de una posible modificación de layout. Al evaluar los costes de desarrollo no hará falta considerar el coste de nuevas máquinas, equipos ni de locales, sino únicamente el coste de las horas empleadas en el diseño y elaboración de cada una de las fases de estudio. Decir que en los proyectos industriales de tipo de modificación de layout aparece el coste de nueva maquinaria o instalaciones auxiliares, así como el coste incurrido por la parada de la producción. En este sentido, las modificaciones de layout propuestas en este proyecto no implican la compra de nuevos equipos, sino que se hace una redistribución de los mismos. Además, el equipo de mantenimiento podría realizar dichas modificaciones en tiempos de no producción debido a los bajos niveles de demanda presentes en la actualidad.

En este proyecto, se ha puesto especial interés en cuestiones relativas a la logística interna de las líneas de pedaleras antes mencionadas, identificando y dando soluciones a las mejoras que puedan realizarse en un futuro, para lograr que el proceso de producción sea más lean. Además destacar que, algunos de los aspectos más importantes de este proyecto son su gestión y su presupuesto.

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

### 5.1. Jerarquía en un proyecto de optimización de líneas de ensamblaje

Las personas que generalmente intervienen en la realización de un proyecto de este tipo pueden ser clasificadas de acuerdo a alguno de estos cometidos:

- Director
- Técnico de mejora continua
- Analista de métodos y tiempos

Dichas personas establecen unas relaciones entre ellas de acuerdo a una determinada jerarquía existente, tal y como se muestra en la figura 72:

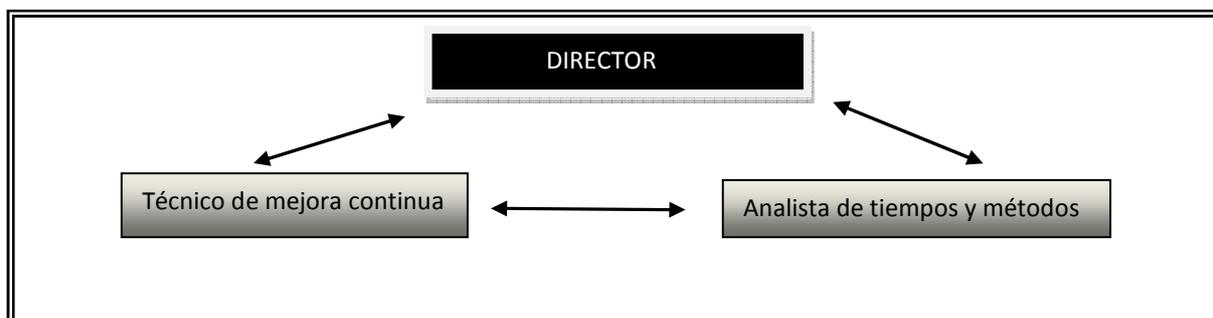


Figura 72. Jerarquía del estudio económico.

El director será el responsable de la idea del proyecto. También realiza la planificación del proyecto, al igual que su presupuesto económico. Por otra parte, es el encargado de coordinar a las diferentes personas que intervienen en la realización del mismo. Se encargará de dar el visto bueno a las mejoras y a modificaciones de layout.

El técnico de mejora continua es el encargado de realizar el análisis de la situación inicial de las líneas de pedaleras en estudio, así como establecer las mejoras que pueden ser introducidas en ellas para cumplir con los objetivos descritos anteriormente. Además, debe definir las especificaciones concretas que deberá cumplir la distribución en planta en las modificaciones o cambios de layout; y realiza el diseño de los nuevos layouts.

El analista de tiempos y métodos se encarga de la recopilación de información; es decir, realiza las entrevistas con el personal para conocer el funcionamiento del sistema, y realiza el estudio de tiempos y la estandarización de los nuevos puestos de trabajo mediante la realización de las hojas de operación estándar (FOS) correspondientes. Junto al técnico de mejora continua realiza el equilibrado de las líneas de pedaleras.

Además, existe también un auxiliar administrativo que ayudará al técnico de mejora continua en la confección de la memoria.

## 5.2. Fases del desarrollo

---

En primer lugar, se van a exponer las características de los documentos que forman la descripción de la optimización de las líneas de ensamblaje de pedaleras, los cuales hacen que la gestión de este tipo de proyectos deba presentar una orientación diferente al resto.

Una primera particularidad es que el estudio de la optimización de líneas de ensamblaje de pedaleras se diseña, es decir, no se fabrica en un sentido clásico. Los costes de la planificación se encuentran en las horas de ingeniería empleadas, y no en la fabricación física del producto.

La segunda característica se encuentra en la vida útil del producto. El estudio de la optimización de líneas de ensamblaje de pedaleras no se degrada ni expira, únicamente puede modificarse de acuerdo a las necesidades de la empresa. En teoría, una vez que se han detectado y corregido los errores que puedan existir puede seguir funcionando, la vida útil de ésta es ilimitada. Pero realmente, las revisiones y correcciones que se realizan tienen un coste.

Otra particularidad es el mantenimiento. Para cualquier producto, una vez finalizado el proceso de elaboración, cuando una pieza de este producto falla, se sustituye por el repuesto adecuado volviendo a tener el sistema un funcionamiento correcto. Pero el estudio de la optimización de líneas de ensamblaje de pedaleras debe de ser revisado constantemente, pues cualquier cambio que surja en el sistema debe de ser reflejado. Los fallos suelen traer consecuencias más graves. Un fallo en el estudio puede ocasionar daños a todo el servicio o producto. Por tanto, el mantenimiento y la actualización del estudio tiene una complejidad considerablemente mayor que la del mantenimiento de otros sistemas.

La determinación de las fases que conlleva el desarrollo de un proyecto de este tipo, puede variar según el punto de vista de la persona que lo esté analizando; sin embargo, estas etapas pueden ajustarse a la división mostrada en la figura 73.

La explicación de cada etapa se expone a continuación:

- Necesidad y decisión de elaboración del proyecto. En esta etapa, se lleva a cabo un análisis general del sistema. Se decide la creación del estudio para la optimización de las líneas de ensamblaje de pedaleras con el fin de identificar aspectos susceptibles de mejora. Se busca el

personal adecuado para realizar dicho estudio. Se establecen las líneas generales del mismo y se determina lo que hay que hacer (planificar tareas) y quién tiene que hacerlo (asignar recursos). Es en este momento cuando debe analizarse la viabilidad del proyecto, ya que la detección de su no-viabilidad en etapas posteriores aumenta considerablemente los costes.

- **Presentación y difusión del proyecto.** Se realiza una presentación a los responsables de los departamentos, solicitando su colaboración en el presente estudio. Se da a conocer el equipo que trabajará con los departamentos en cada etapa del proyecto.
- **Recopilación de información.** Una vez puesto en contacto los responsables de los departamentos con los encargados de la realización del estudio, se procede a la recopilación de información de las diferentes secciones. Se procede también a la recopilación de datos tales como bibliografía.
- **Análisis, búsqueda y difusión.** Con la información obtenida se procede a estudiar cada paso en el proceso de optimización de líneas de ensamblaje de pedaleras. Posteriormente, mediante el resultado de los datos arrojados en el paso anterior, se procederá a analizar los puntos fuertes que tiene la empresa al realizar dicho proceso y derivado de esto, se propondrán diversas mejoras. Finalmente se procede la evaluación y selección de las soluciones desarrolladas.
- **Escritura y difusión.** Una vez realizado el estudio y teniendo identificadas las mejoras más viables, se genera el documento (memoria). Se comentará brevemente la configuración propuesta, así como el modo de funcionamiento de las revisiones, quejas o sugerencias nuevas y solicitud de cambios.

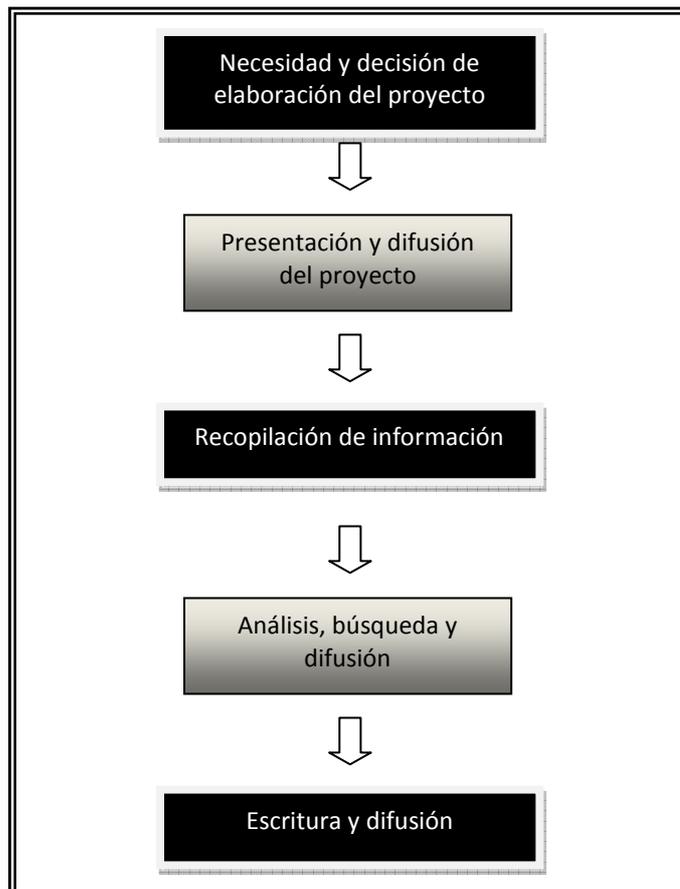


Figura 73. Fases del desarrollo del proyecto.

### 5.3. Estudio económico

En esta sección se desarrolla el estudio económico propiamente dicho, relacionándolo con las diferentes etapas de la realización del proyecto. Se realizará el cálculo de todas las secciones, desglosando cada una de ellas más adelante.

Se llevará una contabilidad por actividades, en la que se valorarán los costes de cada actividad realizada hasta la obtención de la memoria del proyecto. De esta forma, será posible analizar la influencia de cada uno de los procesos que intervienen con relación al coste total del proyecto. Para realizar el estudio, se procederá de la siguiente manera:

1. Cálculo de las horas efectivas anuales y de las tasas por hora de los salarios.
2. Cálculo de las amortizaciones del equipo utilizado.
3. Coste por hora y por persona de los materiales calificados como consumibles.
4. Coste por hora y por persona de los costes indirectos.
5. Horas de personal dedicadas a cada una de las etapas.

#### 5.3.1. Horas efectivas anuales y tasas horarias de personal

Todos estos valores quedan reflejados en la tabla 36 (días efectivos) y en la tabla 37 (semanas efectivas).

CONCEPTO	DIAS / HORAS
Año medio: (365,25)	365,25
Sábados y domingos: (365 * 2/7)	-104,36
Días efectivos de vacaciones:	-20,00
Días festivos reconocidos:	-12,00
Media de días perdidos por enfermedad	-15,00
Cursillos de formación, etc.:	-4,00
Total estimado días efectivos:	210
<b>Total horas/año efectivas (8 horas/día):</b>	<b>1.680</b>

Tabla 36. Días efectivos anuales.

CONCEPTO	DIAS / HORAS
Año medio (semanas):	52
Vacaciones y festivos:	- 5
Enfermedad:	-2
Cursos de formación:	- 1
<b>Total semanas:</b>	<b>44</b>

Tabla 37. Semanas efectivas anuales.

Para el desarrollo del proyecto se considera un ingeniero de organización, el cual actúa como director del proyecto y analista financiero. . Es el encargado de llevar a cabo la gestión de los diferentes elementos de la puesta en marcha del estudio. Habrá un técnico de mejora continua, que se encargará de llevar a cabo la gestión de los diferentes elementos de la optimización de las líneas de ensamblaje de pedaleras. Además, existirá un analista de tiempos y métodos para el equilibrado de las líneas de ensamblaje, así como para la introducción de mejoras en los puestos de trabajo. Éste tendrá una relación estrecha con el técnico de mejora continua. Para el desarrollo de la documentación, se ha contratado a un auxiliar administrativo, que es el encargado de generar los informes correspondientes y ayuda en la confección de documentos. El coste horario y semanal de cada uno de estos profesionales queda reflejado en la tabla 38.

CONCEPTO	DIRECTOR	TÉCNICO MEJORA CONTINUA	ANALISTA DE TIEMPOS Y MÉTODOS	AUXILIAR ADMINISTRATIVO
Sueldo	51.687 €	23.139 €	23.139 €	11.119 €
Seguridad Social (35%)	18.091 €	8.099 €	8.099 €	3.892 €
<b>Total:</b>	<b>69.778 €</b>	<b>31.238 €</b>	<b>31.238 €</b>	<b>15.011 €</b>
<b>Coste por hora:</b>	<b>41,53 €</b>	<b>18,59 €</b>	<b>18,59 €</b>	<b>8,94 €</b>
<b>Coste Semanal:</b>	<b>1585,86 €</b>	<b>709,95 €</b>	<b>709,95 €</b>	<b>341,16 €</b>

Tabla 38. Costes del equipo de profesionales.

### 6.3.1 Cálculo de las amortizaciones para el equipo informático

Para el equipo informático se considera un período de amortización de 5 años, con cuota lineal. El equipo se puede separar en dos grupos diferentes: un tipo de equipo destinado a realizar las tareas de recopilación de información, el cual se denomina equipo de desarrollo y, por otra parte, el equipo de edición con el que se gestionan los documentos una vez definidos los mismos.

El coste de cada uno de estos equipos queda reflejado en la tabla 39 y en la tabla 40 respectivamente.

CONCEPTO		COSTE	CANTIDAD	COSTO TOTAL
HP Pavillion 2400 MHz, 4 GB RAM		1.000 €	1	1.000 €
Software de desarrollo	Microsoft Windows Vista	300 €	1	300 €
	Microsoft Word (v.2010)	125 €	1	125 €
	Microsoft Excel (v.2010)	125 €	1	125 €
<b>Total a amortizar:</b>				<b>1.550 €</b>
		Tipo	Número	Amortización
		Diaria	4,25	0,85 €
		Semanal	29,81	5,96 €
		Horaria	0,53	0,11 €

Tabla 39. Costes del equipo de desarrollo.

CONCEPTO		COSTE	CANTIDAD	COSTE TOTAL
HP Pavillion 2400 MHz, 4 GB RAM		1.000 €	1	585 €
Escáner HP 5200		275 €	1	275 €
Impresora HP DeskJet 720		275 €	1	275 €
Software de desarrollo:	Microsoft Windows Vista	300 €	1	300 €
	Microsoft Word (v.2010)	125 €	1	125 €
	Microsoft Excel (v.2010)	125 €	1	125 €
<b>Total a amortizar:</b>				<b>1.685 €</b>
		Tipo	Número	Amortización
		Diaria	4,62	0,93 €
		Semanal	32,4	6,48 €
		Horaria	0,58	0,12 €

Tabla 40. Costes del equipo de edición.

### 5.3.2. Coste del material consumible

Para consumibles (papeles de impresora, disquetes, CD's, etc.), se ha calculado su consumo medio, por persona y hora de trabajo. Para cada uno de los equipos se obtienen los siguientes resultados reflejados en la tabla 41.

CONCEPTO	COSTE
Papeles de impresora	60 €
Suministros para impresora	250 €
Disco duro externo, Usb y CD's	120 €
Otros	200 €
<b>Coste anual por persona:</b>	<b>530 €</b>
<b>Coste por hora:</b>	<b>0,32 €</b>

Tabla 21. Costes del material consumible.

