

Trabajo Fin de Grado

Estudio y mejora de las operaciones de una línea de montaje en una empresa del sector de automoción

Study and improvement of the operations of an assembly line of a company in the automotive sector

Felipe Pirón Oseñalde

Directora:

María José Oliveros

Grado en Ingeniería Mecánica

RESUMEN

Trabajo de fin de grado de Ingeniería Mecánica enfocado en el estudio, optimización y mejora de una sección de montaje del sector automovilístico, concretamente enfocado en paragolpes traseros del modelo Opel Corsa. Esta sección sigue un sistema de producción en línea.

Ante el incremento de la demanda de cliente, la línea en su estado actual no cumple con los requisitos para afrontar esta demanda, por lo que se analizan posibles mejoras en la línea de producción siguiendo la metodología Lean Manufacturing.

Se comienza comentado de manera teórica el proceso realizado en el trabajo, donde se explica la metodología seguida y los cálculos aplicados para la obtención del objetivo exigido por el cliente.

Posteriormente, se explica la situación que tiene inicialmente la línea y se analiza. Tras realizar su estudio, se evalúa los resultados obtenidos para poder obtener posibles puntos de mejora y mayor rendimiento en la línea.

Con el análisis de los posibles puntos de mejora, se va a comparar las diferentes posibilidades que se pueden aplicar a la línea para aportar una solución y cumplir con la nueva demanda establecida por cliente.

Como etapa final se presentan y exponen las mejoras implantadas y su alcance.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 ENTORNO	6
1.2 OBJETIVO	6
2. DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA.....	7
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	7
2.2 LISTA DE ELEMENTOS	8
3. ANÁLISIS DE TAKT-TIME.....	20
3.3 PORCENTAJE DE SATURACIÓN.....	23
4. OEE	23
4.1 CALCULO OEE	25
4.2 CALCULO Y REVISIÓN DEL OEE ACTUAL.....	25
4.3 CALCULO OEE REAL	27
4.4 COMPARACIÓN.....	29
5. ESTUDIO DE OPORTUNIDADES DE MEJORA.....	29
5.1 ANALISIS DE MUDAS Y DESPILFARROS.....	30
5.3 COMPARACIÓN.....	41
6. CONCLUSIONES	42
7. BIBLIOGRAFÍA	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Pieles o producto base del paragolpes.....	8
Figura 2: Materiales del paragolpes.....	11
Figura 3: Montaje del paragolpes	12
Figura 4: Línea de Montaje.....	12
Figura 5: Descripción etiqueta	13
Figura 6: Layout Troqueladora	14
Figura 7: Posición soportes	14
Figura 8: Proceso troquelado	15
Figura 9: Posicionamiento embellecedor cámara.....	15
Figura 10: Posición tapa eléctrica	16
Figura 11: Colocación del foglamp	16
Figura 12: Layout montaje reflector, luces de matrícula y cableado.....	17
Figura 13: Paragolpes correctamente montado en interior	18
Figura 14: Paragolpes correctamente montado exterior.....	18
Figura 15: Carros JIT	19
Figura 16: Layout control final	20
Figura 17: Operaciones línea de montaje	20
Figura 18: Calculo de porcentaje de Disponibilidad.....	26
Figura 19: Calculo de porcentaje de Rendimiento.....	26
Figura 20: Porcentaje de Calidad	27
Figura 21: Resultado OEE basado en el DLE.....	27
Figura 22: Layout control inicial	34
Figura 23: Estantería soportes Base	36
Figura 24: Estantería soportes Line Pack	36
Figura 25: Estantería cables	37
Figura 26: Carro móvil.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Consumo actual y en octubre-2020	7
Tabla 2: Componentes del paragolpes.....	10
Tabla 3: Componentes extras del paragolpes eléctrico	10
Tabla 4: Tiempo estándar de una tarea	21
Tabla 5: Tiempo de ciclo total.....	22
Tabla 6: Porcentaje saturación por operación (53 coches/hora).....	23
Tabla 7: Tiempos de producción inicial.....	28
Tabla 8: Porcentaje saturación por operación (54 coches/hora).....	39
Tabla 9: Tiempo de producción final.....	40

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Comparación del OEE DLE con el OEE REAL	29
Gráfica 2: Porcentaje consumo mensual	32
Gráfica 3: Porcentaje de consumo por color versionado Base	32
Gráfica 4: Porcentaje de consumo por color versionado Line Pack.....	33
Gráfica 5: Consumo de sensores.....	35
Gráfica 6: Consumo de cableado	37
Gráfica 7: Comparativa final OEE	41

1.INTRODUCCIÓN

1.1 ENTORNO

Este trabajo se ha realizado en Plastic Omnium en el SILS de Figueruelas (Zaragoza). Esta empresa es líder mundial en Sistemas Exteriores Inteligentes, Sistemas de Energías Limpias y Módulos frontales. En este caso, se trabaja en los Sistemas Exteriores Inteligentes, y en concreto en los **paragolpes traseros**.

Se trabajará en el aumento de producción de la línea de montaje del Opel Corsa, conocida por la empresa; como la línea del P2JO. Este incremento, se debe al aumento de demanda solicitada por cliente.

Esta forma de proceder se llevará a cabo mediante un estudio de optimización de tiempos, además de una mejora de posicionamiento de la maquinaria. Este trabajo permitirá, de una forma segura y fiable, configurar y probar un sinfín de posibilidades y alternativas hasta encontrar la mejor alternativa, que se adapte de manera idónea a nuestras necesidades.

1.2 OBJETIVO

El objetivo del proyecto ha sido la aplicación de los conocimientos adquiridos durante la formación en el Grado de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Zaragoza, y la ampliación de estos conocimientos, concretamente en el mundo de la producción de una manera más práctica y aplicada a la realidad industrial de hoy en día en el que la organización industrial está adquiriendo un protagonismo muy importante, tanto en el mundo del automóvil, como en todas las empresas de carácter industrial que lleven asociada un proceso productivo.

Otro de los objetivos de este proyecto es la correcta medición y estudio de todo aquello que sea necesario para detectar los puntos débiles, permitiendo la posibilidad de eliminar alguna operación, mejorando así el proceso de producción.

En la línea se deberán comprobar que todos los procesos de montaje estén perfectamente coordinados, y que ninguno limite o disminuya en el funcionamiento del resto de elementos, consiguiendo un mayor rendimiento y así evitar una disminución de la producción.

También como objetivo está marcado es el estudio, de tiempos de ciclo y ritmos de producción cumpliendo con las exigencias propuestas, poniendo las medidas y recursos necesarios para cumplir estos objetivos, que son de vital importancia en todos los procesos productivos.

2. DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El producto que se monta en la línea objeto de estudio son paragolpes traseros. Se llama paragolpes a la pieza de un vehículo que se encuentra en la parte delantera y trasera de éste con la función de amortiguar y proteger al vehículo en caso de colisión. Los paragolpes objeto de este estudio son de plástico y se dividen en tres variantes: Base, Line Pack y Eléctricos.

Los paragolpes tipo *Base* se dividen a su vez en cuatro versionados diferentes: Base, AAS, AAS+CAM, AAS+SAM+CAM, diferenciándose entre ellos según los sensores que incluyen. Así, el versionado Base no contiene ningún tipo de sensor; ASS contiene cuatro sensores; ASS+CAM se compone de cuatro sensores y una cámara de visión trasera; y SAM contiene 6 sensores y cámara de visión trasera.

A su vez, Line Pack también se presenta en 4 versiones diferentes: Line Pack, AAS, AAS+CAM, SAM. El versionado Line Pack no contiene ningún tipo de sensor y tiene una salida de escape o dos; AAS contiene cuatro sensores y 1 ó 2 salidas; AAS+CAM se compone de cuatro sensores y una cámara de visión trasera, además de 1 ó 2 salidas de escape; y, por último, SAM contiene 6 sensores, cámara de visión trasera que también contiene una salida o dos de escape.

Los Eléctricos se dividen en las dos variantes anteriores (Base y Line Pack), y tienen los mismos versionados, excepto los Line Pack que no contienen salidas de escape.

En la Tabla 1 se presentan los consumos de junio de todos estos versionados, comparándolos con el consumo del mes de octubre de 2020.

	Actual	oct-20	Actual	oct-20	Actual	oct-20		
Base sin sensores	32,28%	32,24%	Line Pack sin sensores 1 escape	1,97%	0,39%	eP2JO Base sin sensores	4,82%	1,97%
Base AAS	16,54%	15,58%	Line Pack AAS 1 escape	5,71%	6,61%	eP2JO Base AAS	0,49%	2,76%
Base AAS + CAM	13,09%	11,14%	Line Pack AAS + CAM 1 escape	9,35%	11,24%	eP2JO Base AAS + CAM	4,04%	2,27%
Base SAM	1,97%	2,66%	Line Pack SAM 1 escape	3,15%	3,94%	eP2JO Base SAM	4,82%	1,28%
			Line Pack sin sensores 2 escapes	0,20%	0,03%	eP2JO Linepack AAS		2,56%
			Line Pack AAS 1 escape	0,49%	0,59%	eP2JO Linepack AAS + CAM		2,37%
			Line Pack AAS + CAM 2 escapes	0,79%	0,99%	eP2JO Linepack SAM		1,08%
			Line Pack SAM 2 escapes	0,30%	0,30%			

Tabla 1: Consumo actual y en octubre-2020

2.2 LISTA DE ELEMENTOS

El producto final es el resultado del montaje de un gran número de elementos. Estos elementos no se fabrican en la empresa, a excepción de las pieles que proceden de la sede de la empresa en Tudela. Los demás son solicitados a los proveedores según el consumo y existencias de manera automática con SAP. Los proveedores, a través de un correo, confirman si van a poder entregar el material solicitado y en caso negativo, la cantidad que van a poder enviar.

La principal diferencia entre versiones se encuentra en la carcasa del tubo de escape, conocido en el proyecto como “Valance”, tal y como se puede ver en la Fig 1. La versión deportiva o Line contiene varios acabados de esta carcasa y la versión base siempre emplea el mismo.

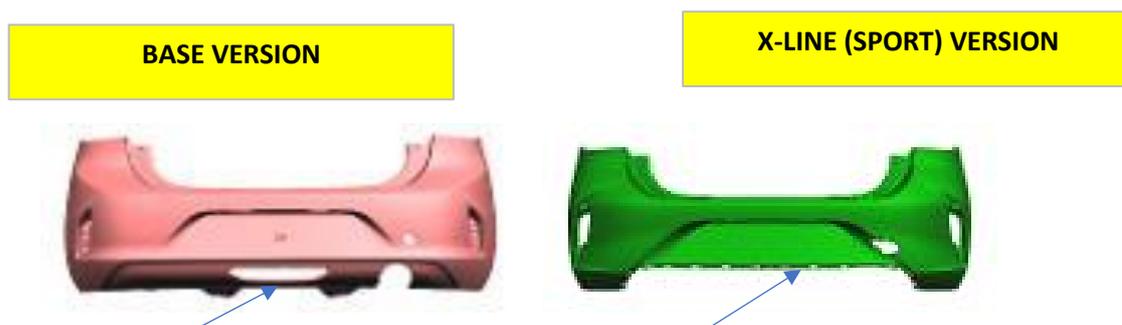
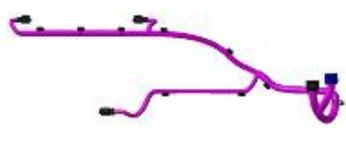
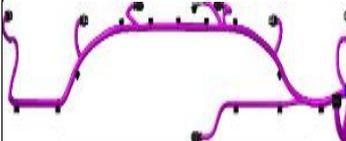
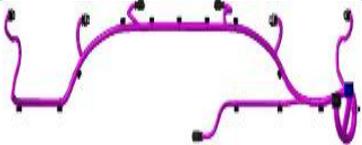
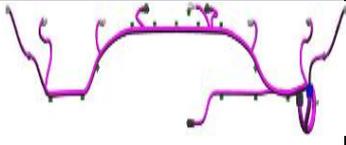


Figura 1: Pieles o producto base del paragolpes

A estos productos base, se le añaden un conjunto de componentes en la línea de montaje (ver Tabla 2).