### 5.3.3. Costes indirectos

Aquí se considerarán gastos que hacen referencia a consumos de electricidad, teléfono, calefacción, alquileres, etc. Las tasas de coste calculadas por persona y hora para cada uno de estos conceptos se muestran en la tabla 42.

CONCEPTO	COSTE
Teléfono	150 €
Electricidad	120 €
Alquileres	400 €
Otros	300 €
<b>Coste anual por persona:</b>	<b>970 €</b>
<b>Coste horario por persona:</b>	<b>0,58 €</b>

Tabla 42. Costes indirectos.

### 5.3.4. Horas de personal dedicadas a cada fase del proyecto

Mediante la realización de un estudio de tiempos y la revisión de otros estudios de tiempos para proyectos realizados en el departamento con características similares al presente, se determinó que la dedicación del personal en cada una de las etapas fue como se reseña en la tabla 43.

PERSONAL	ETAPAS				
	1	2	3	4	5
Director	20	25	5	50	50
Técnico de mejora continua	5	8	100	100	60
Analista de tiempos y métodos	5	8	100	100	15
Auxiliar administrativo	3	10	35	40	100
<b>TOTAL</b>	<b>33</b>	<b>51</b>	<b>240</b>	<b>190</b>	<b>225</b>

Tabla 43. Horas dedicadas por persona al proyecto.

## 5.4. Costes asignados a cada fase del proyecto

Para asignar los costes calculados para los recursos a cada fase del proyecto, se tendrán en cuenta las horas que cada persona dedica a cada etapa y las tasas horarias de salarios y amortización, así como los costes estimados para el material consumible y los costes indirectos.

### 5.4.1. Fase 1: Decisión de elaboración del proyecto

En esta etapa intervienen el las tres partes, tanto el director, el técnico de mejora continua, como el analista de tiempos y métodos. El director concreta cuáles son los objetivos que se desean alcanzar, define las líneas de actuación que se deben tomar, determina los recursos que colaborarán durante el desarrollo del proyecto y orienta la actuación de los otros dos integrantes del equipo que intervienen en esta etapa.

El auxiliar administrativo se encarga de las tareas de redacción de documentos y mecanografía requeridas en esta etapa.

El tiempo empleado se detalló en la tabla 43, resultando un total de 17 horas para esta primera fase. En base a esto, los costes se reparten según se indica en la tabla 44.

CONCEPTO		HORAS	C.H.	COSTE TOTAL
Personal	Director	20	41,53	<b>830,6 €</b>
	Técnico de mejora continua	5	18,59	<b>92,95 €</b>
	Analista de tiempos y métodos	5	18,59	<b>92,95 €</b>
	Auxiliar administrativo	3	8,94	<b>26,82 €</b>
Amortización	Equipo de desarrollo		0,11	
	Equipo de edición	3	0,12	<b>0,36 €</b>
Material consumible	Varios	6	0,32	<b>1,92 €</b>
Costes indirectos		6	0,58	<b>3,48 €</b>
<b>COSTE TOTAL:</b>				<b>1.049,08 €</b>

Tabla 44. Costes asociados a la fase 1.

### 5.4.2. Fase 2: Presentación y difusión del proyecto

En esta etapa se realiza una presentación a los responsables de los departamentos, solicitando su colaboración durante la realización del estudio de optimización de las líneas de pedaleras. Los costes en esta etapa se resumen en la tabla 45.

CONCEPTO		HORAS	C.H.	COSTE TOTAL
Personal	Director	25	41,53	<b>1.038,25 €</b>
	Técnico de mejora continua	8	18,59	<b>148,72 €</b>
	Analista de tiempos y métodos	8	18,59	<b>148,72 €</b>
	Auxiliar administrativo	10	8,94	<b>89,4 €</b>
Amortización	Equipo de desarrollo	10	0,11	<b>1,1 €</b>
	Equipo de edición	10	0,12	<b>1,2 €</b>
Material consumible	Varios	70	0,32	<b>22,4 €</b>
Costes indirectos		65	0,58	<b>37,7 €</b>
<b>COSTE TOTAL:</b>				<b>1.487,49 €</b>

Tabla 45. Costes asociados a la fase 2.

### 5.4.3. Fase 3: Recopilación de la información

En esta etapa el técnico de mejora continua y el analista de tiempos y métodos recopilan toda la información necesaria para la realización del estudio. El costo de sus honorarios representa la mayor parte del total del costo.

Con base al estudio de tiempos de la tabla 43 y a las tasas horarias de personal, amortización, material consumible y resto de costes indirectos, los costes de esta fase se establecen y quedan como se muestra en la tabla 46.

CONCEPTO		HORAS	C.H.	COSTE TOTAL
Personal	Director	5	41,53	<b>207,65 €</b>
	Técnico de mejora continua	100	18,59	<b>1.859 €</b>
	Analista de tiempos y métodos	100	18,59	<b>1.859 €</b>
	Auxiliar administrativo	35	8,94	<b>312,9 €</b>
Amortización	Equipo de desarrollo	200	0,11	<b>22 €</b>
	Equipo de edición	35	0,12	<b>4,2€</b>
Material consumible	Varios	450	0,32	<b>144 €</b>
Costes indirectos		450	0,58	<b>261 €</b>
<b>COSTE TOTAL:</b>				<b>4.669,75 €</b>

Tabla 46. Costes asociados a la fase 3.

#### 5.4.4. Fase 4: Análisis, búsqueda y selección

Es la etapa más significativa, ya que es en donde se analizan todas las características y los datos obtenidos durante la fase anterior para posteriormente poder identificar aquellos puntos débiles que tienen la empresa en las líneas de ensamblaje de pedaleras, en los cuales se puede mejorar, y por tanto, es imprescindible la colaboración casi proporcional del personal involucrado en el desarrollo de este proyecto.

Los costes asignados a esta fase se muestran en la tabla 47.

CONCEPTO		HORAS	C.H.	COSTE TOTAL
Personal	Director	50	41,53	<b>2.076,5 €</b>
	Técnico de mejora continua	100	18,59	<b>1.859 €</b>
	Analista de tiempos y métodos	100	18,59	<b>1.859 €</b>
	Auxiliar administrativo	40	8,94	<b>357,6</b>
Amortización	Equipo de desarrollo	120	0,11	<b>13,2 €</b>
	Equipo de edición	75	0,12	<b>9 €</b>
Material consumible	Varios	350	0,32	<b>112 €</b>
Costes indirectos		350	0,58	<b>203 €</b>
<b>COSTE TOTAL:</b>				<b>6.489,3 €</b>

Tabla 47. Costes asociados a la fase 4.

#### 5.4.5. Fase 5: Escritura y difusión

Esta etapa es la final, en la cual se procede a la escritura de la memoria en la que se recoge todo lo antes realizado en la optimización de las líneas de ensamblaje de pedaleras. Una vez escrito tanto la información recopilada como las conclusiones a las que se llegaron se procederá a la revisión y aprobación final de los documentos. Esta tarea la realizarán el técnico de mejora continua y el director.

Los costes asignados en esta fase se muestran en la tabla 48.

CONCEPTO		HORAS	C.H.	COSTE TOTAL
Personal	Director	50	41,53	<b>2076,5 €</b>
	Técnico de mejora continua	60	18,59	<b>1115,4 €</b>
	Analista de tiempos y métodos	15	18,59	<b>278,85 €</b>
	Auxiliar administrativo	100	8,94	<b>894 €</b>
Amortización	Equipo de desarrollo	25	0,11	<b>2,75 €</b>
	Equipo de edición	100	0,12	<b>12 €</b>
Material consumible	Varios	300	0,32	<b>96 €</b>
Costes indirectos		300	0,58	<b>174 €</b>
<b>COSTE TOTAL:</b>				<b>4.649,5 €</b>

Tabla 48. Costes asociados a la fase 5.

## 5.5. Cálculo del coste total

El coste total se obtiene como suma de todos los costes totales de cada una de las cinco fases del proyecto, que se detallaron en el apartado anterior. Los costes totales desglosados para cada una de las fases se muestran en la tabla 49.

ACTIVIDAD	HORAS	EUROS
Decisión de elaboración del proyecto	33	<b>1.049,08 €</b>
Presentación y difusión	51	<b>1.487,49 €</b>
Recopilación de información	240	<b>4.669,75 €</b>
Análisis, búsqueda y selección	190	<b>6.489,3 €</b>
Escritura y difusión	225	<b>4.649,5 €</b>
<b>TOTAL</b>	<b>739</b>	<b>18.345,12 €</b>

Tabla 49. Costes totales del proyecto.

Finalmente, es importante mencionar que a estos costes hay que aplicar el Margen Comercial y los Impuestos Indirectos (IVA, recargo de equivalencia, etc.).



## 6. Conclusiones y Futuras Líneas de Trabajo

### 6.1. Conclusiones

El proyecto de estudio de optimización de las líneas de pedaleras B-58 y B-9 duró dos meses medio, tiempo en el que permanecí en la citada empresa. Fue un periodo de análisis, de reingeniería, de equilibrado, de estudio de cambios de distribución, y posibilidad de implantación de diferentes técnicas lean. Con el estudio se consiguió el objetivo principal que era el de cumplir con la demanda, optimizando el conjunto de las instalaciones. Los tiempos de ciclo se redujeron por debajo del takt time en los tres modelos, pedaleras B-58-Automáticas, pedaleras B-58-Manuales y pedaleras B-9. De ese modo la productividad aumentó notablemente y se pudo alcanzar el objetivo de capacidad para fabricar las 200 unidades/turno de los modelos B-58 y las 900 unidades/turno del modelo B-9.

Mencionar que mi actuación en Sofedit España S.A. fue exclusivamente de estudio debido al corto periodo de duración de las prácticas. Por ello, la etapa final de la optimización, la implementación no pudo ser completada. En el estudio económico del presente trabajo queda reflejado este hecho.

Con una inversión reducida, en torno a 1.700 euros, y un tiempo limitado de dos días para llevar a cabo los cambios en el layout de las líneas de ensamblaje se conseguirían un gran número de mejoras. Para empezar, económicamente el periodo de amortización de la inversión inicial sería menos de una semana, lo cual es un aspecto muy importante a tener en cuenta. El coste de producción se reduciría en un 27% y la capacidad de producción aumentaría en un 30%. Por otra parte, el despilfarro por tiempo ocioso de los operarios disminuiría en torno a 70%.

Además, se cumpliría con la demanda del cliente con solo un turno de producción, lo que actualmente no ocurre, y todavía quedaría parte de la ocupación de la línea de pedaleras B-58 libre para un posible aumento de la demanda del cliente.

También se conseguiría reducir el inventario en curso, ya que se desearía el modelo de producción almacenando las carcasas (POI) y su posterior aprovisionamiento a la línea. Destacar la importancia de este punto, ya que con la cadencia actual de producción es necesario almacenar más de 2.000 unidades de carcasas, lo que conlleva un inmovilizado importante, así como ocupación de superficie. De esta forma, el flujo pasaría a ser de unas pocas unidades entre puestos de trabajo.

Se mejoraría el sistema de aprovisionamiento, con la inclusión de estanterías dinámicas de picking por gravedad para los componentes de las pedaleras de ambos modelos, así como se reduciría la pérdida de tiempo al incorporar ciertos componentes directamente al puesto desde el embalaje del proveedor.

El aspecto general de las líneas mejoraría al aplicar las 5S, al verse más organizado por la delimitación exacta de los elementos de limpieza y la transpaleta, y por otras medidas comentadas en el presente trabajo.

El estudio de optimización de las líneas de ensamblaje también traería consigo una mejora de ciertos puestos de trabajo, al posicionar ciertos componentes a una altura más adecuada con respecto a los operarios.

El espacio requerido por las líneas sería alrededor de un 8% menor ya que se eliminaría la zona de almacenaje de carcasas y se optimizaría el layout general.

A modo de resumen, en la tabla 50 se detallan de forma cuantitativa los cambios desde la situación inicial al resultado que conllevaría la solución óptima.

INDICADOR / ALTERNATIVA	VALOR DE INDICADORES		
	Sit. Actual	Sol. Óptima	Diferencia
<i>CRITERIOS ECONÓMICOS</i>			
Coste de inversión (€)	0,00	1.720,00	
Coste producción/turno (€)	2.173,82	1.573,02	-27,64%
<i>CRITERIOS DE PRODUCCIÓN</i>			
Producción máxima/turno (uds)	1.474	1.924	30,53%
<i>CRITERIOS DE EFICIENCIA</i>			
Coste tiempo ocioso/turno (€)	85,62	24,68	-71,17%
Tasa ocupación de línea (%)	100,00%	78,30%	-21,71%
WIP/turno (uds)	2.181	0	-100,00%
Superficie ocupada (m2)	216	198	-8,33%

Tabla 50. Resumen de los cambios aportados por la solución óptima.

## 6.2. Futuras Líneas de trabajo

Aún con las mejoras que se introducirían habría que seguir mejorando. De esta forma, sería necesario implantar un sistema de mejora continua (kaizen). La mejora continua debería resolver los problemas que surgiesen con la implantación del nuevo diseño, así como mantendría y mejoraría el entorno de trabajo. Esto conllevaría también un cambio en la mentalidad de los trabajadores, al ver que se las condiciones de trabajo mejorarían.

Por otra parte, otras posibles mejoras en las líneas de ensamblaje y en general de la fábrica, que no se han estudiado en el presente trabajo serían:

Definir todos los huecos en las estanterías de almacenaje de los componentes y otros consumibles. De esta forma se intruduciría al ERP de la empresa su localización exacta, y de esta forma, no se dependería de la capacidad o criterio del carretillero para la colocación o búsqueda de un determinado artículo.

Implantar una estantería dinámica de picking, común para las líneas B-9 y B-58, para asegurar la rotación de stock de los componentes. Su capacidad sería para cubrir las necesidades de un turno. Con esta medida se conseguiría reducir las pérdidas de componentes, así como disminuir la cantidad de stock no controlado por el ERP, ya que en la actualidad, una vez que depositan los componentes en la estantería de aprovisionamiento de las líneas se pierde su rastro en el ERP utilizado por la empresa.

Se enumeran todos los consumibles, con su referencia del ERP y las dimensiones de su embalaje, que se tendrían en cuenta para dimensionar la estantería mencionada en el párrafo anterior:

- TUERCAS – 20002391/00A – 30\*20\*10
- TORNILLOS – 20005543/00A -
- CICLINDROS – V45143 – 29\*16\*13
- ARANDELAS – V43280 - 29\*19\*13
- PIEZAS PLASTICO – 20004171/00A – 39\*30\*18

- CONECTORES – V45134 – 41\*31\*20
- PEDAL FRENO – 30009328/00A – 60\*40\*21
- PEDAL EMBRAGUE – 300105570/00A – 60\*40\*21
- MUELLE – 30008691/00A – 60\*40\*21
- COMP 1 CARCASAS B-58-A y M – V45111 – 115\*102\*88
- COMP 2 CARCASAS B-58-M – 20004224/00A – 120\*100\*98 – Cajas 40\*30\*20,5
- COMP 3 CARCASAS B-58-M y 2 CARCASAS B-58-A – V46002 – 40\*30\*20,5
- COMP 4 CARCASAS B-58-M y 3 CARCASAS B-58-A – V46015 – 40\*30\*20,5
- TORNILLOS MAQ 1 CARCASAS B-58-M y B-58-A – V45137 – 29\*19.5\*14,5
- PASADORES PARA COMP 2 CARCASAS B-58-M – V46111
- COMP 1 CARCASAS B-9 – V43111 – 140\*80\*
- COMP 2 CARCASAS B-9 – V43114 – 80\*60\*40 – Cajas 40\*30\*20,5
- COMP 3 CARCASAS B-9 – V 43112 – 120\*80\*60 - Cajas 40\*30\*20,5
- TORNILLOS CARCASAS B-9 – V43192

Para finalizar, mi experiencia en el estudio de la optimización de las líneas de pedaleras B-58 y B-9 en Sofedit España S.A. fue muy positiva. El tiempo que estuve realizando las prácticas me permitió ver una visión in situ de los aspectos logísticos en una empresa de producción de componentes para el automóvil. Además, al finalizar este periodo fui capaz de tener una visión profunda de la situación actual de las líneas de producción de pedaleras, así como cumplir con los objetivos que se me habían encomendado.

- Objetivo principal:
  - Optimización de las líneas de ensamblaje de las pedaleras B-58 y B-9 en Sofedit España S.A. mediante técnicas de Lean Manufacturing.
- Objetivos específicos:
  - Analizar las condiciones actuales del proceso de las líneas de ensamblaje de pedaleras, considerando maquinaria, mano de obra, etc.
  - Identificar los procesos y las tareas, tanto principales como auxiliares, en el proceso de ensamblaje de pedaleras.
  - Determinar los tiempos de ciclo reales la aplicación de un estudio de tiempos de los modelos B-58-M, B-58-A y B-9, comparándolos con los tiempos teóricos.
  - Determinar el porcentaje de eficiencia de cada operario implicado en el proceso de ensamblaje de todos los tipos de pedaleras.

- Realizar el diagnóstico de la situación actual de las líneas de ensamblaje de pedaleras en la planta, que permita ver oportunidades de mejora.
- Estudio de herramientas de la filosofía del lean manufacturing en la empresa con el propósito de mejorar el proceso productivo de las líneas de ensamblaje de pedaleras.
- Aplicación de determinadas herramientas de lean manufacturing en las líneas de ensamblaje de pedaleras, con el fin de eliminar los tipos de despilafarro diagnosticados.
- Establecer una cantidad económica de lo que costaría el estudio y el diagnóstico para la optimización de las líneas de ensamblaje de las pedaleras B-58 y B-9 en Sofedit España S.A. mediante técnicas de Lean Manufacturing.

## 7. Bibliografía

Alonso, A. (1998). "Conceptos de Organización Industrial", Colección Productiva, Edi. Marcombo.

Barnes, Ralph M. (1961). Estudio de Tiempos y Movimientos. Aguilar.

Baybars, I. (1986). A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem. *Management Science*, 32.

Cuatrecasas, L. (2006). Claves de Lean management: un enfoque para la alta competitividad en un mundo globalizado. *Gestión 2000*.

Dirección de George Kanawaty (1970). Introducción al estudio del trabajo. Oficina Internacional del Trabajo. Ginebra.

Erel, E. y Sarin, S.C. (1998). A survey of the assembly line balancing procedures, *Production planning & Control*, vol. 9.

Gento Municio, Ángel Manuel. Métodos de ayuda a la decisión.- Apuntes de la asignatura "Métodos cuantitativos de uso en logística" del Máster de Logística de la UVA.

Ghosh, S. y Gagnon, R.J. A (1989). Comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly systems. *International Journal of production research*, vol. 27.

Gómez Núñez, Trinidad (1990). Métodos de descomposición y coordinación para la optimización de sistemas dinámicos. Universidad de Málaga.

Grupo Galgano. "Mejoras de la productividad gracias al lean Manufacturing".

[www.leanmanufacturing.es/?page\\_id=10](http://www.leanmanufacturing.es/?page_id=10)

Hirano, H. (2001) Manual para la implantación del JIT una guía completa para la fabricación "just in time". Productivity Press.

Hirano, H. (1997). 5S para todos: 5 pilares de las fábricas visuales. TGP Hosin, DL.

Kanawaty, G. (1996). Introducción al Estudio del Trabajo. Oficina Internacional del Trabajo. Ginebra.

Krick, Edward V. (1967). Introducción a la ingeniería y al proyecto en la ingeniería. Limusa-Wiley.

Ministerio de Industria (1964). Técnica y aplicación del cronometraje.

Niebel B.W. y Freivalds A. (2004). Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo. Alfaomega.

Rekiek, B., Dolgui, A., Delchambre, A. y Bratcu, A. (2002). State of art of optimization methods for assembly line design, *Annual Reviews in Control*, vol. 26.

Suñé, A.; Gil Vilda, F. e I. Arcusa (2004). Manual práctico de diseño de sistemas productivos. Díaz de Santos.

Universidad Politécnica de Cataluña. (1998). Diseño y equilibrado de líneas de producción y montaje. Edicions UPC.

[www.nissanchair.com/docencia/CN-LC-15-2010-web.pdf](http://www.nissanchair.com/docencia/CN-LC-15-2010-web.pdf)

Wilson, L (2010). How to implement lean manufacturing. New York: McGraw Hill.

Womak, J.P. y D.T. Jones (2005). Lean Thinking. Gestión 2000.

Womak J.P. y D.T. Jones (2007). Soluciones Lean. Gestión 2000.

## **7.1. Páginas web visitadas**

---

[www.gestamp.com](http://www.gestamp.com) – Sitio web del grupo internacional Gestamp Automoción, dedicado al diseño, desarrollo y fabricación de componentes y conjuntos metálicos para el automóvil. (Febrero-Junio 2013).

[www.sernauto.es](http://www.sernauto.es) – Asociación Española de Fabricantes de Equipos y Componentes para el automóvil. (Febrero-Junio 2013).

[www.anfac.com](http://www.anfac.com) - Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones. (Febrero-Junio 2013).

[www.institutolean.org](http://www.institutolean.org) – Instituto Lean Management. (Febrero-Junio 2013).

[www.leanglobal.org](http://www.leanglobal.org) – Lean Global Network. (Febrero-Junio 2013).

---

## 8. Glosario

---

*Balaceo de línea:* Igualar los tiempos de ciclo (capacidad productiva, asumiendo el 100% de utilización de la capacidad) para relativamente unidades pequeñas del proceso de producción, a través de una apropiada asignación de trabajadores y máquinas.

*Ciclo:* Conjunto de actividades que se repiten al realizar un proceso

*Cinco S:* Se refiere a las cinco palabras japonesas seiri (seleccionar), seiton (Ordenar), seiso (limpiar), seiketsu (estandarizar) y shitsuke (disciplina). Expresan los principios de mantener una efectiva y eficiente área de trabajo.

*Desperdicio:* Es todo aquello que no agrega valor, y por lo cual el cliente no está dispuesto a pagar. Los siete tipos de desperdicios son: sobreproducción, espera, transporte, sobreprocesamiento, stock, movimientos y retrabajos o defectos.

*Distribución en planta:* Layout. Ordenamiento físico de las instalaciones, sus capacidades, la manera de transportar los materiales en su proceso y a lo largo de su flujo de evolución; incluye el flujo y manejo de los materiales, de los trabajadores y de la información.

*Ergonomía:* Técnicas utilizadas para diseñar o adaptar el lugar de trabajo al trabajador, con la finalidad de evitar problemas de salud y aumentar la eficiencia laboral. El objetivo final es la comodidad de los usuarios de productos o de sistemas.

*Estandarización:* Conjunto de políticas, reglas, instrucciones y procedimientos establecidos para todas las operaciones importantes, que sirven como pauta para que los empleados desempeñen sus tareas de tal forma que aseguren buenos resultados.

*Estudio de métodos:* Análisis crítico de las maneras de llevar a cabo un trabajo, y el desarrollo y aplicación de maneras más sencillas y eficaces

*Estudio de movimientos:* Aplicación de la economía de movimientos a los elementos más pequeños de cualquier actividad

*Estudio de tiempos:* Determinación del contenido de trabajo de una tarea definida, fijando el tiempo requerido para ejecutarla y cumplir una norma de rendimiento preestablecido

*Flujo:* La realización progresiva de todas las tareas a lo largo del flujo de valor.

*Flujo continuo:* One-piece-flow. Flujo de una pieza entre procesos.

*Gestión visual:* Herramienta de lean manufacturing que permite entender el estado de producción en un corto periodo de tiempo, simplemente mediante indicadores visuales.

*Ingeniería de métodos:* Análisis tendiente a eliminar toda actividad innecesaria, y en aquellas que sean necesarias, hallar la mejor y más rápida manera de ejecutarlas

*Just in time:* Justo a tiempo. Herramienta de lean manufacturing enfocada a incrementar el valor añadido y eliminar desperdicios en los procesos.

*Kanban:* herramienta de lean manufacturing que en forma de tarjeta se utiliza en la producción o en el control de inventarios para autorizar la producción o el movimiento de algún artículo en determinadas cantidades.

---

*KPI:* Key performance indicator. Los indicadores clave de rendimiento, miden el nivel de rendimiento de los procesos, con el fin de un objetivo fijado.

*Lean manufacturing:* Filosofía y técnicas que de una manera continua reducen el desperdicio en todas las áreas y formas; identificando, mejorando y optimizando las actividades que agregan valor dentro y fuera de la compañía.

*Lead time:* Plazo de entrega. Plazo que debe esperar el cliente para recibir un producto después de haber formalizado el pedido.

*Operación:* Actividad durante la cual se altera una o varias de las características físicas o químicas de un objeto, o el estado de desarrollo de un servicio

*Optimización:* Obtención del máximo beneficio o del mínimo costo en cualquier operación y bajo limitaciones específicas

*Productividad:* Relación entre la producción obtenida y los recursos utilizados para obtener dicha producción

*Set up:* Tiempo de preparación o puesta a punto. Trabajo requerido para cambiar una máquina o proceso en la fabricación de un producto u operación para pasar al siguiente producto u operación.

*Stock o inventario:* Retención en lugar específico de materiales u objetos de un proceso, requiriendo de autorización para volver al flujo o proceso

*Takt time:* Es el tiempo disponible para fabricar un producto en la cantidad que los clientes lo están demandando. No es lo mismo que tiempo de ciclo, el cual es el tiempo normal para completar una operación en un producto (debería ser menor o igual que el takt time). Se calcula dividiendo el tiempo de producción disponible (trabajo por turno) entre la cantidad total requerida (demanda del cliente por turno).

*Trabajo estandarizado:* Conjunto de procedimientos de trabajo que establecen el mejor método y secuencia para cada proceso.

*Work in process:* Trabajo en proceso. Operaciones y actividades que se encuentran entre procesos o en el mismo proceso.

---

## 9. Acrónimos

---

*FOS*: Ficha de operación estándar.

*JIT*: Just in time. Justo a tiempo.

*KPI*: Key performance indicator. Indicador clave de rendimiento.

*POE*: Producto de origen exterior.

*GALBP*: General assembly line balancing problem. Problema general de equilibrado de líneas.

*POI*: Producto de origen intermedio.

*SALBP*: Simple assembly line balancing problem. Problema simple de equilibrado de líneas.

*SPT*: Estandarización del puesto de trabajo.

*WIP*: Work in process. Trabajo en proceso.



# 10. Anexos

## 10.1. Tiempos de ciclo de las operaciones principales (Tc)

### 10.1.1. Tc Pedalera B-58-A

#### 10.1.1.1. Operario de Carcasas

To	An	Tc	K	TE
23,92	1	23,92	0,12	26,79
23,41	1	23,41	0,12	26,22
23,91	1	23,91	0,12	26,78
22,31	1	22,31	0,12	24,99
23,2	1	23,20	0,12	25,98
22,91	1	22,91	0,12	25,66
23,79	1	23,79	0,12	26,64
22,2	1	22,20	0,12	24,86
24,79	1	24,79	0,12	27,76
21,24	1	21,24	0,12	23,79
23,99	1	23,99	0,12	26,87
23,93	1	23,93	0,12	26,80
25,84	1	25,84	0,12	28,94
24,34	1	24,34	0,12	27,26
23,95	1	23,95	0,12	26,82
		<b>23,58</b>		
<b>N</b>	<b>2,53</b>		<b>Media TE</b>	<b>26,41</b>

Figura 74. Tiempos de ciclo del operario de carcasas (operario 1) línea Pedalera B-58-A.

#### 10.1.1.2. Operario de Ensamblaje

To	An	Tc	K	TE
19,01	1	19,01	0,12	21,29
17,01	1	17,01	0,12	19,05
18,43	1	18,43	0,12	20,64
19,75	1	19,75	0,12	22,12
20,53	1	20,53	0,12	22,99
17,82	1	17,82	0,12	19,96
15,79	1	15,79	0,12	17,68
17,59	1	17,59	0,12	19,70
13,99	1	13,99	0,12	15,67
16,34	1	16,34	0,12	18,30
16,23	1	16,23	0,12	18,18
19,51	1	19,51	0,12	21,85
16,86	1	16,86	0,12	18,88
16,00	1	16,00	0,12	17,92
17,08	1	17,08	0,12	19,13
		<b>17,46</b>		
<b>N</b>	<b>4,87</b>		<b>Media TE</b>	<b>19,56</b>

Figura 75. Tiempo sde ciclo del operario de ensamblaje (operario 2) línea Pedalera B-58-A.

### 10.1.1.3. Operario de Control

To	An	Tc	K	TE
17,73	1	17,73	0,12	19,86
18,01	1	18,01	0,12	20,17
19,77	1	19,77	0,12	22,14
15,86	1	15,86	0,12	17,76
19,43	1	19,43	0,12	21,76
19,64	1	19,64	0,12	22,00
17,54	1	17,54	0,12	19,64
20,38	1	20,38	0,12	22,83
16,25	1	16,25	0,12	18,20
18,68	1	18,68	0,12	20,92
19,09	1	19,09	0,12	21,38
16,63	1	16,63	0,12	18,63
17,34	1	17,34	0,12	19,42
16,52	1	16,52	0,12	18,50
18,64	1	18,64	0,12	20,88
		<b>18,10</b>		
<b>N</b>	3,25		Media TE	20,27

Figura 76. Tiempo sde ciclo del operario de control (operario 3) línea Pedalera B-58-A.

### 10.1.2. Tc Pedalera B-58-M

#### 10.1.2.1. Operario de Carcasas

To	An	Tc	K	TE
36,63	1	36,63	0,12	41,03
35,41	1	35,41	0,12	39,66
37,34	1	37,34	0,12	41,82
31,62	1	31,62	0,12	35,41
40,34	1	40,34	0,12	45,18
37,47	1	37,47	0,12	41,97
37,85	1	37,85	0,12	42,39
35,33	1	35,33	0,12	39,57
34,70	1	34,70	0,12	38,86
41,58	1	41,58	0,12	46,57
35,31	1	35,31	0,12	39,55
36,52	1	36,52	0,12	40,90
36,41	1	36,41	0,12	40,78
35,65	1	35,65	0,12	39,93
36,06	1	36,06	0,12	40,39
		<b>36,55</b>		
<b>N</b>	3,54		Media TE	40,93

Figura 77. Tiempo sde ciclo del operario de carcasas (operario 1) línea Pedalera B-58-M.

### 10.1.2.2. Operario de Ensamblaje 1

To	An	Tc	K	TE
28,21	1	28,21	0,12	31,60
34,91	1	34,91	0,12	39,10
29,85	1	29,85	0,12	33,43
31,52	1	31,52	0,12	35,30
32,78	1	32,78	0,12	36,71
35,88	1	35,88	0,12	40,19
36,78	1	36,78	0,12	41,19
30,49	1	30,49	0,12	34,15
31,93	1	31,93	0,12	35,76
34,46	1	34,46	0,12	38,60
32,81	1	32,81	0,12	36,75
27,96	1	27,96	0,12	31,32
36,86	1	36,86	0,12	41,28
34,82	1	34,82	0,12	39,00
35,69	1	35,69	0,12	39,97
		<b>33,00</b>		
<b>N</b>	<b>3,51</b>		<b>Media TE</b>	<b>36,96</b>

Figura 78. Tiempo sde ciclo del operario de ensamblaje 1 (operario 2) línea Pedalera B-58-M.