ARNÉS			
Foglamp + LPlamp			AAS + CAM
AAS			AAS - SAM - CAM
SOPORTES DE PIELES			
parachoques debajo de las luces traseras (derecho)			trasero central
parachoques debajo de las luces traseras (Catadrióptico)			
SENSORES			
AAS (6.0) RADIAL			Sensor SAM
SOPORTES DE SENSORES			
Sensor AAS o SAM Lateral (izquierdo y derecho)			Sensor con agujeros ASS y de la cámara
Sensor AAS central			Cámara

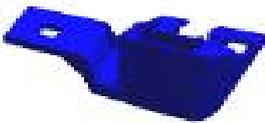
Externo del sensor AAS (derecho e izquierdo)			Rear camera bracket -Opel -P2JO
ILUMINACIÓN			
Reflector Trasero (derecho e izquierdo)			Luz antiniebl a
Lámpara de matrícula			Reflector Trasero (Bezel)
OTROS			
Cubierta del ojo del remolque trasero			Presionador del soporte lateral (derecho e izquierdo)
Nuts			Cámara del parabolpe s

Tabla 2: Componentes paragolpes

A nivel de componentes, un paragolpes eléctrico lleva dos componentes adicionales respecto un base, tal y como se ve en la Tabla 3.

COMPONENTES EXTRAS DE PARAGOLPES ELECTRICO			
Cubierta de escape			Extensión del guardabarros deflector de neumáticos (derecho e izquierdo)

Tabla 2: Componentes extras del paragolpes eléctrico

Después de nombrar cada uno de los componentes del producto final, en la Fig. 2 se muestra dónde van situados cada uno de ellos.

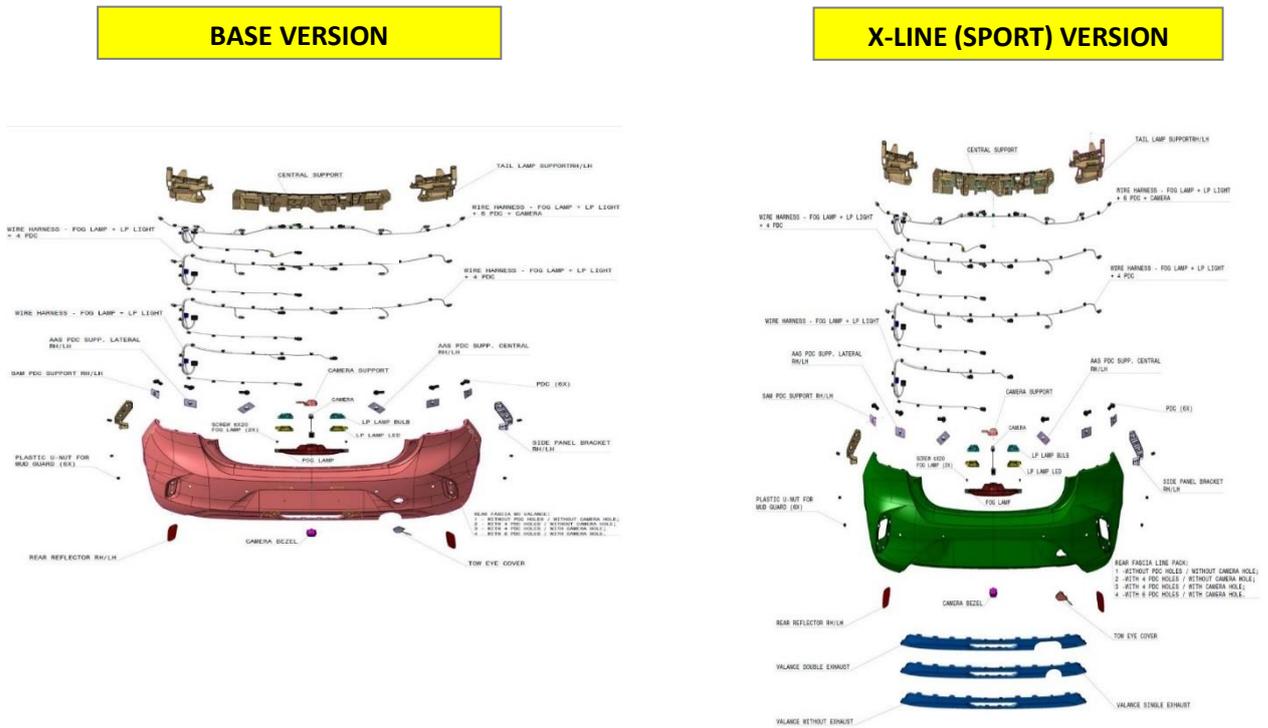


Figura 2: Montaje del paragolpes

2.3 DEFINICIÓN LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Antes de comenzar con la descripción del proceso de montaje, se va a identificar el sistema de producción. Así, la producción es en línea y unitaria ya que cada pieza sacada de línea puede tener un versionado diferente y no existen tiempos de reconfiguración por cambio de modelo. El producto de la línea va secuenciado, es decir, hay que fabricar según la secuencia que marca el cliente.

Las tareas en línea son aquellas que se llevan a cabo por diferentes operarios, cada uno de ellos haciendo una tarea de forma especializada.

El producto que se está montando, fluye a lo largo de la línea de montaje, donde cada uno de los operarios realiza la operación que le corresponde. Así, se hace evidente que el tiempo que invierta cada uno de ellos en el desempeño de su tarea influirá de forma directa en el desarrollo del trabajo realizado por el siguiente operario.

Como se ha mencionado, el producto circula de un operario a otro hasta que finaliza la tarea. Sin embargo, cuando se estudia este tipo de trabajos en línea, hay que tener en cuenta las condiciones y carga de trabajo de cada uno de los operarios/puesto de trabajo.

2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MONTAJE

Los procesos de esta línea se agrupan en cuatro fases, tal y como indica la Fig. 3. Además, la línea consta ocho procesos diferentes y en cada uno de ellos hay un operario.

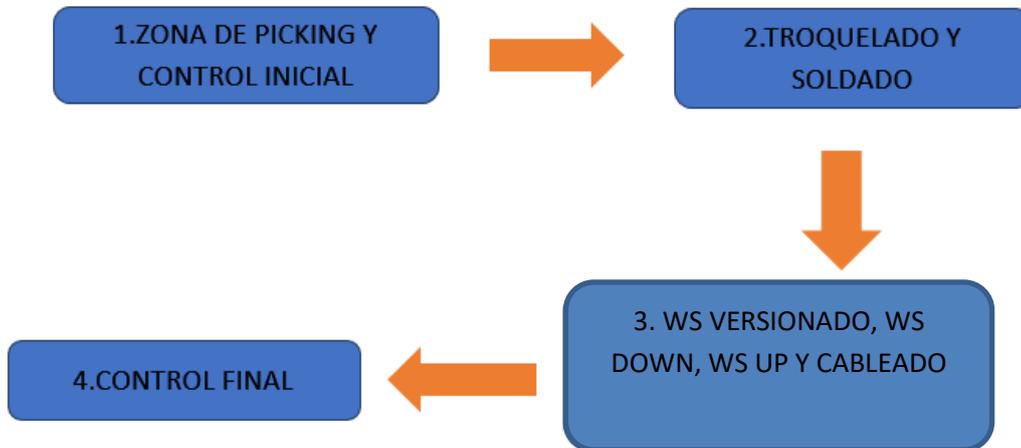


Figura 3: Operaciones línea de montaje

En la Fig 4 se presenta la distribución de esta línea y las diferentes fases.

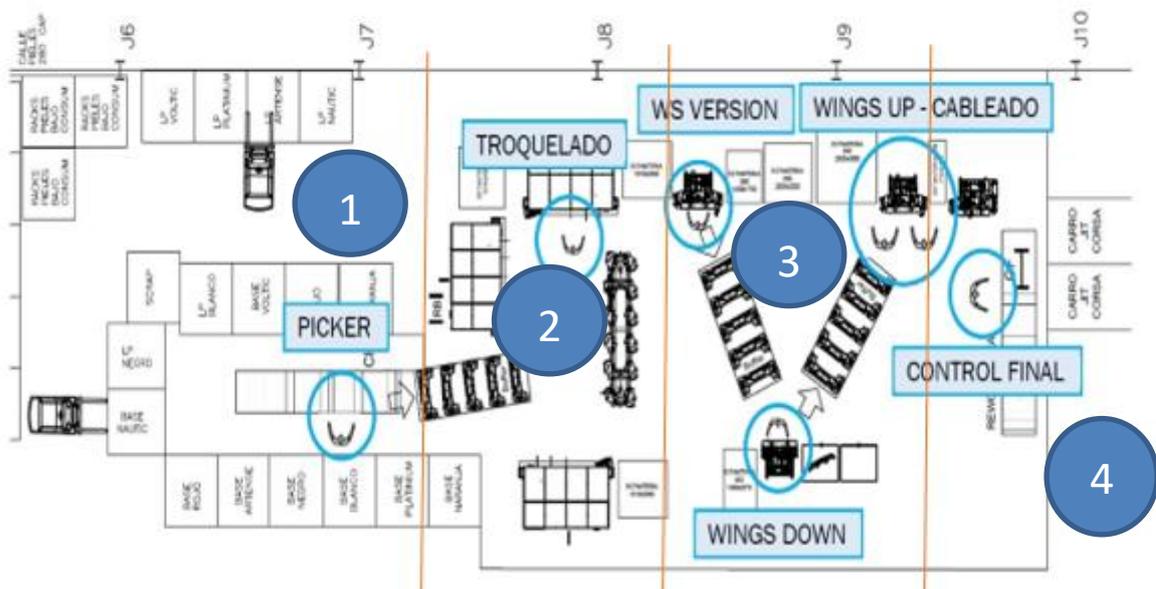


Figura 3: Línea de Montaje

1. APROVISIONAMIENTO DE LA LÍNEA.

El aprovisionador es el carretillero encargado de llevar todo el material desde el almacén, situado fuera de la línea de montaje, a la zona correspondiente de dicha línea. El carretillero recibe las órdenes de aprovisionamiento en su PDA, según se van consumiendo los diferentes componentes de ésta y otras líneas.