### 10.1.2.3. Operario de Ensamblaje 2

To	An	Tc	K	TE
37,07	1	37,07	0,12	41,52
35,69	1	35,69	0,12	39,97
33,92	1	33,92	0,12	37,99
35,41	1	35,41	0,12	39,66
38,1	1	38,10	0,12	42,67
34,31	1	34,31	0,12	38,43
38,96	1	38,96	0,12	43,64
39,25	1	39,25	0,12	43,96
34,52	1	34,52	0,12	38,66
35,68	1	35,68	0,12	39,96
32,2	1	32,20	0,12	36,06
37,1	1	37,10	0,12	41,55
33,99	1	33,99	0,12	38,07
34,9	1	34,90	0,12	39,09
36,83	1	36,83	0,12	41,25
		<b>35,86</b>		
<b>N</b>	<b>2,55</b>		<b>Media TE</b>	<b>40,17</b>

Figura 79. Tiempo sde ciclo del operario de ensamblaje 2 (operario 3) línea Pedalera B-58-M.

### 10.1.2.4. Operario de Control

To	An	Tc	K	TE
19,98	0,8	15,98	0,12	17,90
22,95	0,8	18,36	0,12	20,56
33,20	0,8	26,56	0,12	29,75
34,24	0,8	27,39	0,12	30,68
23,92	0,8	19,14	0,12	21,43
25,49	0,8	20,39	0,12	22,84
29,60	0,8	23,68	0,12	26,52
22,56	0,8	18,05	0,12	20,21
28,34	0,8	22,67	0,12	25,39
28,56	0,8	22,85	0,12	25,59
26,63	0,8	21,30	0,12	23,86
30,12	0,8	24,10	0,12	26,99
30,67	0,8	24,54	0,12	27,48
30,67	0,8	24,54	0,12	27,48
30,67	0,8	24,54	0,12	27,48
28,85	0,8	23,08	0,12	25,85
28,85	0,8	23,08	0,12	25,85
28,85	0,8	23,08	0,12	25,85
28,85	0,8	23,08	0,12	25,85
28,85	0,8	23,08	0,12	25,85
		22,27		
N	6,60		Media TE	25,17

Figura 80. Tiempo sde ciclo del operario de de control (operario 4) línea Pedalera B-58-M.

### 10.1.3. Tc Pedalera B-9 en línea B-58

#### 10.1.3.1. Operario de Ensamblaje 1

To	An	Tc	K	TE
25,39	1	25,39	0,12	28,44
37,89	1	37,89	0,12	42,44
32,30	1	32,30	0,12	36,18
36,09	1	36,09	0,12	40,42
32,79	1	32,79	0,12	36,72
34,56	1	34,56	0,12	38,71
30,43	1	30,43	0,12	34,08
37,90	1	37,90	0,12	42,45
32,51	1	32,51	0,12	36,41
33,26	1	33,26	0,12	37,25
30,41	1	30,41	0,12	34,06
31,67	1	31,67	0,12	35,47
31,09	1	31,09	0,12	34,82
36,53	1	36,53	0,12	40,91
36,02	1	36,02	0,12	40,34
		33,26		
N	4,89		Media TE	37,25

Figura 81. Tiempo sde ciclo del operario de ensamblaje 1 (operario 1) línea Pedalera B-9 en B-58.

### 10.1.3.2. Operario de Ensamblaje 2

To	An	Tc	K	TE
29,78	1	29,78	0,12	33,35
27,56	1	27,56	0,12	30,87
26,41	1	26,41	0,12	29,58
26,75	1	26,75	0,12	29,96
32,27	1	32,27	0,12	36,14
26,55	1	26,55	0,12	29,74
30,59	1	30,59	0,12	34,26
29,43	1	29,43	0,12	32,96
27,48	1	27,48	0,12	30,78
31,09	1	31,09	0,12	34,82
29,39	1	29,39	0,12	32,92
28,49	1	28,49	0,12	31,91
29,34	1	29,34	0,12	32,86
29,52	1	29,52	0,12	33,06
28,37	1	28,37	0,12	31,77
		<b>28,87</b>		
<b>N</b>	2,64		Media TE	32,33

Figura 82. Tiempo sde ciclo del operario de ensamblaje 2 (operario 2) línea Pedalera B-9 en B-58.

### 10.1.3.3. Operario de Control

To	An	Tc	K	TE
28,91	1	28,91	0,12	32,38
23,28	1	23,28	0,12	26,07
26,42	1	26,42	0,12	29,59
30,04	1	30,04	0,12	33,64
29,24	1	29,24	0,12	32,75
35,27	1	35,27	0,12	39,50
29,72	1	29,72	0,12	33,29
26,10	1	26,10	0,12	29,23
29,70	1	29,70	0,12	33,26
26,95	1	26,95	0,12	30,18
31,42	1	31,42	0,12	35,19
33,23	1	33,23	0,12	37,22
30,00	1	30,00	0,12	33,60
27,80	1	27,80	0,12	31,14
32,59	1	32,59	0,12	36,50
		<b>29,38</b>		
<b>N</b>	5,30		Media TE	32,90

Figura 83. Tiempo sde ciclo del operario de control (operario 3) línea Pedalera B-9 en B-58.

## 10.1.4. Tc Pedalera B-9

### 10.1.4.1. Operario de Carcasas

To	An	Tc	K	TE
18,52	1	18,52	0,12	20,74
20,81	1	20,81	0,12	23,31
20,24	1	20,24	0,12	22,67
18,73	1	18,73	0,12	20,98
18,35	1	18,35	0,12	20,55
22,04	1	22,04	0,12	24,68
21,09	1	21,09	0,12	23,62
21,56	1	21,56	0,12	24,15
21,96	1	21,96	0,12	24,60
19,43	1	19,43	0,12	21,76
20,44	1	20,44	0,12	22,89
19,77	1	19,77	0,12	22,14
19,91	1	19,91	0,12	22,30
19,64	1	19,64	0,12	22,00
20,12	1	20,12	0,12	22,53
		<b>20,17</b>		
<b>N</b>	<b>2,38</b>		<b>Media TE</b>	<b>22,59</b>

Figura 84. Tiempo sde ciclo del operario de carcasas (operario 1) línea Pedalera B-9.

### 10.1.4.2. Operario de Ensamblaje

To	An	Tc	K	TE
43,37	1	43,37	0,12	48,57
39,22	1	39,22	0,12	43,93
44,05	1	44,05	0,12	49,34
44,01	1	44,01	0,12	49,29
42,01	1	42,01	0,12	47,05
42,01	1	42,01	0,12	47,05
42,95	1	42,95	0,12	48,10
39,71	1	39,71	0,12	44,48
42,14	1	42,14	0,12	47,20
46,20	1	46,20	0,12	51,74
44,52	1	44,52	0,12	49,86
43,00	1	43,00	0,12	48,16
40,98	1	40,98	0,12	45,90
48,68	1	48,68	0,12	54,52
44,16	1	44,16	0,12	49,46
45,88	1	45,88	0,12	51,39
		<b>43,31</b>		
<b>N</b>	<b>2,84</b>		<b>Media TE</b>	<b>48,50</b>

Figura 85. Tiempo sde ciclo del operario de ensamblaje (operario 2) línea Pedalera B-9.

### 10.1.4.3. Operario de Control

To	An	Tc	K	TE
37,98	1	37,98	0,12	42,54
37,73	1	37,73	0,12	42,26
36,93	1	36,93	0,12	41,36
42,37	1	42,37	0,12	47,45
43,27	1	43,27	0,12	48,46
37,96	1	37,96	0,12	42,52
42,23	1	42,23	0,12	47,30
38,52	1	38,52	0,12	43,14
39,58	1	39,58	0,12	44,33
45,03	1	45,03	0,12	50,43
39,65	1	39,65	0,12	44,41
37,18	1	37,18	0,12	41,64
37,41	1	37,41	0,12	41,90
36,99	1	36,99	0,12	41,43
43,54	1	43,54	0,12	48,76
		<b>39,76</b>		
<b>N</b>	2,65		Media TE	44,53

Figura 86. Tiempo sde ciclo del operario de control (operario 3) línea Pedalera B-9.

## 10.2. Cálculo y redistribución de tareas

### 10.2.1. Solución nº2 (situación 3) pedalera B-58-M con tres Operarios

#### 10.2.1.1. Cálculo de tiempos de ciclo

	Tc actual FOS	Tc FOS modificadas	Diferencia		Tc situacion (3)	
			Tc FOS modificadas mas tar aux sin equilibrar	con media		
Op Control	25,00	43,00	48,68	1,71	50,48	Op Control
Op Ensamblaje 1	43,50	46,00	48,66	1,74	50,32	Op Ensamblaje
Op Ensamblaje 2	41,00					
Op Carcasas	40,93	48,93	53,83	-3,44	50,37	Op Carcasas
Suma tiempos ciclo	150,43	137,93			151,17	
suma	137,93			Produccion	541	
media	45,98					
tareas aux	13,24					
total	151,17					
media total	50,39					

Figura 87. Cálculo tiempos de ciclo en la solución nº2 B-58-M con 3 operarios.

#### 10.2.1.2. Tareas principales presentes en las FOS

TAREAS OP-CONTROL					
Capot capteur y verificaciones (1-4)	12,00				
Etiqueta y contenedor(5-9)	13,00				
TAREAS OP-ENSAMBLAJE 1					
Marcaje soldadura y verificacion (1-3)	6,00				
Conector (5)	8,00				
Quickies (7)	6,00				
Tornillos y par de apriete (8-18)	22,50				
TAREAS OP-ENSAMBLAJE 2					
Marcaje soldadura y verificacion (20-22)	6,00				
Tornillos y par de apriete (23-33)	21,00				
Colocacion vimercati y muelle (34-44)	16				
TAREAS OP-ENSAMBLAJE B-9					
Marcaje soldadura y verificacion (20-22+39)	9,00				
Tornillos y par de apriete (24-42-39)	34,00				
					43,50

Figura 88. Tareas principales presentes en las FOS de la solución nº2 B-58-M con 3 operarios.

### 10.2.1.3. Tareas auxiliares sin redistribuir

Op-Control			
Tareas auxiliares			
1	Embalaje contenedor, giro, etiqueta y 1ª base	1,90	
2	Aprovisionar cajas pedales Op Ensamblaje	0,67	*2
3	Recepcion palet cajas pedales -Op Ens	0,48	*2
4	Poner la 2ª y 3ª base	0,43	
5	Aprovisionar cartones con carrito	0,13	
7	Aprovisionar pintura	0,17	
8	Cambio rollo etiquetas maquina	0,30	
11	Aprovisionar capot capteur	0,06	
12	Rellenar capot capteur	0,83	
13	Reciclar embalaje capot capteur	0,10	
1 ENS 2	Aprovisionar caja muelles	0,13	
16 ENS 2	Aprovisionar vimercati	0,21	
17 ENS 2	Movimientos en mesa vimercati	0,15	
18 ENS 2	Reciclar embalaje vimercati	0,13	
		5,68	

Figura 89. Tareas auxiliares sin redistribuir del operario de control en la solución nº 2 B-58-M con 3 operarios.

Op-Ensamblaje			
Tareas auxiliares			
1 ENS 1	Recargar barra pintura	0,05	*2
2 ENS 1	Quitar caja vacia y colocar caja llena	0,80	*2
3 ENS 1	Aprovisionar caja tornillos	0,21	*2
5 ENS 1	Reciclaje embalaje tornillos	0,13	*2
6 ENS 1	Aprovisonar tipex	0,05	*2
7 ENS 1	Aprovisionar caja tuercas	0,03	*2
8 ENS 1	Rellenar tuercas	0,07	*2
9 ENS 1	Reciclaje embalaje tuercas	0,02	*2
10 ENS 1	Aprovisionar caja cilindros	0,11	*2
11 ENS 1	Rellenar ciclindros	0,23	*2
12 ENS 1	Reciclaje embalaje cilindros	0,07	*2
13 ENS 1	Aprovisionar grasa	0,23	*2
15 ENS 1	Cargar cajas vacias a carretilla	0,67	*2
		2,66	

Figura 90. Tareas auxiliares sin redistribuir del operario de ensamblaje en la solución nº 2 B-58-M con 3 operarios.

Op-Carcasas		
Tareas auxiliares		
1	Recepcion Contenedor Comp 1	0,13
2	Recepcion Contenedor Comp 2	0,06
3	Recepcion Palet Comp 3	0,02
4	Recepcion Palet Comp 4	0,02
5	Aprovisionamiento Caja Comp 2 a ci	2,40
6	Aprovisionamiento Caja Comp 3 a ci	0,33
7	Aprovisionamiento Caja Comp 4 a ci	0,50
8	Traslado Caja Llena Comp 2 junto a M	0,15
9	Traslado Caja Llena Comp 2 junto a M	0,15
10	Pasar Caja vacia Comp 3 a bandeja i	0,15
11	Aprovisionar caja tuercas Maq 1	0,02
12	Rellenar tuercas Maq 1	0,30
13	Reciclaje embalaje tuercas Maq 1	0,01
14	Aprovisionar caja pasadores	0,07
15	Rellenar pasadores	0,03
16	Reciclaje caja pasadores	0,03
14 ENS 1	Aprovisionar caja conectores	0,08
15 ENS 1	Rellenar conectores	0,33
16 ENS 1	Reciclaje embalaje caja conectores	0,05
17 ENS 1	Aprovisionar caja piezas plastico	0,01
18 ENS 1	Rellenar piezas plastico	0,07
19 ENS 1	Reciclaje embalaje piezas plastico	0,00
		4,90

Figura 91. Tareas auxiliares sin redistribuir del operario de carcasas en la solución nº2 B-58-M con 3 operarios.

#### 10.2.1.4. Tareas auxiliares redistribuidas

Op-Control		
Tareas auxiliares		
1	Embalaje contenedor, giro, etiqueta y 1ª base	1,90
2	Aprovisionar cajas pedales Op Ensamblaje	0,67 *2
4	Poner la 2ª y 3ª base	0,43
7	Aprovisionar pintura	0,17
8	Cambio rollo etiquetas maquina	0,30
11	Aprovisionar capot capteur	0,06
12	Rellenar capot capteur	0,83
13	Reciclar embalaje capot capteur	0,10
1 ENS 2	Aprovisionar caja muelles	0,13
16 ENS 2	Aprovisionar vimercati	0,21
17 ENS 2	Movimientos en mesa vimercati	0,15
18 ENS 2	Reciclar embalaje vimercati	0,13
5 CAR	Aprovisionamiento Caja Comp 2 a cinta rodillo	2,40
		7,48

Figura 92. Tareas auxiliares redistribuidas del operario de control en la solución nº2 B-58-M con 3 operarios.

Op-Ensamblaje				
Tareas auxiliares				
1 ENS 1	Recargar barra pintura		0,05	*2
2 ENS 1	Quitar caja vacia y colocar caja llena		0,80	*2
3 ENS 1	Aprovisionar caja tornillos		0,21	*2
5 ENS 1	Reciclaje embalaje tornillos		0,13	*2
6 ENS 1	Aprovisionar tipex		0,05	*2
7 ENS 1	Aprovisionar caja tuercas		0,03	*2
8 ENS 1	Rellenar tuercas		0,07	*2
9 ENS 1	Reciclaje embalaje tuercas		0,02	*2
10 ENS 1	Aprovisionar caja cilindros		0,11	*2
11 ENS 1	Rellenar cilindros		0,23	*2
12 ENS 1	Reciclaje embalaje cilindros		0,07	*2
13 ENS 1	Aprovisionar grasa		0,23	*2
15 ENS 2	Cargar cajas vacias a carretilla		0,67	
1 CARCASAS	Recepcion Contenedor Comp 1		0,13	
2 CARCASAS	Recepcion Contenedor Comp 2		0,06	
3 CARCASAS	Recepcion Palet Comp 3		0,02	
4 CARCASAS	Recepcion Palet Comp 4		0,02	
6 CARCASAS	Aprovisionamiento Caja Comp 3 a cir		0,33	
7 CARCASAS	Aprovisionamiento Caja Comp 4 a cir		0,50	
3 CONTROL	Recepcion palet cajas pedales -Op Er		0,48	*2
5 CONTROL	Aprovisionar cartones con carrito		0,13	
			4,32	

Figura 93. Tareas auxiliares redistribuidas del operario de ensamblaje en la solución nº 2 B-58-M con 3 operarios.

Op-Carcasas				
Tareas auxiliares				
8	Traslado Caja Llena Comp 2 junto a Maq 2		0,15	
9	Traslado Caja Llena Comp 2 junto a Maq 2		0,15	
10	Pasar Caja vacia Comp 3 a bandeja inferior		0,15	
11	Aprovisionar caja tuercas Maq 1		0,02	
12	Rellenar tuercas Maq 1		0,30	
13	Reciclaje embalaje tuercas Maq 1		0,01	
14	Aprovisionar caja pasadores		0,07	
15	Rellenar pasadores		0,03	
16	Reciclaje caja pasadores		0,03	
14 ENS 1	Aprovisionar caja conectores		0,08	
15 ENS 1	Rellenar conectores		0,33	
16 ENS 1	Reciclaje embalaje caja conectores		0,05	
17 ENS 1	Aprovisionar caja piezas plastico		0,01	
18 ENS 1	Rellenar piezas plastico		0,07	
19 ENS 1	Reciclaje embalaje piezas plastico		0,00	
			1,44	

Figura 94. Tareas auxiliares redistribuidas del operario de carcasas en la solución nº 2 B-58-M con 3 operarios.

## 10.2.2. Solución nº2 (situación 3) pedalera B-9 en línea B-58

### 10.2.2.1. Cálculo de tiempos de ciclo

<u>Redistribución 1</u>			
	Tc ideal	Media	35,21
Op Control	36,53		
Op Ensamblaje 1	38,12		
Op Ensamblaje 2	33,48		
Op Carcasas B-9	32,69		
<u>Redistribución 2</u>			
Poner cable y piezas plástico a carcasas		6 segundos	(3+3)
	Tc a variar	Tc tarea	Tc final
Op Control	-1,33	-1,9	34,63
Op Ensamblaje 1	-2,91	-3	35,12
Op Ensamblaje 2	1,73	1,9	35,38
Op Carcasas B-9	2,51	3	35,69

Figura 95. Cálculo tiempos de ciclo en la solución nº2 pedalera B-9 en línea B-58.

### 10.2.2.2. Tareas auxiliares redistribuidas

	Op-Control	t op Carcasas B-9	Op-Ensamblaje	t op Carcasas B-9	Op-Ensamblaje 1	t op Carcasas B-9
1	1,90		0,07	0,20	0,01	0,02
2	0,33		0,11	0,31	0,08	0,22
3	0,12	0,24	0,02	0,05	0,33	
4	0,43		0,05	0,15	0,05	0,05
5	0,13	0,15	0,40		0,40	
6	0,33		0,11		0,11	0,31
7	0,02	0,04				
8	0,24	0,36	0,01	0,02	0,06	0,06
9	0,30		0,17	0,25	0,02	0,04
10	0,33		0,06	0,06	0,02	0,05
11			0,01	0,01	0,03	
12			0,03	0,03	0,01	0,01
13			0,03	0,03	0,01	0,02
14			0,50		0,07	
15			0,33	0,83	0,00	0,00
16			0,71	1,21	0,05	0,15
17			0,50			
18					0,03	0,03
19					0,00	0,00
20					0,03	
21					0,00	0,00
22					0,17	0,25
Total	0,51	0,79	1,60	3,15	0,62	1,22
t traslado(')		4		8		8
		20/traslados Op-Carcasas B-9 a línea B-58				

Figura 96. Tareas auxiliares redistribuidas de los operarios de la línea B-9 en línea B-58 y del operario de carcasas de la línea B-9 en la solución nº2 pedalera B-9 en línea B-58.

### 10.2.3. Solución nº3 (situación 4) pedalera B-9

#### 10.2.3.1. Cálculo de tiempos de ciclo

Op-Carcasas		Op-Control		Op-Ensamblaje	
Tc surpimidas	0,00	Tc surpimidas	0,00	Tc surpimidas	0,20
Tc en rojo	3,64	Tc en rojo	6,31	Tc en rojo	1,55
Tc	27,52	Tc	53,78	Tc	51,33
Tc poner cable y pieza plastico	6,00	Tc en rojo	-6,31	-Tc en rojo	-1,55
Tc tareas en rojo	7,86	-Tc poner conector y pieza plastico	-6,00		
OP-Carcasas y Ensamblaje		Tc ideal	<b>41,47</b>	Tc final	<b>49,77</b>
Tc final	<b>41,38</b>				

Figura 97. Cálculo tiempos de ciclo en la solución nº3pedalera B-9.

### 10.2.4. Solución nº4 (situación 5) pedalera B-9

#### 10.2.4.1. Cálculo de tiempos de ciclo

Op-Carcasas		Op-Control		Op-Ensamblaje	
Tc surpimidas	0,00	Tc surpimidas	0,00	Tc surpimidas	0,20
Tc en rojo	3,64	Tc en rojo	6,31	Tc en rojo	1,55
Tc	27,52	Tc	53,78	Tc	51,33
-Tc en rojo	-3,64	:(11) Op-Carcasas	-1,13	-Tc aprovisionar	-6,00
Tc Op-Control	22,00	nector,p plastico	-29,00	2 ped y marcado	
Tc final	<b>45,88</b>	caje/verificacion		-Tc dejar pint	-2,00
		Tc en rojo Op-Carcasas	2,52	y maq verificacion	
		Tc aprovisionar	18,00	t(11) Op-Carcasas	1,13
		2 ped, marcaje		Tc final	<b>44,45</b>
		Tc final	<b>44,17</b>		

Figura 98. Cálculo tiempos de ciclo en la solución nº4 pedalera B-9.



### 10.2.5.2. Tareas principales presentes en las FOS

<i>Grupos de tareas de la FOS</i>				
TAREAS OP-CONTROL				
Conector y verificación (1-10)	26,00	20	10	1- Colocación conector
Muelle, etiqueta y contenedor(12-19)	16,00	10	10	2- Verificación conector
			10	3- Colocación muelle
				4- Colocación etiqueta
TAREAS OP-ENSAMBLAJE				
Marcaje soldadura y verificación (20-22+39)	9,00	5	5	5- Marcaje soldadura y verificación pedal freno
Tornillos y par de apriete (24-42-39)	34,00	20	19	6- Marcaje soldadura y verificación pedal embrague
				7- Ensamblaje carcasa y pedal freno
				8- Ensamblaje carcasa y pedal embrague
	Suma	85,00	99	
	3 Op	28,33	33,00	
	Suma tareas auxiliares	11,90		
	3 Op con tareas aux	32,30	36,97	
	4 Op con tareas aux	29,98	33,48	

Figura 101. Tareas principales presentes en las FOS de la solución nº5 B-9 con 4operarios.

### 10.2.5.3. Tareas auxiliares redistribuidas

Op-B9-Carcasas				
1	3	0,18	3	0,18
2	4	0,09	4	0,09
3	5	0,30	5	0,30
4	7	0,09	7	0,09
5	8	0,05	8	0,05
6	9	0,10	9	0,10
7	10	0,05	10	0,05
8	11	1,13	14	0,19
9	12	1,13	15	0,17
10	13	0,43	16	0,17
11	14	0,19	17	0,08
12	15	0,17	18	0,08
13	16	0,17	19	0,01
14	17	0,08	20	0,01
15	18	0,08	21	0,02
16	19	0,01	11 CONTROL	0,00
17	20	0,01	12 CONTROL	0,01
18	21	0,02	13 CONTROL	0,04
19	11 CONTROL	0,00	14 CONTROL	0,07
20	12 CONTROL	0,01	15 CONTROL	0,00
21	13 CONTROL	0,04	16 CONTROL	0,02
22	14 CONTROL	0,07	17 CONTROL	0,07
23	15 CONTROL	0,00	18 CONTROL	0,43
24	16 CONTROL	0,02	19 CONTROL	0,14
25	17 CONTROL	0,07	23 CONTROL	0,02
26	18 CONTROL	0,43		
27	19 CONTROL	0,14		2,37
28	23 CONTROL	0,02		
		5,05		

Figura 102. Tareas auxiliares redistribuidas del operario de carcasas en la solución nº5 B-9 con 4 operarios.

Op-B9-Ensamblaje 1			
1	1 ENS	0,35	
2	2 ENS	0,63	
3	3 ENS	0,05	*2
4	4 ENS	0,20	*2
5	5 ENS	0,10	*2
6	6 ENS	0,03	*2
7	8 ENS	0,23	
8	9 ENS	0,07	
9	10 ENS	0,40	*2
10	11 ENS	0,20	*2
11	12 ENS	0,06	*2
12	13 ENS	0,24	
13	14 ENS	0,41	*2
14	15 ENS	0,05	*2
15	16 ENS	0,05	*2
16	11 CAR M	1,13	
17	12 CAR M	1,13	
18	13 CAR M	0,43	
19	5 CONTROL	0,06	
20	7 CONTROL	0,13	
	Recepcion palet cajas 1		0,24
	Recepcion palet cajas 2		0,12
		5,31	

Figura 103. Tareas auxiliares redistribuidas del operario de ensamblaje 1 en la solución nº 5 B-9 con 4 operarios.

Op-B9-Ensamblaje 2			
1	8 ENS	0,23	
2	9 ENS	0,07	
3	Subir caja 1 a cinta muelles		0,25
4	Subir caja 2 a cinta muelles		0,30
5	8 CON M	0,76	
6	9 CON M	1,37	
7	10 CON M	1,87	
		4,84	

Figura 104. Tareas auxiliares redistribuidas del operario de ensamblaje 2 en la solución nº5 B-9 con 4 operarios.

Op-B9-Control				
1	7	0,13	22	0,36
2	8	0,76		
3	9	1,37		0,36
4	10	1,87		
5	22	0,36		
		4,48		

Figura 105. Tareas auxiliares redistribuidas del operario de control en la solución nº5 B-9 con 4 operarios.



### 10.3.1.2. Operario de Ensamblaje

Realizado:		R. Deliso	Validado	R. PDR
Nombre del proceso		Fecha modificación y motivo		
Ensamblaje pedalier BVM DAG B-58 / Op Ensamblaje				
Equipamientos de seguridad	Mono, guantes, botas de seguridad, tapones	1		
Herramientas utilizadas	Útil específico: puesto de ensamblado	2		
Piezas utilizadas (Ref.)	VER NOMENCLATURA DE COMPONENTES	3		
Referencias internas	010573/00A (GRIS) 30003040/00A (BLAWCO) 30010571/00A (MEGR)	4		
Referencias externas	1.025.930.80 (GRIS) 96.371.237.80 (BLAWCO) 98.025.932.80 (MEGR)	5		
Análisis de la operación				
Nº	Descripción	Tiempo	Etapa principal	Punto clave
1	Aprovisionar con mano izquierda pedal de freno (30009855/00A) y con mano derecha tubo de pintura y marcar correcto posicionamiento de coiffe y cordón de soldadura del patín	Enmascarado por tarea 9	Op270	Correcto posicionamiento de coiff y cordones de soldadura del patín (S)
2	Dejar tubo de pintura y posicionar pedal de freno en útil de verificación de douilles, coiffe, eje de asistencia +versión eje emisor	2	Op370	
3	Aprovisionar carcasa con mano izquierda del tapiz deslizante y depositar en mesa de trabajo con los tornillos a la derecha. Limpiar carcasas de aceite con trapo si fuese necesario	2		
4	Coger 2 quickies (V43280) con mano izquierda y reponer 2 en los pivotes del contactor	4		
5	Posicionar la carcasa con el contactor del pedal en útil de montaje con los 3 tornillos hacia arriba y a la derecha y colocándolo sobre 3 centradores y cilindro central	1		
6	Coger con mano derecha casquillo, engrasar y se libera automáticamente el pedal de freno	2	Op375	
5	Coger pedal de freno con mano izquierda y colocar casquillo previamente engrasado (V45143) dentro del moyeu del pedal	4	Op275	
6	Aprovisionar con mano derecha un tornillo (20005543/00A) e introducirlo entre el moyeu del pedal y los taladros de las paredes de la carcasa para su posterior fijación	3		
7	Aprovisionar tuerca (20002391/00A) con mano derecha y posicionar en cabeza de atornilladora	2		
TOTAL		20		
<b>Lo que está prohibido y por qué</b>				
En caso de desmontar un producto terminado, no se utilizará y se desechará la tuerca y el tornillo, por las deformaciones que han sufrido en la fase de apriete y desapriete				
<b>Cómo tratar las anomalías</b>				
En caso de pedal defectuoso depositar la pieza en contenedor de no conformes debajo de puesto (paso por célula fotoeléctrica)				
En caso de duda avisar al responsable.				

Nombre del proceso		Realizado:		R. Delso	Validado	R. PDR
Ensamblaje pedalier BVM DAG B-58 / Op Ensamblaje		Fecha modificación y motivo				
Equipamientos de seguridad	Mono, guantes, botas de seguridad, tapones	1				
Herramientas utilizadas	Útil específico: puesto de ensamblado	2				
Piezas utilizadas (Ref.)	VER NOMENCLATURA DE COMPONENTES	3				
Referencias internas	P10573/00A (GRIS) 30009040/00A (BLANCO) 30010511/00A (MEG)	4				
Referencias externas	025.330.80 (GRIS) 36.371.237.80 (BLANCO) 36.025.332.80 (MEGF)	5				
<b>Análisis de la operación</b>						
Nº	Descripción	Tiempo	Etapa principal	Punto clave		
9	Coger con ambas manos cada una de las empuñaduras de la atornilladora y pulsando los botones de las empuñaduras aproximar los dos carros hacia adentro para proceder a dar el par de apriete del freno	4	ATORNILLADO OP 400	Par 19 Nm SFR Distancia entre pedales (P)		
10	Retirar la atornilladora y se efectúa de forma automática la verificación de la movilidad de ambos pedales y comprobar la posición del patín, mediante su alojamiento en la huella con forma de U de la masa de montaje (control 100% geometría en "Y" del patín pedal)	1	ATORNILLADO OP 400	Movilidad de ambos pedales Control geométrico en "Y" de ambos patines		
11	Aprovisionar con mano izquierda pedal de embrague (30009328/00A, 30009329/00A y 30009030/00A, según versión) y con mano derecha tubo de pintura y marcar correcto posicionamiento de coiffe y cordón de soldadura del patín	Enmascarado por tarea 17	Dp270	Correcto posicionamiento de coiffe y cordones de soldadura del patín (S)		
12	Dejar tubo de pintura y posicionar pedal de freno en útil de verificación de douilles, coiffe, eje de asistencia + versión eje emisor	2	Op370			
13	Coger con mano derecha casquillo, engrasar y se libera automáticamente el pedal de embrague	2	Op375			
14	Coger pedal de embrague con mano izquierda y colocar casquillo previamente engrasado (V45143) dentro del moyeu del pedal	4	Op275			
15	Aprovisionar con mano derecha un tornillo (20005543/00A) e introducirlo entre el moyeu del pedal y los taladros de las paredes de la carcasa para su posterior fijación	3				
16	Aprovisionar tuerca (20002391/00A) con mano derecha y posicionar en cabeza de atornilladora	2				
TOTAL		18				
<b>Lo que está prohibido y por qué</b>						
En caso de desmontar un producto terminado, no se utilizará y se desechará la tuerca y el tornillo, por las deformaciones que han sufrido en la fase de apriete y desapriete						
<b>Cómo tratar las anomalías</b>						
En caso de pedal defectuoso depositar la pieza en contenedor de no conformes debajo de puesto (paso por célula fotoceñida) En caso de duda avisar al responsable.						