En el almacén, recoge un cajón de un componente del rack del almacén que le indica la orden y la deja en la zona de la línea también transmitida en la PDA. La posición de los cajones de cada referencia siempre es la misma y está fuera de la línea (en la parte superior de la Fig. 4).

La PDA le indica qué material tiene que coger y de qué calle, intentando respetar el FIFO. Este operario también se encarga de colocar el material en cada una de las estanterías de la línea y así se evita que los operarios de cada uno de los puestos pierdan tiempo de producción por falta de material o que éstos tengan que colocar correctamente el material en la estantería correspondiente.

2. CONTROL INICIAL.

El primer operario propiamente de la línea coge la piel correspondiente de la orden de fabricación y realiza una inspección completa antes de introducirla en la línea de montaje. Las operaciones de este puesto son:

- OP201: Lee la etiqueta PONO (código de identificación) que identifica la piel, se desplaza al contenedor correspondiente y coge el elemento. Vuelve a su posición y la ubica en el potro de revisión para visualizar posibles defectos. Aunque este elemento es voluminoso, el operario puede, sin problemas, coger y mover la pieza sin necesidad de un sistema de apoyo.

En la Fig. 5 se presenta la zona donde recoge este semielaborado y realiza el resto de tareas del control inicial.

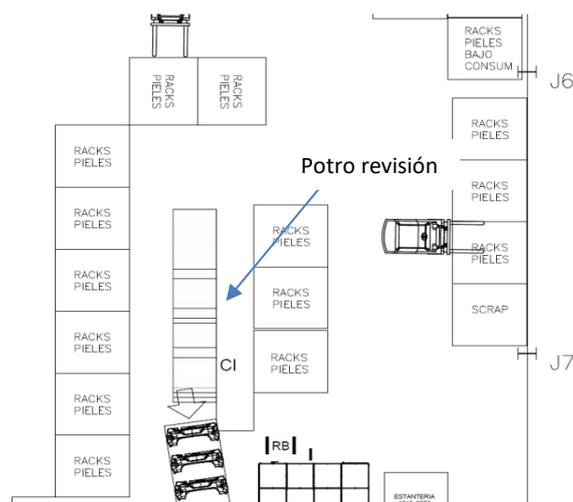


Figura 5: Layout Control Inicial

Las etiquetas (ver Fig. 6) contienen las características del paragolpes que desea el cliente.



Figura 6: Descripción etiqueta

Así, el operario comprueba los números de la etiqueta y la correspondencia entre los elementos que se van a montar y los solicitados:

- 1: Modelo parachoques (basis/sport /eléctrico)
 - 2: Versión valance (Solo en sport)
 - 3: Opción sensores (ASS o SAM)
 - 4: Si viene con cámara
 - 5: Color del paragolpes
- OP202: Revisa la ausencia de defectos estéticos, así como la zona donde se colocarán los end caps tanto en el lado izquierdo como el derecho y la zona de matrícula.
 - OP203: Por último, pega la etiqueta de secuencia en la zona derecha marcada de molde, anota sobre la piel con cera el número de operario y coloca la pieza en la cinta.

3.TROQUELADO Y SOLDADO.

El tercer operario coloca la pieza en la troqueladora para que ésta pueda realizar una serie de orificios donde irán colocados los sensores.

En la Fig.7 se presenta la zona de troquelado donde se pueden observar las 3 troqueladoras. Los paragolpes Base se troquelan en 1 y 2 y los tipo Líne Pack en la 3.

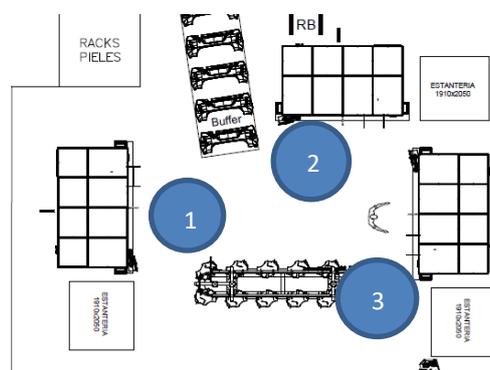


Figura 7: Layout Zona de Troquelado

- OP301: El operario lee la etiqueta de secuenciación presente en el parachoques con una pistola y en la pantalla aparece el versionado de la pieza. A continuación, verifica que la posición de la etiqueta de pintura no provoca interferencias en el troquelado. Si la piel no necesita sensores, se coloca directamente en el carrusel y si los necesita, pasa a la siguiente operación.
- OP302: En primer lugar, se colocarán los soportes indicados en el pick to light, en las posiciones correspondientes en función del versionado, ya que es el software que enciende el visor para señalar al operario que mercancía debe extraer y le indica en su pantalla cuántas unidades se tienen que recoger de la referencia en cuestión. Las posiciones R3, R2, L2 y L3 corresponden al versionado ASS y por último las posiciones R1 y L1 al versionado SAM. Una vez que colocados los soportes según el versionado, el operario comprueba en la pantalla que los soportes están colocados correctamente y pulsará el botón de verificar.

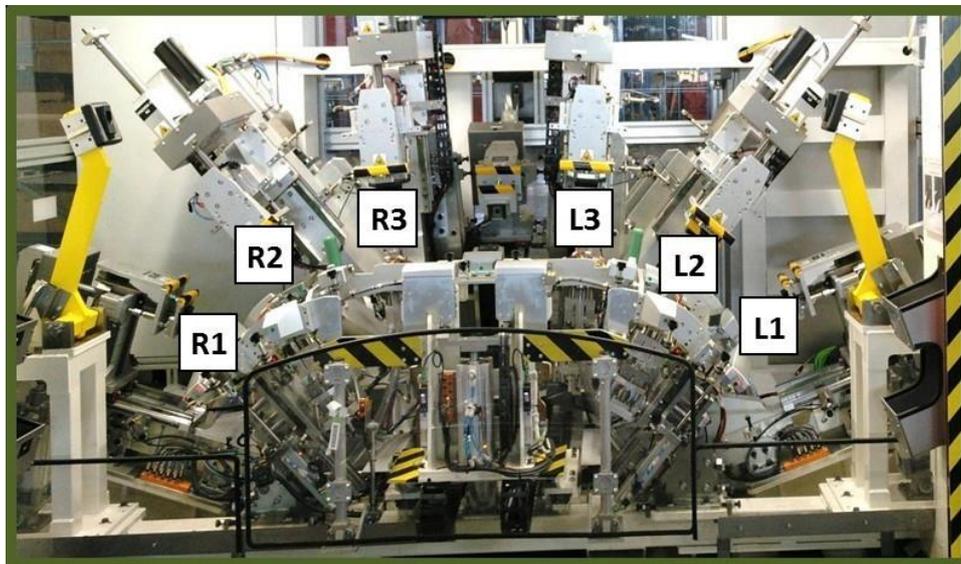


Figura 8: Posición soportes

- OP303: Introduce la piel correspondiente en la cuna (Fig 8.A). El operario se asegura que la piel se ha introducido correctamente (Fig 8.B), los avisos de presencia pieza en la pantalla están en verde. Por último, pulsa el botón de verificar (Fig. 8.C) y espera que termine el proceso de troquelado.

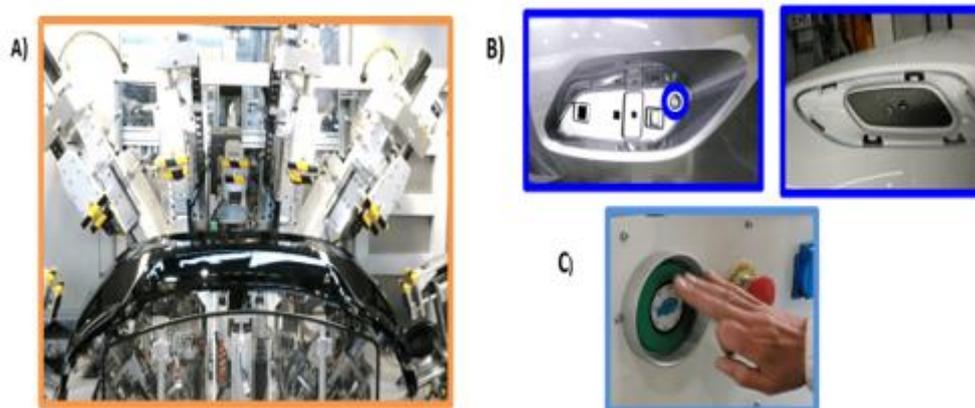


Figura 9: Proceso troquelado

- OP304: En el caso de que la versión lo requiera, coge el embellecedor de la cámara marcado por el pick to light y lo coloca sobre el orificio realizado por la troqueladora (Figura 9.A). Verifica la ausencia de fibras de troquelado y otros posibles defectos de proceso (Figura 10 B). Finalizará cogiendo la pieza y colocándola en el carrusel que hace de almacén intermedio.

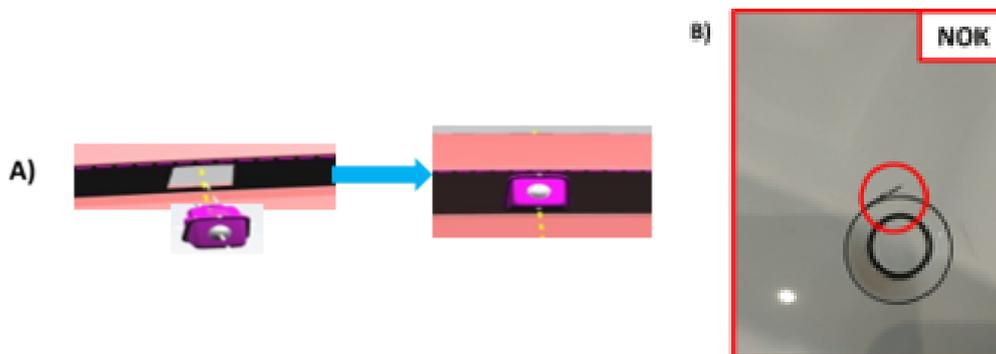


Figura 10: Posicionamiento embellecedor cámara

4. WS VERSIÓN, WS DOWN, WS UP Y CABLEADO.

En esa zona trabajan cuatros operarios cuya función es insertar diferentes componentes según el versionado. Así, el cuarto operario monta los sensores.