Nombre del proceso		Realizado:		R. Delso	Validado	R. PDR
Ensamblaje pedalier BVM DAG B-58 / Op Control		Fecha modificación y motivo				
Equipamientos de seguridad	Mono, guantes, botas de seguridad, tapones	1				
Herramientas utilizadas	Útil específico: puesto de ensamblado	2				
Piezas utilizadas (Ref.)	VER NOMENCLATURA DE COMPONENTES	3				
Referencias internas	310573/000A (GRIS) 30009040/000A (BLANCO) 30010511000A (MEGA)	4				
Referencias externas	3.025.330.80 (GRIS) 96.371.287.80 (BLANCO) 98.025.332.80 (MEGA)	5				
<b>Análisis de la operación</b>						
Nº	Descripción	Tiempo	Etapa principal	Punto clave		
17	Coger con ambas manos cada una de las empuñaduras de la atornilladora y pulsando los botones de las empuñaduras aproximar los dos carros hacia adentro para proceder a dar el par de apriete del embrague	4	ATORNILLADO OP 400	Par 19 Nm S/R Distancia entre pedales (R)		
18	Retirar la atornilladora y se efectúa de forma automática la verificación de la movilidad de ambos pedales y comprobar la posición del patín, mediante su alojamiento en la huella con forma de U de la mesa de montaje (control 100% geometría en "Y" del patín pedal)	1	ATORNILLADO OP 400	Movilidad de ambos pedales Control geométrico en "Y" de ambos patines		
19	Antes de su paso al tapiz posicionar la cabeza suelta del contactor dentro de la pedalera	1		Contactor dentro de la pedalera		
20	Posicionar la pedalera con ambas manos en el tapiz deslizante situado a la derecha con los dos pedales opuestos a sí para su puesto a paso de control si la pieza es conforme. Vigilar que las dos colifre no contengan restos de grasa	2				
21	En caso de encontrar alguna no conformidad se depositará la pieza en bac rojo que está del puesto (paso por célula fotoeléctrica)	na				
TOTAL		46				
<b>Lo que está prohibido y por qué</b>						
En caso de desmontar un producto terminado, no se utilizará y se desechará la tuerca y el tornillo, por las deformaciones que han sufrido en la fase de apriete y desapriete						
<b>Cómo tratar las anomalías</b>						
En caso de pedal defectuoso depositar la pieza en contenedor de no conformes debajo de puesto (paso por célula fotoeléctrica)						
En caso de duda avisar al responsable.						

Figura 107. FOS operario ensamblaje (operario 2) línea Pedalera B-58-M con tres Operarios.

### 10.3.1.3. Operario de Control

Nombre del proceso		Realizado:		R. Delso	Validado	R. PDR
Ensamblaje pedalier BVM DAG B-58 / Op Control		Fecha modificación y motivo				
Equipamientos de seguridad	Mono, guantes, botas de seguridad, tapones	1				
Herramientas utilizadas	Útil específico: puesto de ensamblado	2				
Piezas utilizadas (Ref.)	VER NOMENCLATURA DE COMPONENTES	3				
Referencias internas	010573/000A (GRIS) 30003004/000A (BLANCO) 30010571/000A (NEGRO)	4				
Referencias externas	025.330.80 (GRIS) 36.371.237.80 (BLANCO) 36.025.332.80 (NEGRO)	5				
Nº	Análisis de la operación	Tiempo	Etapa principal	Punto clave		
1	Posicionar con mano derecha el extremo del contactor (V45134) que estaba suelto dentro de la pedalera e introducir en útil de verificación con la parte de color amarilla a la izquierda y haciendo presión con los dedos para meterlo a fondo	2				
2	Izar el pedal de embrague para activar y verificar el funcionamiento del contactor. Asegúrese que no se acciona involuntariamente con la mano durante el proceso.	1	Op-400	Asegúrese que no se acciona involuntariamente con la mano		
3	Coger con mano derecha vimercati (V45135) y presionar el anclaje negro; primero con movimiento de derecha a izquierda y luego gatillo hacia sí, hasta oír un clip	2	Montaje vimercati Op540			
4	Empujar con mano derecha la parte amarilla del vimercati hacia sí hasta hacer tope con el eje vimercati y apretar la pestaña amarilla hacia abajo quedando fijado el eje vimercati con el vimercati	2				
5	Coger con mano derecha verificador de vimercati e introducir en la zona más baja del vimercati, quedando a la derecha el tornillo del verificador	2				
6	Coger muelle (30008796/00A violeta), (30008771/00A verde-naranja), (30008772/00A gris-gris) y engrasar una vez por cada lado del muelle en el engrasador	2		Asegurar lubricación para evitar el desgaste		
7	Coger muelle y útil de colocación de muelles accionando el pedal y se coloca el muelle en su alojamiento con la coupelle negra abajo	1	Montaje de muelle Op660	Verificar que la coupelle negra queda abajo		
8	Situar el muelle con la coupelle negra abajo y encajando ésta sobre el eje de asistencia y soltando el pedal para situar la coupelle blanca en el otro eje de asistencia	2		Pérdida de asistencia en el pedal de embrague		
9	Soltar con mano derecha el verificador del vimercati antes conectado	1				
<b>TOTAL</b>		<b>15</b>				
<b>Lo que está prohibido y por qué</b>						
En caso de desmontar un producto terminado, no se utilizará y se desechará la tuerca y el tornillo, por las deformaciones que han sufrido en la fase de apriete y desapriete						
<b>Cómo tratar las anomalías</b>						
En caso de pedal defectuoso depositar la pieza en contenedor de no conformes debajo de puesto (paso por célula fotoeléctrica)						
En caso de duda avisar al responsable.						







## 10.3.2. FOS Pedalera B-9 con cuatro Operarios

### 10.3.2.1. Operario de Carcasas

Realizado:		R. Delso	Validado	R. PDR
Fecha modificación y motivo				
1				
2				
3				
4				
5				

Nº	Análisis de la operación	Tiempo	Etapas principales	Punto clave
1	Extraer preparación de útil de trabajo y dejar colgada en soporte ventana	2	Op 100	
2	Coger con mano izquierda una pletina flasque nue (V43111) del contenedor situado situado detrás del operario	2		
3	Colocar con mano izquierda la pletina (V43111) sobre el útil	2		
4	Coger y posicionar 3 tornillos (V43192) con mano derecha e insertarlos en los 3 taladros del ala que está a la derecha de la carcasa	4		sertisage elemento de seguridad reglamentación apriete 10Nm
5	Validar con mano izquierda de forma que se realice automáticamente el sertisage de los tornillos y el marcado de la pieza	1		MARCADO DE LA PIEZA
6	Desplazarse a la ventana derecha y extraer producto carcasa clinchada y desplazarse a mesa de trabajo y depositar en mesa de trabajo con los tornillos a la derecha. Limpiar carcasa de aceite con un trapo si fuese necesario	2	Op 200	Control visual de estado
7	Coger contactor (V45134) con mano izquierda y con mano derecha la grapa (20004171/00A) y clipsar ésta en el contactor	3	Op 205	
8	Posicionar los 3 pivotes del cabezal negro del contactor (V45134) en los 3 orificios del flasque de embrague de la carcasa por su parte interna	3	Op 210	
9	Depositar en rampa deslizante posicionando la cabeza suelta del contactor dentro de la pedalera para su paso a puesto de control	2		
10	En ventana derecha coger con mano derecha flasque central (V43114) y mano izquierda freno (V43112)	2		
TOTAL		23		

Lo que está prohibido y por qué	Cómo tratar las anomalías
En caso de desmontar un producto terminado, no se utilizará y se desechará la tuerca y el tornillo, por las deformaciones que han sufrido en la fase de apriete y desapriete	En caso de pedal defectuoso depositar la pieza en contenedor de no conformes debajo de puesto (paso por célula fotoa En caso de duda avisar al responsable.



### 10.3.2.2. Operario de Ensamblaje 1

Realizado:		R. Delso	Validado	R. PDR
Fecha modificación y motivo				
Nombre del proceso	Ensamblaje pedalier BYM DAG B-9 / Op Ensamblaje 1			
Equipamientos de seguridad	Mono, guantes, botas de seguridad, tapones			
Herramientas utilizadas	Útil específico: puesto de ensamblado			
Piezas utilizadas (Ref.)	VER NOMENCLATURA DE COMPONENTES			
Referencias internas	01057300A (GRIS) 3000304000A (BLANCO) 3001057000A (NEGRO)			
Referencias externas	025.930.80 (GRIS) 96.371.297.80 (BLANCO) 98.025.932.80 (NEGRO)			
Nº	Análisis de la operación	Tiempo	Etapas principales	Punto clave
1	Aprovisionar con mano izquierda pedal embague (NEGRO Y GRIS 30010570/00A, BLANCO 30009144/00A; según la versión a fabricar) y con mano derecha tubo de pintura y marcar por tarea 10 correcto posicionamiento de coiffe y cordón de soldadura del patin	Enmascarado por tarea 10	Op270	Correcto posicionamiento de coiffe y cordones de soldadura del patin (S)
2	Dejar tubo de pintura y posicionar pedal de embague en útil de verificación de douilles coiffe, eje de asistencia + versión eje emisor	Enm tar 10 1	Op370	
3	Aprovisionar carcasa con mano izquierda de la rampa deslizante y depositar en mesa de trabajo con los tornillos hacia arriba y a la derecha, colocándola sobre 3 centradores y cilindro central	2		Y marcar correcto posicionamiento de la coiffe, presencia de cordón de soldadura (S)
4	Coger contactor (V45134) con mano izquierda y clisar al útil de verificación	2		
5	Coger con mano derecha casquillo, engrasar y se libera automáticamente el pedal de embague	2	Op375	
6	Coger pedal de freno con mano izquierda y colocar casquillo previamente engrasado (V45123) dentro del moyeu del pedal	2	Op275	
7	Aprovisionar con mano derecha un tornillo (20005543/00A) e introducirlo entre el moyeu del pedal y los taladros de las paredes de la carcasa para su posterior fijación	3		
8	Clisar el pedal de embague para activar y verificar el funcionamiento del contactor. Asegúrese que no se acciona involuntariamente con la mano durante el proceso	1	Op400	Asegúrese que no se acciona involuntariamente con la mano
9	Aprovisionar tuerca (20002391/00A) con mano derecha y posicionar en cabeza de atornilladora	2		
TOTAL		15		
<b>Lo que está prohibido y por qué</b>				
En caso de desmontar un producto terminado, no se utilizará y se desechará la tuerca y el tornillo, por las deformaciones que han sufrido en la fase de apriete y desapriete				
<b>Cómo tratar las anomalías</b>				
En caso de pedal defectuoso depositar la pieza en contenedor de no conformes debajo de puesto (paso por célula fotoeléctrica).				
En caso de duda avisar al responsable.				







### 10.3.2.4. Operario de Control

Realizado:		R. Delso	Validado	R. PDR
Fecha modificación y motivo				
Nombre del proceso	Ensamblaje pedalier BVM DAG B-9 / Op Control			
Equipamientos de seguridad	Mono, guantes, botas de seguridad, tapones			
Herramientas utilizadas	Útil específico: puesto de ensamblado			
Piezas utilizadas (Ref.)	VER NOMENCLATURA DE COMPONENTES			
Referencias internas	01057300A (GRIS) 30003040/00A (BLANCO) 3001057100A (NEG)			
Referencias externas	0.025.930.80 (GRIS) 96.371.297.80 (BLANCO) 98.025.932.80 (NEG)			
Nº	Análisis de la operación	Tiempo	Etapas principales	Punto clave
1	Aprovisionar carcacas con mano derecha de la rampa deslizante y depositar en mesa de trabajo con los tornillos a la derecha. Limpiar carcacas de aceite con trapo si fuese necesario	2		
2	Con mano derecha coger útil de verificación de tornillos y posicionar en los tres tornillos de la carcasa	2		
3	Colocar carcasa con contactor y útil de verificación de tornillos en útil de colocación de quickies	2		
4	Coger 2 quickies (V43280) con mano izquierda y preposicionar 2 en los pivotes del contactor	4		
5	Con mano izquierda agarrar gato y accionar de izquierda a derecha para fijación de quickies (V43280)	2	Colocación grapa quickies op 215	Comprobar correcto acostaje de las grapas quickies con flasque
6	Dejar con mano izquierda el gato en su posición inicial, coger pintura y marcar las arandelas quickies (V43280)	4		Y marcar las arandelas verificando presencia y acostaje
7	Depositar tubo de pintura en su sitio y retirar útil de verificación de detección de tornillos	2		
8	Agarrar con ambas manos la pedalera y extraer todo el conjunto. Depositar sobre rampa deslizante para su paso a puesto de ensamblaje 1	1		
9	Desplazarse hacia la izquierda hacia el puesto de control	1		
10	Comprobar el estado de las bocas de engrasado. Coger un trapo y proceder a limpiar los excesos de grasa si es necesario	na		Limpeza de bocas de engrasado
TOTAL		20		
<b>Lo que está prohibido y por qué</b>				
En caso de desmontar un producto terminado, no se utilizará y se desechará la tuerca y el tornillo, por las deformaciones que han sufrido en la fase de apriete y desapriete				
<b>Cómo tratar las anomalías</b>				
En caso de pedal defectuoso depositar la pieza en contenedor de no conformes de abajo de puesto (paso por célula fotoeléctrica)				
En caso de duda avisar al responsable.				

Realizado:		R.Delso	Validado	R.PDR
Nombre del proceso		Ensamblaje pedalier BVM DAG B-9 / Op Control		
Equipamientos de seguridad	Mono, guantes, botas de seguridad, tapones			
Herramientas utilizadas	Útil específico: puesto de ensamblado			
Piezas utilizadas (Ref.)	VER NOMENCLATURA DE COMPONENTES			
Referencias internas	010573/000A (GRIS) 30003004/000A (BLANCO) 30010571/000A (MEG)			
Referencias externas	3.025.930.80 (GRIS) 36.371.237.80 (BLANCO) 36.025.932.80 (MEG)			
Análisis de la operación				
Nº	Descripción	Tiempo	Etapas principales	Punto clave
11	Revisar engrasado de las zonas de la pedalera en las que se aplica, en caso de engrasado no conforme verificar lote completo	na	Op500	Revisar engrasado
12	Coger con ambas manos carcasa con ambos pedales de la rampa deslizando agarrando la pedalera por el pedal de freno levantándolo y posicionar en puesto de control	1		
13	Validar con mano derecha para la realización automática de detección de color de muelle con control cromático	1	Op700	
14	Extraer etiqueta autoadhesiva expedida automáticamente y colocar en pedal de embrague. Volver a validar para lectura de etiqueta unitaria con pistola	6	Op800	
15	Coger con mano derecha el pedal completo, verificar control en "Y" del soporte contactor de la carcasa con la ayuda de la brocha. Verificar etiqueta numerada y marca (PEDAL NEGRO CZ, GRIS CW, BLACO QZ)	2		Revisar que las etiquetas unitarias coincidan con la versión del pedal fabricado
16	Colocar producto final con ambas manos en contenedor como indica la ficha de acondicionamiento. Verificar que las colifas no tienen restos de grasa. En caso de encontrar alguna no conformidad se depositará la pieza en el bac rojo que está debajo del puesto (paso por célula fotoeléctrica)	2	Acondicionamiento	
17	Es imprescindible verificar cuando abrimos un contenedor vacío que la etiqueta GALIA que se le coloque coincida con la referencia que vamos a fabricar. Para ello se leerá el lector de referencia de la etiqueta GALIA por cada contenedor a fabricar			GALIA QUE SE COLOQUE COINCIDA CON LA REFERENCIA A FABRICAR
TOTAL		32		
<b>Lo que está prohibido y por qué</b>				
En caso de desmontar un producto terminado, no se utilizará y se desechará la tuerca y el tornillo, por las deformaciones que han sufrido en la fase de apriete y desapriete				
<b>Cómo tratar las anomalías</b>				
En caso de pedal defectuoso depositar la pieza en contenedor de no conformes debajo de puesto (paso por célula fotoeléctrica)				
En caso de duda avisar al responsable.				