- OP401: Toma la pieza del carrusel y estira de la cuerda para avanzar una posición. Posiciona el parachoques en la máquina WS (versionado) y toma los componentes indicados en el pick to light. Si el parachoques no requiere estas opciones se libera al carrusel.
- OP402: Introduce la tapa en el orificio del tubo de escape y coloca las 3 grapas comenzando por las dos grapas inferiores. (sólo para versionado eléctrico)

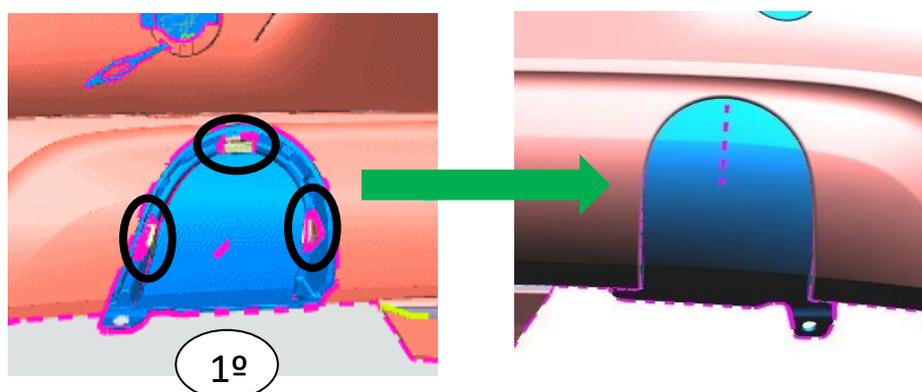


Figura 11: Posición tapa eléctrica

- OP403: Coloca los sensores, presionando en dirección perpendicular al plano del parachoques. Si el versionado lo requiere coloca primero los sensores SAM y a continuación el de los sensores ASS.

- OP404: Introduce la cámara en el embellecedor ya montado en la troqueladora. También introduce y ajusta el bracket de la cámara. Finaliza montando las guías laterales y liberando la pieza para colocarla en cinta.
- Las operaciones asignadas al quinto operario son: inicia su tarea verificando los componentes a montar mostrados en pick to light y/o pantalla. Si el modelo seleccionado es LINE PACK (SPORT), procede a pasar a la operación OP501.1; si el parachoques es BASE, pasa a la OP501.2. Para la correcta elección del Valance toma el indicado en la pantalla.
- OP501: Verifica los componentes a montar mostrados en el pick tu light y/o pantalla. A continuación, coge la pieza de la cinta e introduciéndola en la cuna.
- OP502:
 - OP502.1: Para los paragolpes LINE PACK, coloca el valance encarando primero las patillas para finalmente acabar de cliparlas. Monta los bezels encarando primero las patillas más largas para, a continuación, aproximar el resto de las patillas a su alojamiento. Una vez estén todas las patillas correctamente encaradas, se acabará de clipar. Finalizará con el montaje de reflectores y luces matrícula.
 - OP501.2: Para los paragolpes BASE o eléctrico, monta reflectores y luego las luces matrícula.

La función del sexto operario es insertar el foglamp y cableado en el paragolpes.

- OP601: Coge el parachoques del potro y lo posiciona en la cuna de montaje de la WS y espera que se haga el vacío. Provee el foglamp de la estantería y lo atornilla (par: $2 \pm 0.3 \text{ Nm}$ - 2 tornillos).

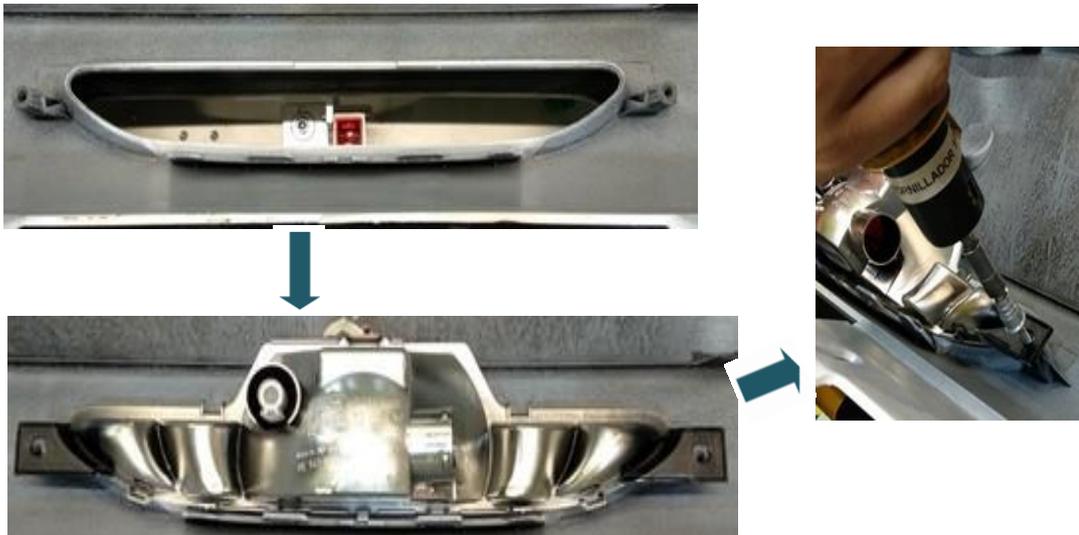


Figura 12: Colocación del foglamp

- OP602: Toma el cable de estantería indicado por el pick to light y escanea el código de etiqueta cableado. Así, realiza el conexionado y grapado de los componentes marcados en amarillo. Finaliza, tomando pieza de la cuna y dejándola en el potro.

El séptimo operario se encarga de colocar correctamente todo el material.

- OP701: Coge el parachoques del potro y lo posiciona en el COBOT.
- OP702: Conecta el test de continuidad para validar la pieza. Mientras, el COBOT hace el ciclo de inspección, termina de conectar y grapa los componentes marcados en azul.

Se adjunta figura del plano dónde se realiza todo este proceso (Fig 13)

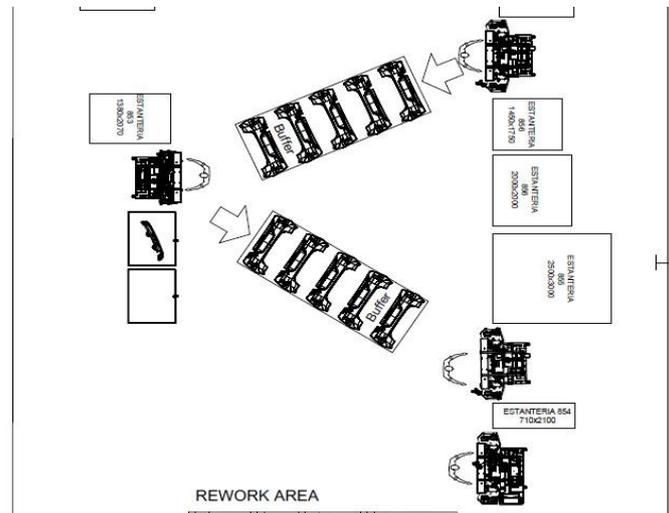


Figura 13: Layout montaje reflector, luces de matrícula y cableado

5.CONTROL FINAL.

Este último operario realiza una inspección final para comprobar que el producto cumple los requisitos antes de ser llevado a cliente.

- OP801: Coge la pieza del COBOT y lo mueve al potro de control final
- OP802: Realiza un control de correspondencia del versionado
- OP803: Inspecciona el interior de la pieza mediante los siguientes pasos:

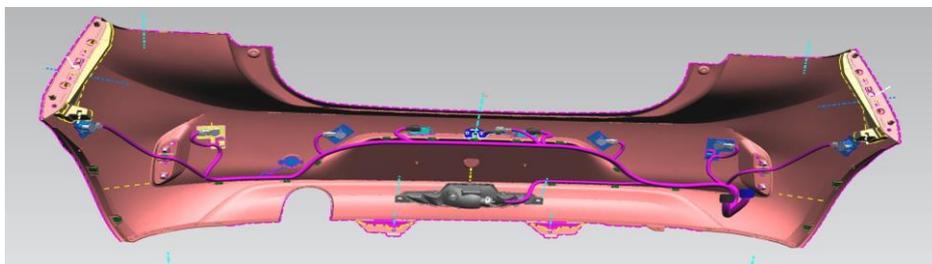


Figura 14: Paragolpes correctamente montado en interior

- OP803.1: Empieza con el análisis de la ausencia defectos zonas derecha e izquierda y correcto montaje de la guía comprobando ausencia de roces, golpes, defectos de pintura y/o inyección. También revisa el correcto clipaje de la guía, del catadióptico y del bezel (en Line Pack) y la presencia de 2 U-nuts, además de su correcto montaje.

- OP803.2: Comprueba el correcto ruteo y fijación del cableado en las zonas derecha e izquierda controlando la presencia y montaje de grapas, grapas centradas en el soporte y totalmente introducidas. Además revisa la ausencia de tirantes en el cableado.
- OP803.3: Examina el correcto montaje Luces matrícula, tapa gancho y de la cámara examinando que los clips se encuentren totalmente ajustados y el cable conectado al sensor y seguro cerrado.
- OP804: Inspecciona la zona exterior de la pieza siguiendo este procedimiento:

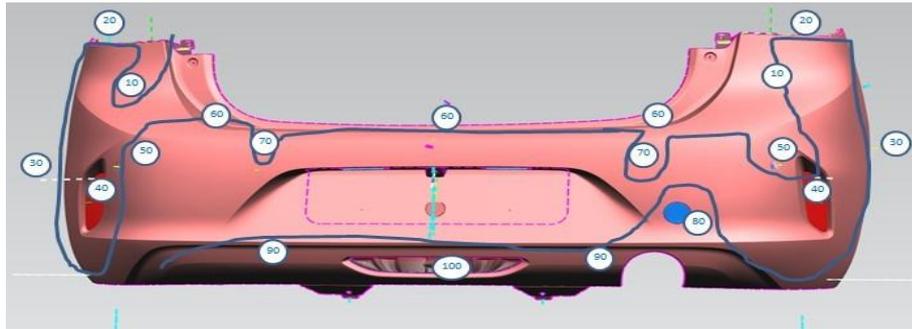


Figura 15: Paragolpes correctamente montado exterior

- OP804.1: Inspecciona zonas derecha e izquierda del paragolpes controlando la ausencia de roces, golpes, defectos de pintura y/o inyección en zona superior aleta, zona end cap portón, contorno y zona paso de rueda. Asegura la colocación del catadióptrico y su ausencia de daños y comprueba el correcto encaje del sensor (si aplica), la correspondencia de color, el correcto troquelado, concentricidad, enrase y correcto estado de la goma.
- OP804.2: Inspecciona la zona central comprobando ausencia de roces, golpes, defectos de pintura y/o inyección. Correcta colocación y ausencia de daños en las luces matrícula. También se comprueba la posición correcta del sensor (si aplica), la correspondencia de color, el correcto troquelado, concentricidad, enrase y correcto estado de la goma. Correcta colocación y ausencia de daños en cámara y soporte de cámara (si aplica), tapa gancho y foglamp.

OP805: Coloca la pieza revisada en el carro JIT. Revisando el estado del carro, sin daños en la estructura ni funcionales. Colocará la pieza con cuidado de no ocasionar ningún daño en el parachoques. Para acabar el proceso de línea, pistolea la orden de secuencia para comprobar correcta colocación de pieza en carro.



Figura 16: Carros JIT

Para acabar la explicación del recorrido se presenta la Fig.17 que hace referencia al control final.