Figura 112. FOS operario control (operario 4) línea Pedalera B-9 con cuatro Operarios.

## 10.4. Funciones de producción

### 10.4.1. Minimizar coste de producción y maximizar ocupación de la línea

Minimizar Coste producción		FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN ACTUAL					
<b>Variables</b>							
x1	Producción ud/turno B-5B-A	Función objetivo (Min)		Restricciones			
x2	Producción ud/turno B-5B-M			x1=200	1		
x3	Producción ud/turno B-9 en líneas B-5B	$Z=7*x1+7*x2+\beta*x3+\alpha*x4$		x2=200	2		
x4	Producción ud/turno B-9 en líneas B-9			x3<=705	3		
				x4<=508	4		
				$28,23*x1+42,16*x2+38,74*x3<=7,583*\beta*600$	5		
				x3+x4=900	6		
				x1,x2,x3,x4>=0	7		
<b>Datos</b>							
Jornada laboral (h)	7,583	Coste operativo (€/turno)	120	Coste amort maq (€/turno)	200		
	B-5B-A	B-5B-M	B-9 en líneas B-5B		B-9		
Tc x1 (s)	28,23	Tc x2 (s)	42,16	Tc x3 (s)	38,74	Tc x4 (s)	53,78
Producción x1 (ud/turno)	967	Prod. x2 (ud/turno)	647	Prod. x3 (ud/turno)	705	Prod. x4 (ud/turno)	508
Nº operarios	3	Nº operarios	4	Nº operarios	4	Nº operarios	3
Nº maq	3	Nº maq	4	Nº maq	4	Nº maq	3
	? 0,99270	? 1,97697		$\beta$ 1,81629		$\alpha$ 1,89113	
<b>Resolución</b>							
	Variables	x1	x2	x3	x4		
		200	200	341	508	Z=Min Coste 2173,82	
	Coficiente	0,99270	1,97697	1,81629	1,89113		
	1	1,00	0,00	0,00	0,00	200	
Coficientes	2	0,00	1,00	0,00	0,00	200	
Restricciones	3	0,00	0,00	1,00	0,00	705	
	4	0,00	0,00	0,00	1,00	508	
	5	28,23	42,16	38,74	0,00	27.298,80	
	6	0,00	0,00	1,00	1,00	900	
	Rest1	Rest2	Rest3	Rest4	Rest5	Rest6	
Restricciones	200,00	200,00	341,29	507,63	27.298,80	848,92	
	=	=	<=	<=	<=	=	
	200	200	705	508	27.298,80	900	
<b>Tasa ocupación de línea</b>							
Línea B-5B	100,00%						
Línea B-9	100,00%						

Figura 113. Función de producción actual minimizar coste de producción y maximizar ocupación de la línea.

Minimizar Coste producción		FUNCIÓN DE PRODUCCION ALTERNATIVA 1 (A+C+E+F)					
<b>Variabes</b>							
x1	Produccion ud/turno B-58-A	Funcion objetivo (Min)			Restricciones		
x2	Produccion ud/turno B-58-M				x1= 200	1	
x3	Produccion ud/turno B-9 en línea B-58	Z=γ*x1+η*x2+β*x3+α*x4			x2= 200	2	
x4	Produccion ud/turno B-9 en línea B-9				x3≤ 765	3	
					x4≤ 518	4	
		26,76*x1+41,42*x2+35,69*x3≤7,583*3600				5	
					x3+x4=900	6	
					x1,x2,x3,x4≥0	7	
<b>Datos</b>							
Jornada laboral (h)	7,583	Coste operario (€/turno)	120	Coste amort maq (€/turno)	200		
<b>B-58-A</b>		<b>B-58-M</b>		<b>B-9 en línea B-58</b>		<b>B-9</b>	
Tc x1 (s)	26,76	Tc x2 (s)	41,42	Tc x3 (s)	35,69	Tc x4 (s)	52,69
Producción x1 (ud/turno)	1020	Prod. x2 (ud/turno)	659	Prod. x3 (ud/turno)	765	Prod. x4 (ud/turno)	518
Nº operarios	3	Nº operarios	4	Nº operarios	4	Nº operarios	3
Nº maq	3	Nº maq	4	Nº maq	4	Nº maq	3
	γ 0,94112		η 1,94199		β 1,67355		α 1,85308
<b>Resolución</b>							
	Variables	x1	x2	x3	x4		
		200	200	382	518	Z= Min Coste	2175,81
	Coficiente	0,94112	1,94199	1,67355	1,85308		
	1	1,00	0,00	0,00	0,00	200	
Coeficientes	2	0,00	1,00	0,00	0,00	200	
Restricciones	3	0,00	0,00	1,00	0,00	765	
	4	0,00	0,00	0,00	1,00	518	
	5	26,76	41,42	35,69	0,00	27.298,80	
	6	0,00	0,00	1,00	1,00	900	
	Rest 1	Rest 2	Rest 3	Rest 4	Rest 5	Rest 6	
Restricciones	200,00	200,00	382,00	518,00	27.270,15	900,00	
	=	=	≤	≤	≤	=	
	200	200	765	518	27.298,80	900	
<b>Tasa ocupación de línea</b>							
	Línea B-58	99,90%					
	Línea B-9	100,00%					

Figura 114. Función de producción alternativa 1 minimizar coste de producción y maximizar ocupación de la línea.

Minimizar Coste producción		FUNCIÓN DE PRODUCCION ALTERNATIVA 2 (A+C+E+G)					
<b>Variables</b>							
x1	Produccion ud/turno B-58-A	<b>Funcion objetivo (Min)</b>		<b>Restricciones</b>			
x2	Produccion ud/turno B-58-M			x1=200	1		
x3	Produccion ud/turno B-9 en línea B-58	$Z=\gamma*x1+\eta*x2+\beta*x3+\alpha*x4$		x2=200	2		
x4	Produccion ud/turno B-9 en línea B-9			x3<= 765	3		
				x4<= 548	4		
				$26,76*x1+41,42*x2+35,69*x3\leq 7,583*3600$	5		
				x3+x4=900	6		
				x1,x2,x3,x4=>0	7		
<b>Datos</b>							
Jornada laboral (h)	7,583	Coste operario (€/turno)	120	Coste amort maq (€/turno)	200		
<b>B-58-A</b>		<b>B-58-M</b>		<b>B-9 en línea B-58</b>		<b>B-9</b>	
Tc x1 (s)	26,76	Tc x2 (s)	41,42	Tc x3 (s)	35,69	Tc x4 (s)	49,77
Producción x1 (ud/turno)	1020	Prod. x2 (ud/turno)	659	Prod. x3 (ud/turno)	765	Prod. x4 (ud/turno)	548
Nº operarios	3	Nº operarios	4	Nº operarios	4	Nº operarios	3
Nº maq	3	Nº maq	4	Nº maq	4	Nº maq	3
	$\gamma$ 0,94112		$\eta$ 1,94199		$\beta$ 1,67355		$\alpha$ 1,75034
<b>Resolución</b>							
	<b>Variables</b>	x1	x2	x3	x4		
		200	200	352	548	Z= Min Coste	2124,89
	<b>Coefficiente</b>	0,94112	1,94199	1,67355	1,75034		
<b>Coefficientes</b>	1	1,00	0,00	0,00	0,00	200	
	2	0,00	1,00	0,00	0,00	200	
	3	0,00	0,00	1,00	0,00	765	
	4	0,00	0,00	0,00	1,00	548	
	5	26,76	41,42	35,69	0,00	27.298,80	
	6	0,00	0,00	1,00	1,00	900	
<b>Restricciones</b>	Rest 1	Rest 2	Rest 3	Rest 4	Rest 5	Rest 6	
	200,00	200,00	352,00	548,00	26.199,39	900,00	
	=	=	<=	<=	<=	=	
	200	200	765	548	27.298,80	900	
<b>Tasa ocupación de línea</b>							
Línea B-58	95,97%						
Línea B-9	100,00%						

Figura 115. Función de producción alternativa 2 minimizar coste de producción y maximizar ocupación de la línea.

Minimizar Coste producción		FUNCIÓN DE PRODUCCION ALTERNATIVA 3 (B+C+E+F)				
<b>VARIABLES</b>						
x1	Produccion ud/turno B-58-A	Funcion objetivo (Min)		Restricciones		
x2	Produccion ud/turno B-58-M	$Z = \gamma \cdot x1 + \eta \cdot x2 + \beta \cdot x3 + \alpha \cdot x4$		$x1 = 200$	1	
x3	Produccion ud/turno B-9 en línea B-58			$x2 = 200$	2	
x4	Produccion ud/turno B-9 en línea B-9	$26,76 \cdot x1 + 41,42 \cdot x2 + 35,69 \cdot x3 \leq 7,583 \cdot 3600$		$x3 \leq 765$	3	
				$x4 \leq 518$	4	
				$x3 + x4 = 900$	6	
				$x1, x2, x3, x4 \geq 0$	7	
<b>DATOS</b>						
Jornada laboral (h)	7,583	Coste operativo (€/turno)	120	Coste amort maq (€/turno)	200	
<b>B-58-A</b>		<b>B-58-M</b>		<b>B-9 en línea B-58</b>		
Tc x1 (s)	26,76	Tc x2 (s)	41,42	Tc x3 (s)	35,69	
Producción x1 (ud/turno)	1020	Prod. x2 (ud/turno)	659	Prod. x3 (ud/turno)	765	
Nº operarios	3	Nº operarios	4	Nº operarios	4	
Nº maq	3	Nº maq	4	Nº maq	4	
				Nº maq	3	
	$\gamma$ 0,94112		$\eta$ 1,94199		$\beta$ 1,67355	
					$\alpha$ 1,85308	
<b>RESOLUCIÓN</b>						
	VARIABLES	x1	x2	x3	x4	
		200	200	382	518	
		Z= Min Coste				2175,81
	COEFICIENTES	0,94112	1,94199	1,67355	1,85308	
Coeficientes	1	1,00	0,00	0,00	0,00	
	2	0,00	1,00	0,00	0,00	
	3	0,00	0,00	1,00	0,00	
	4	0,00	0,00	0,00	1,00	
	5	26,76	41,42	35,69	0,00	
	6	0,00	0,00	1,00	1,00	
Restricciones	Rest 1	Rest 2	Rest 3	Rest 4	Rest 5	
	200,00	200,00	382,00	518,00	27.270,15	
	=	=	<=	<=	<=	
	200	200	765	518	27.298,80	
	Rest 6					
	900,00				900	
<b>Tasa ocupación de línea</b>						
Línea B-58	99,90%					
Línea B-9	100,00%					

Figura 116. Función de producción alternativa 3 minimizar coste de producción y maximizar ocupación de la línea.

Minimizar Coste producción		FUNCIÓN DE PRODUCCION ALTERNATIVA 4 (B+C+E+G)				
<b>VARIABLES</b>						
x1	Produccion ud/turno B-58-A	Funcion objetivo (Min)		Restricciones		
x2	Produccion ud/turno B-58-M			x1= 200	1	
x3	Produccion ud/turno B-9 en línea B-58	Z= $\gamma \cdot x1 + \eta \cdot x2 + \beta \cdot x3 + \alpha \cdot x4$		x2= 200	2	
x4	Produccion ud/turno B-9 en línea B-9			x3 ≤ 765	3	
				x4 ≤ 548	4	
		26,76*x1+41,42*x2+35,69*x3 ≤ 7,583*3600			5	
				x3+x4=900	6	
				x1,x2,x3,x4 ≥ 0	7	
<b>DATOS</b>						
Jornada laboral (h) 7,583		Coste operativo (€/turno) 120		Coste amort maq (€/turno) 200		
<b>B-58-A</b>		<b>B-58-M</b>		<b>B-9 en línea B-58</b>		
Tc x1 (s)	26,76	Tc x2 (s)	41,42	Tc x3 (s)	35,69	
Producción x1 (ud/turno)	1020	Prod. x2 (ud/turno)	659	Prod. x3 (ud/turno)	765	
Nº operarios	3	Nº operarios	4	Nº operarios	4	
Nº maq	3	Nº maq	4	Nº maq	4	
	$\gamma$ 0,94112		$\eta$ 1,94199		$\beta$ 1,67355	
					$\alpha$ 1,75034	
<b>RESOLUCIÓN</b>						
	Variables	x1	x2	x3	x4	
		200	200	382	518	
	Z= Min Coste	2122,59				
	Coefficiente	0,94112	1,94199	1,67355	1,75034	
Coeficientes	1	1,00	0,00	0,00	0,00	
	2	0,00	1,00	0,00	0,00	
	Restricciones	3	0,00	0,00	1,00	0,00
		4	0,00	0,00	0,00	1,00
		5	26,76	41,42	35,69	0,00
		6	0,00	0,00	1,00	1,00
Restricciones	Rest 1	Rest 2	Rest 3	Rest 4	Rest 5	
	200,00	200,00	382,00	518,00	27.270,15	
	=	=	≤	≤	≤	
	200	200	765	548	27.298,80	
<b>Tasa ocupación de línea</b>						
	Línea B-58	99,90%				
	Línea B-9	94,45%				

Figura 117. Función de producción alternativa 4 minimizar coste de producción y maximizar ocupación de la línea.