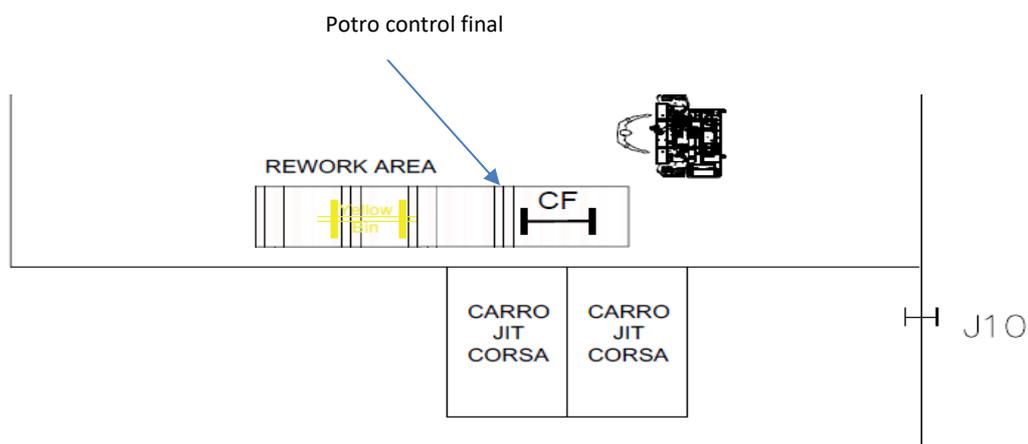


Figura 17:Layout control final

3. ANÁLISIS DE TAKT-TIME

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, el objetivo principal del trabajo es estudiar la eficiencia de la línea de montaje descrita. La razón es el incremento de demanda del cliente, PSA, ya que ha pasado de 350 paragolpes/turno a 365 paragolpes.

Al producirse este cambio, el primer paso es comprobar si con el ritmo actual de producción se cumplen los requisitos del cliente. Para ello, lo primero que se va a realizar es una revisión del tiempo de las operaciones y en base a estos tiempos, calcular el ritmo de producción o takt time.

3.1 MEDICIÓN DE TIEMPOS

El estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos de trabajo y actividades correspondientes a las operaciones de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas, con el fin de analizar los datos y poder calcular el tiempo requerido para efectuar la tarea según un método de ejecución establecido. [Referencias web]

El primer paso para un correcto estudio consiste en definir todas las operaciones en la línea de montaje. Una operación está compuesta por un conjunto de tareas que podrán ser de distintos tipos. Su duración se medirá con un cronómetro quedando registrado el tiempo. Previo a la toma de tiempo, se deberá valorar y asignar la actividad. Para cada operación se deberá tomar un número determinado de mediciones en función de su complejidad, dimensión, repetición e importancia. Aunque en este caso se ha realizado el mismo número de mediciones para cada operación.

Después de realizar mediciones a cada una de las tareas que se realizan por operación. Se va a analizar cada una ellas. Por lo que hay que ser lo más detallista posible para ser justo y evitar que se produzcan desviaciones. Estas mediciones de tiempos se van a realizar durante un mes.

Cuando se tenga todos los tiempos recogidos de cada día de cada una de las tareas, se va a realizar la media ponderada de cada una de ellas.

Una vez realizado este cálculo, se deberá aplicar una serie de parámetros a cada una de ellas, ya que cada operación puede tener diferentes variantes debido a su versionado o componentes a utilizar. Estos parámetros tienen que ver con el esfuerzo del trabajador y el número de veces que el operario realiza esa tarea por turno.

Cuando se habla de esfuerzo del trabajador, se quiere comparar el ritmo real del trabajador con cierta idea que tenga el especialista de lo que debería ser el ritmo estándar; esta idea se debe formar mentalmente al apreciar cómo trabajan de manera natural los trabajadores calificados cuando utilizan el método de ejecución en el que se basa el estudio de tiempos. Para llevar a cabo esta valoración en este estudio, se han empleado una serie de indicadores propios de la empresa para medir el ritmo de trabajo.

Una vez obtenidos los porcentajes del ritmo de trabajo de cada tarea, se van a multiplicar a cada tiempo promedio correspondiente. A este resultado se le llama tiempo básico.

Al tiempo básico de cada tarea se le aplicará el parámetro restante comentado anteriormente. Este se aplica multiplicando el tiempo básico por el porcentaje promedio del número de veces que se realiza cada tarea por turno. Este porcentaje medio es el resultado de la media de cada uno de los turnos que se han analizado. El resultado es el tiempo estándar de cada tarea.

A modo de ejemplo, en la Tabla 4 se presenta el cálculo de una de las tareas de control inicial.

TAREA	DESCRIPCIÓN	TIEMPO PROMEDIO	RITMO DE TRABAJO	Nº VECES (%)	TIEMPO ESTANDÁR
10	Tomar la pieza denominada y ubicarla en el potro de revisión	5,72	1,04	100%	5,94

Tabla 4: Tiempo estándar de una tarea

La suma de tiempos de todas las tareas de la operación equivale al tiempo total estándar de dicha operación. Éste es el equivalente al tiempo de ciclo total de la línea, es decir, tiempo que le cuesta a la línea producir una pieza. En la Tabla 5 se indica el resultado para cada una de las operaciones correspondientes a los diferentes operarios.

OPERACIÓN	OPERARIOS	TIEMPO ESTANDÁR (BASE/ LINE/ELÉCTRICO)
PICKER	OPERARIO 2	52,32 (seg)
TROQUELADO	OPERARIO 3	46,68 (seg)
WS VERSION	OPERARIO 4	55,44 (seg)
WINGS DOWN	OPERARIO 5	49,2 (seg)
WINGS UP	OPERARIO 6	45,12 (seg)
CABLEADO	OPERARIO 7	46,8 (seg)
CONTROL FINAL	OPERARIO 8	58,34 (seg)
	TOTAL (seg)	353,9 (seg)

Tabla 5: Tiempo de ciclo total

3.2 TAKT TIME

En el caso de la línea, el TT es de 67,92 segundos. Para su cálculo se ha visto que cada turno tiene un tiempo disponible teórico de 480 minutos al cual hay que restar el tiempo de pausas y de entrada y salida del operario. Así, el tiempo del que realmente se dispone es de 457,15 minutos. Además, según el tiempo de operación se ha calculado que se puede hacer 53 paracolpes cada hora. Con esto el TT queda:

$$TT = 457,15 / (457,15 \times 53) \times 3600 = 67,92 \text{ segundos}$$

A este ritmo se pueden fabricar 362 parachoques por turno, lo que permite cumplir con la demanda del cliente de 350 parachoques por turno dando un cierto margen en caso de avería.

Tras el cambio de solicitud de demanda, se aprecia que al ritmo que se estaba produciendo no se llega a cumplir con la demanda actual de 365 coches hora. Por lo que se incrementó el ritmo a 54 coches hora, produciendo un total 371 coches, dando un margen algo más corto pero suficiente para que en caso de parón poder cubrir las necesidades solicitadas.

Para llevar a cabo este proceso hay que calcular el nuevo takt time, aplicando la fórmula empleada anteriormente.

$$TT = 461,05 / (461,05 \times 54) \times 3600 = 66,67 \text{ segundos}$$

Gracias al cálculo del takt time vamos a poder calcular los porcentajes de saturación de cada operación.

3.3 PORCENTAJE DE SATURACIÓN

El porcentaje de saturación define el rendimiento del operario en la línea durante el turno de trabajo. Este debe de ser inferior a 95 debido a que el operario tendrá una gran carga de trabajo y no va a poder rendir a un nivel aproximado durante todo el turno.

Para calcularlo se divide el tiempo de ciclo de cada operación entre el TT:

$$\text{Porcentaje de Saturación} = 100 * \text{Tiempo de ciclo de operación} / \text{Takt time}$$

En la Tabla 6 se presenta los datos de saturación de la línea en la situación inicial (53 coches/hora).

	TAKT TIME (seg)
OPERARIO	67,92
	% Saturac.
PICKER	77%
TROQUELADO	69%
WS VERSION	82%
WINGS DOWN	72%
WINGS UP	66%
CABLEADO	69%
CONTROL FINAL	86%

Tabla 6: Porcentaje saturación por operación (53 coches/hora)

Como se aprecia en la tabla número 6, estos porcentajes de saturación se sitúan todos por debajo del 95% por lo que se encuentran en unas condiciones de trabajo aceptables. También se observa porcentajes por debajo del 70 por ciento, por lo que habría que estudiar la forma de incrementarlos, como se ha hecho detenidamente en apartados anteriores.

4. OEE

El OEE es un indicador que mide la eficacia de los sistemas industriales y que se utiliza como una herramienta clave dentro de la cultura de mejora continua. Sus siglas corresponden al término inglés “Overall Equipment Effectiveness” o “Eficacia Global de Equipos Productivos”. [Referencias web]

Esta herramienta es capaz de indicar, mediante un porcentaje, la eficacia real de cualquier proceso productivo. Esto es un factor clave para poder identificar y paliar posibles ineficiencias que se originen durante el proceso de fabricación.

Para poder establecer el valor del OEE será necesario calcular las siguientes variables.

- **Disponibilidad**

La disponibilidad mide el tiempo que se va a emplear en la línea de montaje. Así, la disponibilidad para un periodo de producción determinado se calcula como el cociente entre el Tiempo Productivo y el Tiempo Disponible, siendo el Tiempo Productivo el resultado del tiempo total menos el tiempo perdido por descansos, reuniones, etc... y el tiempo disponible es el tiempo total que empleamos en la línea.

$$\text{Disponibilidad} = (\text{Tiempo productivo} / \text{Tiempo disponible})$$

La disponibilidad puede verse afectada por paradas, reuniones, averías, etc.

- **Rendimiento**

El rendimiento mide la capacidad de producción y trabajo de la línea de montaje. El porcentaje de rendimiento se obtendrá con el cociente de la Producción Real, entre la Capacidad Productiva, para un periodo de producción determinado. El rendimiento se ve afectado por las micro-paradas y la velocidad reducida.

Para hacer el cálculo del rendimiento correctamente, hay que dividir los paragolpes producidos y los que se podrían haber fabricado. La capacidad productiva es el resultado de multiplicar el número de paragolpes que se puede realizar durante una hora por el tiempo productivo.

$$\text{Rendimiento} = (\text{Producción Real} / \text{Capacidad Productiva})$$

- **Calidad**

La calidad mide si el producto cumple los requisitos de cliente. En este caso, la falta de eficiencia por temas de calidad es el cociente entre la Producción Buena y la Producción Real. El porcentaje de calidad se ve lastrado por re-trabajos o piezas defectuosas.

$$\text{Calidad} = (\text{Piezas Buenas} / \text{Producción Real})$$

La producción de unidades defectuosas interviene, traduciéndose en pérdida de calidad. Esto también tiene repercusión en nuestro tiempo de producción originando pérdidas.

Una vez calculadas las 3 variables, se procederá a calcular nuestro OEE:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad}$$

de manera que según sea este valor, la línea se puede clasificar en

1. Si $\text{OEE} < 65\%$: INACEPTABLE, ya que se producen importantes pérdidas económicas y la competitividad es muy baja.
2. $65\% < \text{OEE} < 75\%$: REGULAR, sólo puede considerarse aceptable si se está en proceso de mejora.
3. $75\% < \text{OEE} < 85\%$: ACEPTABLE, es un valor que puede aceptarse siempre que se continúe hacia la mejora continua.
4. $85\% < \text{OEE} < 95\%$: BUENA, buena competitividad.
5. $\text{OEE} > 95\%$: EXCELENCIA.

Una vez comentado el significado del OEE y su cálculo, se pasará a la aplicación real de este proceso.

4.1 CALCULO OEE

Para evaluar la actuación global de todo el proceso de montaje se deberá tener en cuenta el indicador explicado anteriormente. A continuación, se va a explicar de manera detallada como se calculan todas las variables que se necesitan.

Así, empleando los datos recogidos en el medidor de eficiencia empleado por la empresa llamado Direct Labour Efficiency (DLE), no se puede obtener un OEE inicial, ya que no se tiene en cuenta ni la disponibilidad, ni calidad del producto. Sin embargo, sí que podemos calcular el rendimiento a partir de los tiempos recogidos en el archivo. Aplicando la siguiente fórmula y en base a los datos de febrero-2020, el rendimiento de la línea es del 86%.

$$\text{Rendimiento} = (\text{Producción Real} / \text{Capacidad Productiva})$$

4.2 CALCULO Y REVISIÓN DEL OEE ACTUAL

Al inicio de este trabajo, la empresa manejaba un OEE del 89,14%, pero se va a revisar si se mantiene. En una primera aproximación, ya se ve que el OEE puede no ser correcto debido a que, aunque se tenga en cuenta la abstención, no se incluyen tiempos ineficientes, mudas... que afectarían al tiempo disponible.

Primero calcula el porcentaje de disponibilidad, a partir de los datos obtenidos en los meses de enero y febrero. La línea se encuentra en funcionamiento durante 22,3 días al mes. Cada día se compone de tres turnos de 8 horas cada uno.

El tiempo dirigido al absentismo hace referencia a toda aquella ausencia o abandono del puesto de trabajo. Este se aproxima al 5% del tiempo disponible, resultando 26,77 h/mes. Este porcentaje de absentismo es obligatorio, ya que se encuentra dentro de la política de empresa.

Pasando el tiempo total invertido a horas se obtienen 535,3 h/mes. Este dato del DLE es la cantidad de horas totales que hemos empleado para realizar las órdenes de trabajo de un mes.

El tiempo dedicado a los descansos se aplica a todos los operarios de la línea, quedando la producción parada. Siendo este tiempo de 35 minutos durante las 8 horas. Esos 35 minutos se dividen en 3 descansos durante el turno, a este tiempo cabe añadir el tiempo de limpieza y cambio de turno dando un total de 10 minutos, que la suma total equivale a 50,17 h/ mes.

Tras obtener las pérdidas de tiempo, podemos calcular el tiempo disponible que es el resultado de la resta entre el tiempo total invertido y las pérdidas de tiempo.

$$\text{Tiempo disponible} = 535,5 - 26,77 - 50,17 = 458,56 \text{ h/mes.}$$

Dentro de las horas de carga, se han calculado en función de las piezas que realizamos por hora.

Dentro de las horas de carga, se han calculado en función de las piezas que realizamos por hora dándonos un total de 450,32 h/mes.

Con todos estos datos obtenemos el tiempo disponible dándonos $535,5 - 26,77 - 50,17 = 458,56$ h/mes.

La disponibilidad se calcula como se ha explicado en apartados anteriores. Se divide las horas del tiempo productivo entre tiempo disponible.

$$\text{Disponibilidad} = (458,56 / 485,33) \times 100 = 94,48\%$$

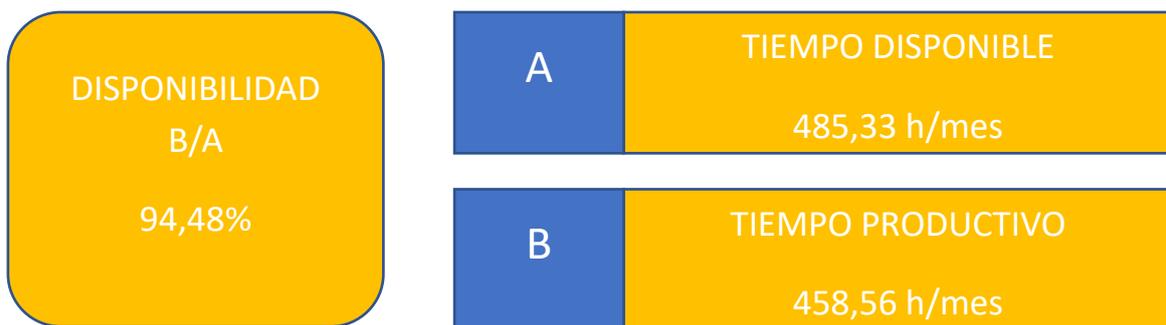


Figura 5: Calculo de porcentaje de Disponibilidad

El rendimiento de este proceso también se calcula con los datos obtenidos en los meses de enero y febrero en la forma comentada anteriormente. Dentro de las horas de carga, se han calculado en función de las piezas que realizamos por hora dándonos un total de 458,56 h/mes.

Durante ese mes se ha producido un total de 23701 paragolpes, que equivale a un tiempo de producción de 447,18 h/mes. Esto es debido a que el ritmo de producción al que se debe fabricar para cumplir con la demanda de cliente es de 53 paragolpes por hora.

La velocidad máxima a la que puede trabajar la línea es de 58 piezas/ hora. Para obtener el rendimiento se aplica la fórmula explicada anteriormente.

$$\text{Rendimiento} = (23701 / (458,56 \times 58)) \times 100 = 89,11\%$$

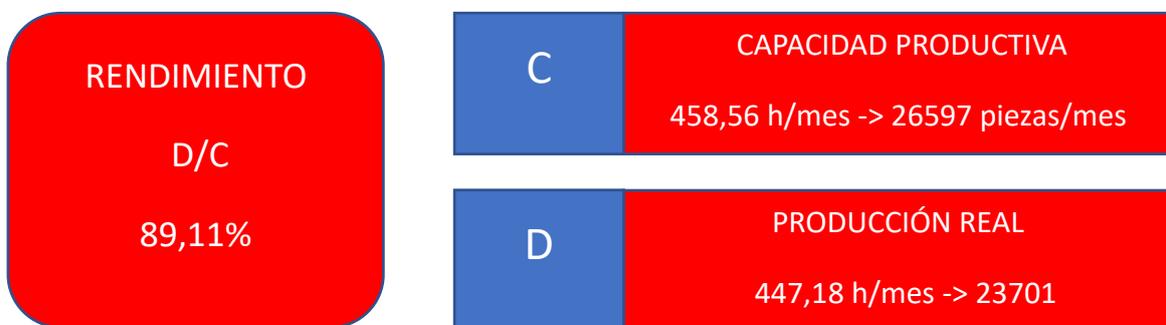


Figura 6: Calculo de porcentaje de Rendimiento

La calidad no se contabiliza de ninguna forma en el DLE, por lo que se da por hecho una calidad de producto final del 100%, algo que es completamente ajeno a la realidad.



Figura 7: Porcentaje de Calidad

Para obtener el OEE, se tendrá que multiplicar el porcentaje de las tres variables obtenidas, el rendimiento, disponibilidad y calidad.

$$\text{OEE} = 89,11 \times 94,48 \times 100 = 84,19\%$$

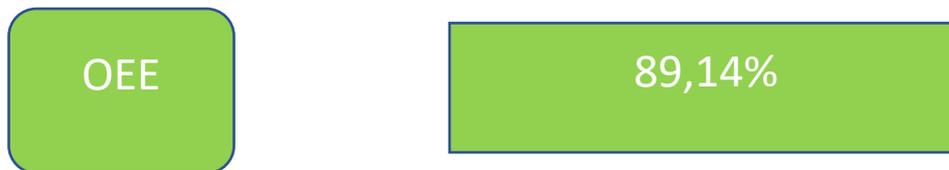


Figura 8: Resultado OEE basado en el DLE

Ahora que ya se ha realizado el cálculo del indicador OEE basado en el DLE, se va a pasar al cálculo del OEE real.

4.3 CALCULO OEE REAL

Para definir el punto de partida y realizar una valoración lo más cercana a la realidad, se va a obtener la disponibilidad del producto, la calidad del proceso de línea y el rendimiento, en base a las mediciones realizadas en cada puesto, además de correcciones en los datos DLE.

Para definir una correcta estimación de calidad relacionada con el puesto, se recogen todos los datos obtenidos de las devoluciones realizadas de paragolpes de clientes y Scrap total de paragolpes, dándonos un total de 146 recorridos en el último mes. Estos errores de calidad pueden estar relacionados con el montaje en el puesto.

$$\begin{aligned} \text{Calidad} &= (\text{Piezas totales} - \text{Piezas defectuosas}) / \text{Piezas totales} = (23847 - 146) / 23847 \times 100 \\ &= 99,3\% \end{aligned}$$

Este porcentaje de calidad tan alto se debe a que todos los productos que pasan por la línea de montaje no son producidos en el SILS.

Antes de que estos productos lleguen al almacén, pasan por altos controles de calidad, por lo que el Scrap obtenido se debe a caídas de productos en línea o devoluciones de cliente por mal montaje o golpes durante el traslado en los carros JIT a cliente.

Posteriormente, se obtiene el tiempo de ciclo. El resultado de 20 minutos por turno es la suma de todos los parones de línea debido a espera de carros jit, fallos de máquina y tiempo hasta primeras piezas ok en máquina. Para cumplir la demanda de cliente solicitada de 350 paragolpes por turno, se trabaja a 53 piezas/hora. De esta manera, se consigue cumplir los objetivos de cliente y obtener algo más de producción en caso de avería. Una vez definido este valor obtenemos el rendimiento real.

En la Tabla 7 vemos como se ha calculado el tiempo disponible medio real de cada turno.

TURNO	
Linea de montaje	
480 min	Disponible
35 min	Descansos
10 min	Cambio de turno y limpieza
5 min	Espera carro JIT
15 min	Averías
5 min	Primeras piezas Ok
410 min	Total tiempo disponible
350	Demanda de cliente
350,9 s	Tiempo de ciclo
360	Paragolpes por turno
67,75 s	Takt Time
53 piezas / hora	Velocidad empleada
58 piezas/ hora	Velocidad máxima línea

Tabla 7: Tiempos de producción inicial

Con todo ello, se calcula el tiempo disponible dando un valor de 410 minutos/turno = 457.15 h/mes, y el valor del rendimiento es 91,3%.

$$\text{Rendimiento} = (24224 / (457.15 \times 58)) \times 100 = \mathbf{91,3\%}$$

Se recalcula la disponibilidad ya que se ha modificado el tiempo productivo.