Minimizar Coste producción		FUNCIÓN DE PRODUCCION ALTERNATIVA 5 (A+D+H)				
<b>Variables</b>						
x1	Produccion ud/turno B-58-A	Funcion objetivo (Min)		Restricciones		
x2	Produccion ud/turno B-58-M			x1= 200	1	
x3	Produccion ud/turno B-9 en línea B-58	Z= $\gamma$ *x1+ $\eta$ *x2+ $\beta$ *x3+ $\alpha$ *x4		x2= 200	2	
x4	Produccion ud/turno B-9 en línea B-9			x3=0	3	
				x4<= 904	4	
				26,76*x1+50,48*x2<=7,583*3600	5	
				x3+x4=900	6	
				x1,x2,x3,x4=>0	7	
<b>Datos</b>						
Jornada laboral (h) 7,583		Coste operario (€/turno) 120		Coste amort maq (€/turno) 200		
B-58-A		B-58-M		B-9 en línea B-58		
Tc x1 (s)	26,76	Tc x2 (s)	50,48	Tc x3 (s)	0,00	
Producción x1 (ud/turno)	1020	Prod. x2 (ud/turno)	541	Prod. x3 (ud/turno)	0	
Nº operarios	3	Nº operarios	3	Nº operarios	4	
Nº maq	3	Nº maq	3	Nº maq	4	
				Tc x4 (s)	32,37	
				Prod. x4 (ud/turno)	904	
				Nº operarios	4	
				Nº maq	4	
	$\gamma$ 0,94112	$\eta$ 1,77535	$\beta$ 0,00000	$\alpha$ 1,41593		
<b>Resolución</b>						
	Variables	x1	x2	x3	x4	
		200	200	0	900	
		Z= Min Coste				1817,63
	Coefficiente	0,94112	1,77535	0,00000	1,41593	
	1	1,00	0,00	0,00	0,00	200
Coeficientes	2	0,00	1,00	0,00	0,00	200
Restricciones	3	0,00	0,00	1,00	0,00	0
	4	0,00	0,00	0,00	1,00	904
	5	26,76	50,48	0,00	0,00	27.298,80
	6	0,00	0,00	1,00	1,00	900
	Rest 1	Rest 2	Rest 3	Rest 4	Rest 5	Rest 6
Restricciones	200,00	200,00	0,00	900,00	15.449,25	900,00
	=	=	=	<=	<=	=
	200	200	0	904	27.298,80	900
	<b>Tasa ocupación de línea</b>					
	Línea B-58	56,59%				
	Línea B-9	100,00%				

Figura 118. Función de producción alternativa 5 minimizar coste de producción y maximizar ocupación de la línea.

Minimizar Coste producción		FUNCIÓN DE PRODUCCION ALTERNATIVA 6 (B+D+H)				
<b>Variables</b>						
x1	Produccion ud/turno B-58-A	Funcion objetivo (Min)		Restricciones		
x2	Produccion ud/turno B-58-M			x1= 200	1	
x3	Produccion ud/turno B-9 en línea B-58	Z= $\gamma$ *x1+ $\eta$ *x2+ $\beta$ *x3+ $\alpha$ *x4		x2= 200	2	
x4	Produccion ud/turno B-9 en línea B-9			x3= 0	3	
				x4<= 518	4	
				26,76*x1+50,48*x2<=7,583*3600	5	
				x3+x4=900	6	
				x1,x2,x3,x4=>0	7	
<b>Datos</b>						
Jornada laboral (h) 7,583		Coste operario (€/turno) 120		Coste amort maq (€/turno) 200		
<b>B-58-A</b>		<b>B-58-M</b>		<b>B-9 en línea B-58</b>		
Tc x1 (s)	26,76	Tc x2 (s)	50,48	Tc x3 (s)	0,00	
Producción x1 (ud/turno)	1020	Prod. x2 (ud/turno)	541	Prod. x3 (ud/turno)	0	
Nº operarios	3	Nº operarios	3	Nº operarios	4	
Nº maq	3	Nº maq	3	Nº maq	4	
	$\gamma$ 0,94112		$\eta$ 1,77535		$\beta$ 0,00000	
					$\alpha$ 1,41593	
<b>Resolución</b>						
	Variables	x1	x2	x3	x4	
		200	200	0	900	
		Z= Min Coste				1817,63
	Coefficiente	0,94112	1,77535	0,00000	1,41593	
	1	1,00	0,00	0,00	0,00	
	2	0,00	1,00	0,00	0,00	
	3	0,00	0,00	1,00	0,00	
	4	0,00	0,00	0,00	1,00	
	5	26,76	50,48	0,00	0,00	
	6	0,00	0,00	1,00	1,00	
	Rest 1	Rest 2	Rest 3	Rest 4	Rest 5	
	200,00	200,00	0,00	900,00	15.449,25	
	=	=	=	<=	<=	
	200	200	0	904	27.298,80	
	Rest 6				900	
	<b>Tasa ocupación de línea</b>					
	Línea B-58	56,59%				
	Línea B-9	100,00%				

Figura 119. Función de producción alternativa 6 minimizar coste de producción y maximizar ocupación de la línea.

## 10.4.2. Maximizar la producción

Maximizar Producción		FUNCIÓN DE PRODUCCION ACTUAL				
<b>VARIABLES</b>						
x1	Produccion ud/turno B-58-A	Funcion objetivo (Min)		Restricciones		
x2	Produccion ud/turno B-58-M	$Z = \gamma * x1 + \eta * x2 + \beta * x3 + \alpha * x4$		$x1 \leq 1020$	1	
x3	Produccion ud/turno B-9 en línea B-58			$x2 \leq 659$	2	
x4	Produccion ud/turno B-9 en línea B-9	$26,76 * x1 + 41,42 * x2 + 35,69 * x3 \leq 7,583 * 3600$		$x3 \leq 765$	3	
				$x4 \leq 518$	4	
				$x1, x2, x3, x4 \geq 0$	6	
<b>DATOS</b>						
Jornada laboral (h)	7,583	Coste operativo (€/turno)	120	Coste amort maq (€/turno)	200	
<b>B-58-A</b>		<b>B-58-M</b>		<b>B-9 en línea B-58</b>		
Tc x1 (s)	28,23	Tc x2 (s)	42,16	Tc x3 (s)	38,74	
Producción x1 (ud/turno)	967	Prod. x2 (ud/turno)	647	Prod. x3 (ud/turno)	705	
Nº operarios	3	Nº operarios	4	Nº operarios	4	
Nº maq	3	Nº maq	4	Nº maq	4	
	$\gamma$ 1,00000		$\eta$ 1,00000		$\beta$ 1,00000	
					$\alpha$ 1,00000	
<b>RESOLUCIÓN</b>						
	VARIABLES	x1	x2	x3	x4	
		967	0	0	507	
	Z= Max prod					1474,00
	COEFICIENTES	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	
Coeficientes	1	1,00	0,00	0,00	0,00	967
	2	0,00	1,00	0,00	0,00	647
	3	0,00	0,00	1,00	0,00	705
	4	0,00	0,00	0,00	1,00	508
	5	28,23	42,16	38,74	0,00	27.298,80
Restricciones	Rest 1	Rest 2	Rest 3	Rest 4	Rest 5	
	967,00	0,00	0,00	507,00	27.297,13	
	$\leq$	$\leq$	$\leq$	$\leq$	$\leq$	
	967	647	705	508	27.298,80	

Figura 120. Función de producción actual maximizar la producción.





Maximizar Producción		FUNCIÓN DE PRODUCCION ALTERNATIVA 3 (B+C+E+F)				
<b>Variables</b>						
x1	Produccion ud/turno B-58-A	Funcion objetivo (Min)		Restricciones		
x2	Produccion ud/turno B-58-M			$x1 \leq 1020$	1	
x3	Produccion ud/turno B-9 en línea B-58	$Z = \gamma * x1 + \eta * x2 + \beta * x3 + \alpha * x4$		$x2 \leq 659$	2	
x4	Produccion ud/turno B-9 en línea B-9			$x3 \leq 765$	3	
				$x4 \leq 518$	4	
				$26,76 * x1 + 41,42 * x2 + 35,69 * x3 \leq 7,583 * 3600$	5	
				$x1, x2, x3, x4 \geq 0$	6	
<b>Datos</b>						
Jornada laboral (h)		7,583	Coste operativo (€/turno)		120	
			Coste amort maq (€/turno)		200	
<b>B-58-A</b>		<b>B-58-M</b>		<b>B-9 en línea B-58</b>		
Tc x1 (s)	26,76	Tc x2 (s)	41,42	Tc x3 (s)	35,69	
Producción x1 (ud/turno)	1020	Prod. x2 (ud/turno)	659	Prod. x3 (ud/turno)	765	
Nº operarios	3	Nº operarios	4	Nº operarios	4	
Nº maq	3	Nº maq	4	Nº maq	4	
				<b>B-9</b>		
				Tc x4 (s)	52,69	
				Prod. x4 (ud/turno)	518	
				Nº operarios	3	
				Nº maq	3	
	$\gamma$	1,00000	$\eta$	1,00000	$\beta$	
				1,00000	$\alpha$	
					1,00000	
<b>Resolución</b>						
	Variables	x1	x2	x3	x4	
		1020	0	0	518	Z= Min Coste 1538,00
	Coefficientes	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	
	1	1,00	0,00	0,00	0,00	1.020
Coefficientes	2	0,00	1,00	0,00	0,00	659
Restricciones	3	0,00	0,00	1,00	0,00	765
	4	0,00	0,00	0,00	1,00	518
	5	26,76	41,42	35,69	0,00	27.298,80
	Rest 1	Rest 2	Rest 3	Rest 4	Rest 5	
Restricciones	1.020,00	0,00	0,00	518,00	27.297,08	
	$\leq$	$\leq$	$\leq$	$\leq$	$\leq$	
	1.020	659	765	518	27.298,80	

Figura 123. Función de producción alternativa 3 maximizar la producción.

Maximizar Producción		FUNCIÓN DE PRODUCCION ALTERNATIVA 4 (B+C+E+G)						
<b>Variables</b>								
x1	Produccion ud/turno B-58-A	Funcion objetivo (Min)		Restricciones				
x2	Produccion ud/turno B-58-M			x1 ≤ 1020	1			
x3	Produccion ud/turno B-9 en línea B-58	Z = γ*x1 + η*x2 + β*x3 + α*x4		x2 ≤ 659	2			
x4	Produccion ud/turno B-9 en línea B-9			x3 ≤ 765	3			
				x4 ≤ 518	4			
				26,76*x1 + 41,42*x2 + 35,69*x3 ≤ 7,583*3600	5			
				x1, x2, x3, x4 ≥ 0	6			
<b>Datos</b>								
Jornada laboral (h)		7,583	Coste operario (€/turno)	120	Coste amort maq (€/turno)	200		
B-58-A		B-58-M		B-9 en línea B-58		B-9		
Tc x1 (s)	26,76	Tc x2 (s)	41,42	Tc x3 (s)	35,69	Tc x4 (s)	49,77	
Producción x1 (ud/turno)	1020	Prod. x2 (ud/turno)	659	Prod. x3 (ud/turno)	765	Prod. x4 (ud/turno)	548	
Nº operarios	3	Nº operarios	4	Nº operarios	4	Nº operarios	3	
Nº maq	3	Nº maq	4	Nº maq	4	Nº maq	3	
	γ	1,00000	η	1,00000	β	1,00000	α	1,00000
<b>Resolución</b>								
	Variables	x1	x2	x3	x4	Z= Max Prod	1568,00	
		1020	0	0	548			
	Coficiente	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000			
Coeficientes	1	1,00	0,00	0,00	0,00	1.020		
	2	0,00	1,00	0,00	0,00	659		
	3	0,00	0,00	1,00	0,00	765		
	4	0,00	0,00	0,00	1,00	548		
	5	26,76	41,42	35,69	0,00	27.298,80		
Restricciones	Rest 1	Rest 2	Rest 3	Rest 4	Rest 5			
	1.020,00	0,00	0,00	548,00	27.297,08			
	≤	≤	≤	≤	≤			
		1.020	659	765	548	27.298,80		

Figura 124. Función de producción alternativa 4 maximizar la producción.

Maximizar Producción		FUNCIÓN DE PRODUCCION ALTERNATIVA 5 (A+D+H)			
<b>Variabes</b>					
x1	Produccion ud/turno B-58-A	<b>Funcion objetivo (Min)</b>		<b>Restricciones</b>	
x2	Produccion ud/turno B-58-M	$Z = \gamma \cdot x1 + \eta \cdot x2 + \beta \cdot x3 + \alpha \cdot x4$		$x1 \leq 1020$	1
x3	Produccion ud/turno B-9 en línea B-58			$x2 \leq 659$	2
x4	Produccion ud/turno B-9 en línea B-9			$x3 \leq 765$	3
				$x4 \leq 518$	4
				$26,76 \cdot x1 + 41,42 \cdot x2 + 35,69 \cdot x3 \leq 7,583 \cdot 3600$	5
			$x1, x2, x3, x4 \geq 0$	6	
<b>Datos</b>					
Jornada laboral (h) 7,583		Coste operario (€/turno) 120		Coste amort maq (€/turno) 200	
<b>B-58-A</b>		<b>B-58-M</b>		<b>B-9 en línea B-58</b>	
Tc x1 (s)	26,76	Tc x2 (s)	50,48	Tc x3 (s)	0,00
Producción x1 (ud/turno)	1020	Prod. x2 (ud/turno)	541	Prod. x3 (ud/turno)	0
Nº operarios	3	Nº operarios	3	Nº operarios	4
Nº maq	3	Nº maq	3	Nº maq	4
	$\gamma$ 1,00000		$\eta$ 1,00000		$\beta$ 1,00000
					$\alpha$ 1,00000
<b>Resolución</b>					
	<b>Variabes</b>	x1	x2	x3	x4
		1020	0	0	904
	<b>Coeficientes</b>	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
<b>Coeficientes</b>	1	1,00	0,00	0,00	0,00
	2	0,00	1,00	0,00	0,00
<b>Restricciones</b>	3	0,00	0,00	1,00	0,00
	4	0,00	0,00	0,00	1,00
	5	26,76	50,48	0,00	0,00
					1.020
					541
					0
					904
					27.298,80
	<b>Restricciones</b>	Rest 1	Rest 2	Rest 3	Rest 4
		1.020,00	0,00	0,00	904,00
		$\leq$	$\leq$	$=$	$\leq$
		1.020	541	0	904
					27.298,80
					<b>Z= Max Prod 1924,00</b>

Figura 125. Función de producción alternativa 5 maximizar la producción.

Maximizar Producción		FUNCIÓN DE PRODUCCION ALTERNATIVA 6 (B+D+H)				
<b>Variables</b>						
x1	Produccion ud/turno B-58-A	Funcion objetivo (Min)		Restricciones		
x2	Produccion ud/turno B-58-M			$x1 \leq 1020$	1	
x3	Produccion ud/turno B-9 en línea B-58	$Z = \gamma * x1 + \eta * x2 + \beta * x3 + \alpha * x4$		$x2 \leq 659$	2	
x4	Produccion ud/turno B-9 en línea B-9			$x3 \leq 765$	3	
				$x4 \leq 518$	4	
		$26,76 * x1 + 41,42 * x2 + 35,69 * x3 \leq 7,583 * 3600$			5	
				$x1, x2, x3, x4 \geq 0$	6	
<b>Datos</b>						
Jornada laboral (h) 7,583		Coste operario (€/turno) 120		Coste amort maq (€/turno) 200		
<b>B-58-A</b>		<b>B-58-M</b>		<b>B-9 en línea B-58</b>		
Tc x1 (s)	26,76	Tc x2 (s)	50,48	Tc x3 (s)	0,00	
Producción x1 (ud/turno)	1020	Prod. x2 (ud/turno)	541	Prod. x3 (ud/turno)	0	
Nº operarios	3	Nº operarios	3	Nº operarios	4	
Nº maq	3	Nº maq	3	Nº maq	4	
	$\gamma$ 1,00000		$\eta$ 1,00000		$\beta$ 1,00000	
					$\alpha$ 1,00000	
<b>Resolución</b>						
	Variables	x1	x2	x3	x4	
		1020	0	0	904	
		Z= Max Prod				1924,00
	Coefficiente	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	
Coeficientes	1	1,00	0,00	0,00	0,00	
	2	0,00	1,00	0,00	0,00	
	3	0,00	0,00	1,00	0,00	
	4	0,00	0,00	0,00	1,00	
	5	26,76	50,48	0,00	0,00	
Restricciones	Rest 1	Rest 2	Rest 3	Rest 4	Rest 5	
	1.020,00	0,00	0,00	904,00	27.297,08	
	$\leq$	$\leq$	=	$\leq$	$\leq$	
	1.020	541	0	904	27.298,80	

Figura 126. Función de producción alternativa 6 maximizar la producción.