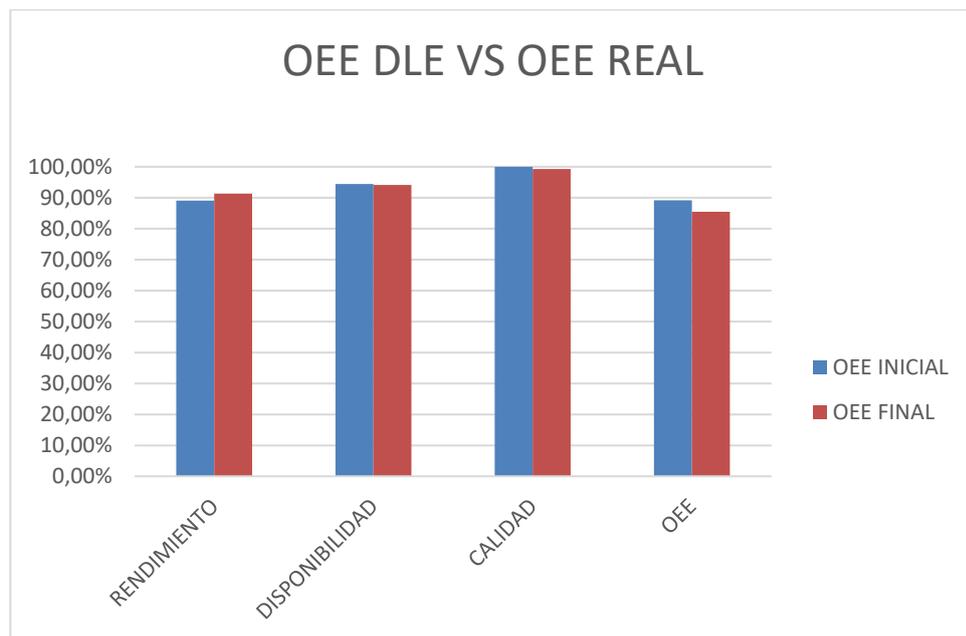
$$\text{Disponibilidad} = (457.15 / 485,33) \times 100 = \mathbf{94.1\%}$$

Por último, sólo queda determinar el valor del OEE real.

$$\text{OEE} = 99,3 \times 91,3 \times 94,1 = \mathbf{85,49\%}$$

4.4 COMPARACIÓN

En la Gráfica 1, se muestra una comparativa del OEE inicial según los datos vistos en el DLE y el OEE actualizado. En este caso, vemos que las tres componentes se han modificado dando un resultado del OEE diferente e inferior a los datos obtenidos en el DLE. Ambas son situaciones ideales, aunque se va a buscar situaciones de mejora para obtener un OEE superior y que permita disminuir el TT.



Gráfica 1: Comparación del OEE DLE con el OEE REAL

5. ESTUDIO DE OPORTUNIDADES DE MEJORA

El objetivo de este estudio es intentar mejorar el rendimiento de la línea para cumplir con la demanda de cliente. El porcentaje actual del OEE es alto, pero se va a buscar una mayor eficiencia para cumplir el objetivo.

Para ello, se define el sobretiempo que se emplea en cada puesto. Se emplea un método basado en tiempos y materiales para observar las necesidades de cada puesto marcadas por la producción y así poder marcar objetivos específicos de mejora. Todo esto se aplica implantando el método Lean Manufacturing.

Lean Manufacturing es un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación de actividades que no agregan valor en un proceso, pero si implican costo y esfuerzo. La principal filosofía en la que se sustenta el Lean Manufacturing radica en la premisa de que «todo puede hacerse mejor»; de tal manera que en una organización debe existir una búsqueda continua de oportunidades de mejora. [Referencias web]

Como resultado, una organización que aplique Lean Manufacturing debería ajustar su producción a la demanda, en el momento y las cantidades que sean solicitadas, y con un costo mínimo. En consecuencia, Lean Manufacturing puede definirse como una filosofía de producción que agrupa un conjunto de técnicas que nos facilitan el diseño de un sistema para producir y suministrar en función de la demanda, con el mínimo costo, una calidad competitiva y alta flexibilidad.

5.1 ANALISIS DE MUDAS Y DESPILFARROS

El propósito de este apartado es el estudio de todas las tareas implicadas para la obtención del producto. Con el análisis del proceso productivo se definen las mudas, identificando así los despilfarros que disminuyen el OEE.

Las fuentes que pueden dar problemas a simple vista son la colocación de maquinaria y material, ya que los operarios pueden retrasar tiempos de ciclo a los que se tiene previsto. Otras posibles fuentes son el acceso a los contenedores de bajo consumo y la carga de trabajo del operario que se encuentra en el puesto del Versionado.

El operario del versionado se encuentra en numerosas ocasiones parado, debido a la carga de trabajo que tiene el siguiente puesto de trabajo. Además, se tendrá que observar el puesto donde se encuentra el cuello de botella (Wings Down).

Para identificar y minimizar estas ineficiencias, se va a analizar cada una de las operaciones.

MUDA 1: APROVISIONADOR

El aprovisionador para llevar las piezas a la línea, necesita ir al almacén donde se depositan las piezas. Este tiene que hacer largos recorridos para recoger el material y colocarlo en la línea. Además, se va a revisar si el almacén es caótico, es decir, saber si el material no tiene una posición fija y se deja donde se encuentra un hueco libre. Esta situación ocasiona muchas pérdidas de tiempo, además de no respetar el FIFO ya que se pueden encontrar piezas de hace varios meses en el almacén y en la línea piezas recién llegadas a la empresa.

MUDA 2: PICKING Y CONTROL INICIAL

En esta operación, se tiene que analizar la colocación correcta de los contenedores en función del consumo de color, debido a que en la operación 201 se producen desplazamientos, y una mala colocación puede ocasionar una ralentización del tiempo de ciclo.

MUDA 3: TROQUELADORA

Cuando se utilizan las troqueladoras, se debe tener en cuenta que en las operaciones 302, 303 y 304 también se producen desplazamientos. Por ello, el posicionamiento de las tres máquinas de esta operación se realizará en función de su consumo de pieles ya que una mala posición de estas máquinas puede no respetar el tiempo de ciclo. También habrá que tener en cuenta la colocación de los soportes de todos los versionados siguiendo el mismo procedimiento.

MUDA 4: WINGS VERSION

Cuando se llega a esta operación, se ha observado que en la operación 401 se producen desplazamientos. Por lo que se tiene que estructurar también la estantería de material de este puesto por consumos.

MUDA 5: WINGS UP

En esta operación el operario tiene poca carga de trabajo, esto afecta o disminuye el proceso de producción, debido a que el operario tiene un bajo porcentaje de saturación. Por ello, habrá que estudiar cómo aumentar la productividad de este operario o, en su caso, eliminar este puesto incrementando la saturación de los demás operarios.

MUDA 6: WINGS DOWN

Esta operación tiene un tiempo de ciclo muy similar al anterior, por ello se analizará esta operación detenidamente, pudiendo aumentar las funciones de este operario o eliminarlo incrementando el número de tareas a los demás operarios. Además, en la operación 601 se producen desplazamientos por lo que se tendrá que analizar la colocación del cableado en las estanterías en función de su consumo.

MUDA 7: CONTROL FINAL

Aunque esta operación tiene un rendimiento bastante alto, hay problemas a la hora de depositar pieles debido a que los carros que se emplean para apoyar y enviar a cliente se completan rápidamente, impidiendo así la deposición del material parando varios puestos de trabajo.

5.2 IMPLANTACIÓN DE MEJORAS

MUDA 1: APROVISIONADOR

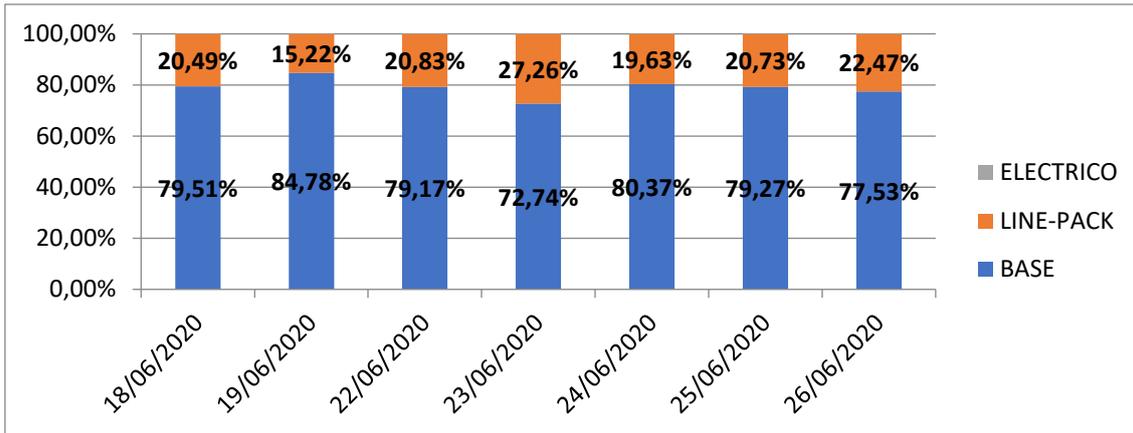
Para que el aprovisionador se le facilite el almacenamiento y recogida de material para llevarla a línea, se deberá tener el almacén estructurado por calles. Así, cada calle deberá tener un espacio asignado para cada referencia de material. Cada espacio tendrá un cartel con el nombre e imagen del material que se va a depositar. Independientemente del material, deberá respetar siempre el FIFO.

Para que este procedimiento se lleve a cabo, la PDA del aprovisionador indicará la calle donde deberá coger el material.

Este criterio ya estaba implantado en el almacén, por lo que se evitarán posibles pérdidas de tiempo a la hora de encontrar el material y se conseguirá que el material más antiguo se lleve a la línea de montaje.

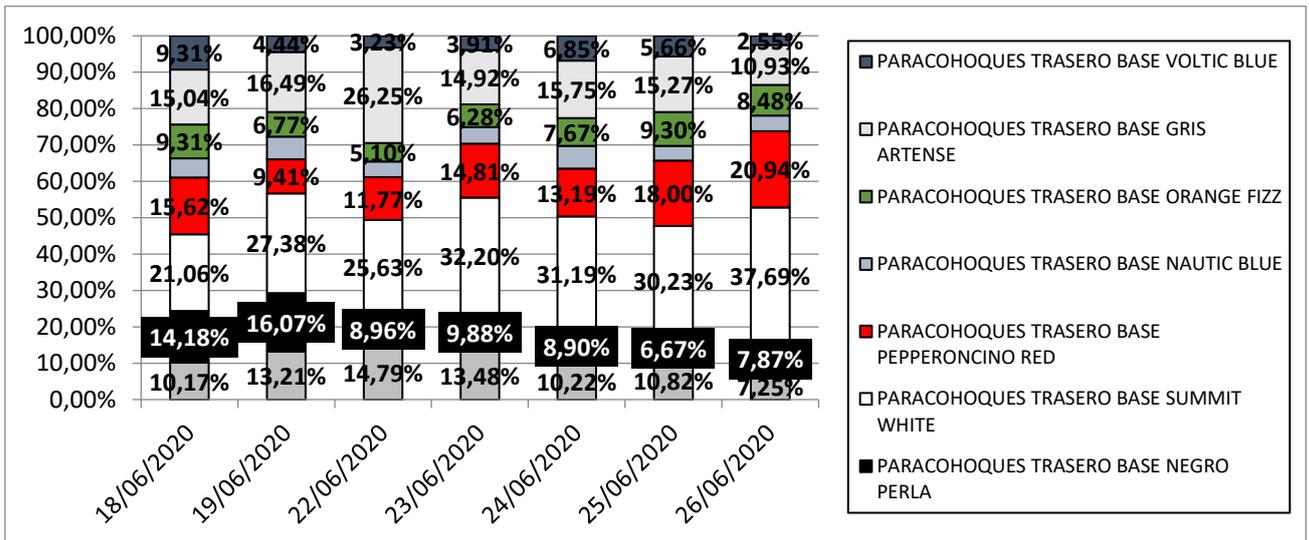
MUDA 2: PICKING Y CONTROL INICIAL

En la zona de picking y control inicial donde se deposita los paragolpes, se tendrá que estudiar la colocación de los contenedores de pieles. Para tener un correcto posicionamiento de los contenedores, se va a calcular cuál de estos dos tipos de paragolpes tiene mayor consumo a partir de la demanda semanal. Para ello, se crea una tabla (Gráfica 2) que se adjunta a continuación donde se ve el consumo de ambos. En esta gráfica se ve que los paragolpes base tienen un mayor consumo que los line pack, por lo que las pieles base tendrán una posición más cercana al potro de revisión.

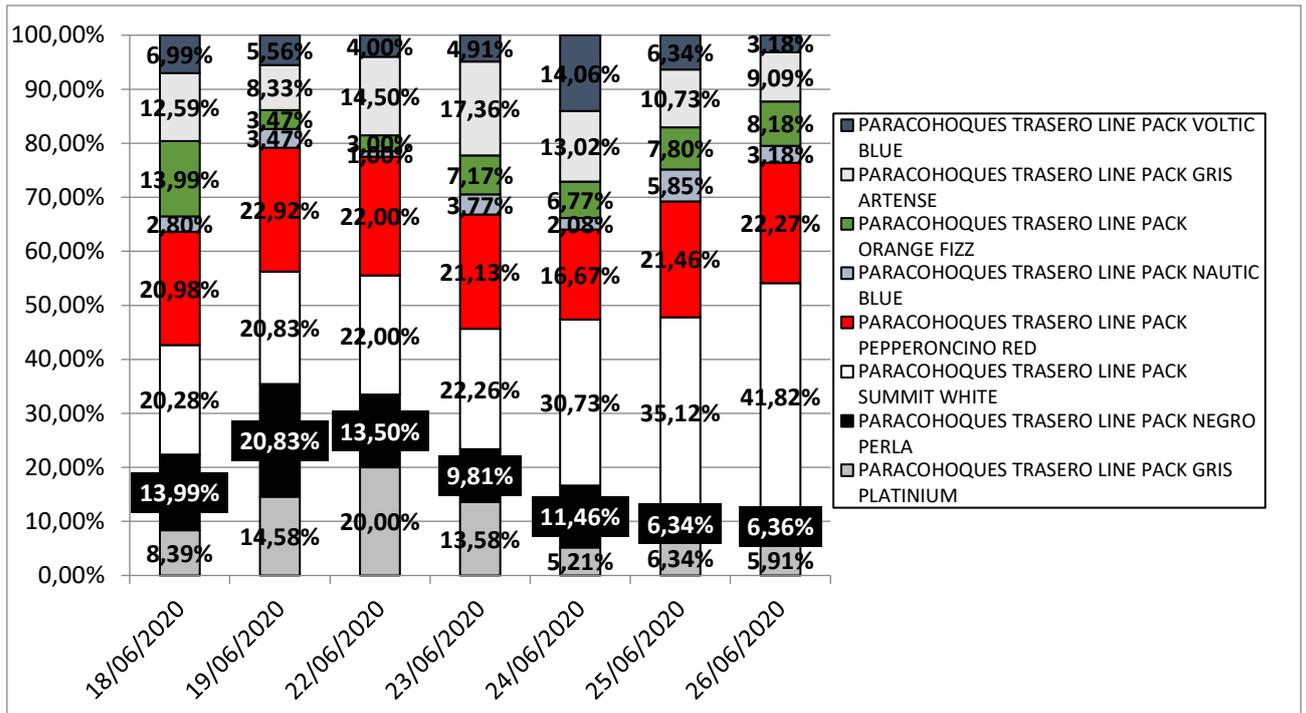


Gráfica 2: Porcentaje consumo mensual

El siguiente paso es analizar los colores más consumidos para colocarlos más cerca. En base a la demanda semanal, se realiza el gráfico del consumo (Gráfico 3 para los paragolpes tipo base y 4 para los tipo Line)



Gráfica 3: Porcentaje de consumo por color versionado Base



Gráfica 4: Porcentaje de consumo por color versionado Line Pack

Como conclusión, se observa que los colores más consumidos son el blanco y rojo, por lo que deberán estar lo más cerca del potro de revisión. Si se visualiza figura 22 que se adjunta seguidamente, los contendores deben emplazarse a ambos lados del potro y a la misma distancia. Los colores restantes se ubicarán a continuación del blanco y rojo, tanto a la izquierda como a la derecha, situándolos por orden de porcentaje de consumo, los que tengan mayor porcentaje de consumo serán los más cercanos al potro de revisión.

Una vez colocados las pieles base, se colocarán las pieles Line pack. Estas se situarán algo más lejos de las pieles base y justo donde tenemos a ambos carretilleros en la figura 22. Se ordenan según el porcentaje de consumo de la gráfica 4.

Como se ve en la figura 22 los que deberían estar más pegados al potro son los Orange y los Red. En la zona algo más alejada empezaremos poniendo en la esquina inicial donde se lee en la misma figura J7. Los White que es el tercer color más consumido y a su lado todos los colores restantes ordenándose en función de su consumo hasta que el menos consumido este más próximo a J6.

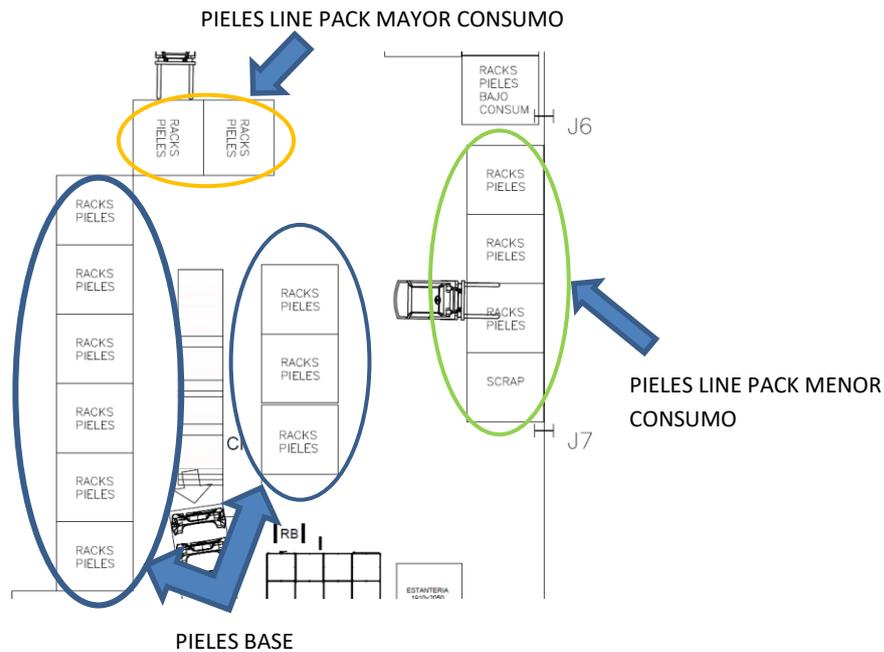


Figura 22: Layout zona control inicial

Este criterio ya estaba implantado en la línea de montaje, por ello la posición de los contenedores son las más favorables para tener unos tiempos de operación satisfactorios.

A la hora de implementar este criterio, se detectó la dificultad para acceder a los contenedores de bajo consumo. Para evitar este problema se han desplazados los peines para que estos sean mucho más accesibles.

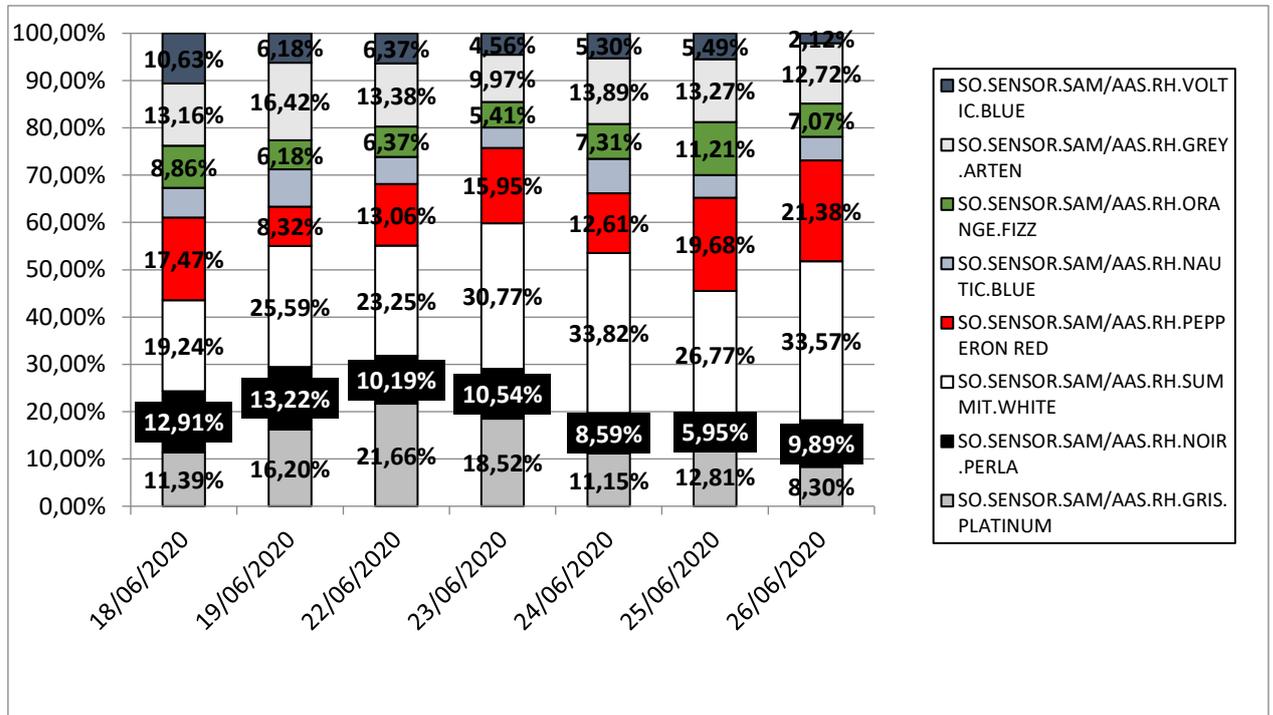
MUDA 3: TROQUELADORA

Para el correcto análisis de esta operación, se tendrá que investigar la ubicación correcta de las máquinas. Para ello, se tendrá que estudiar la gráfica de consumos de paragolpes en función de su versionado.

Así, teniendo en cuenta que los base son el producto más consumido con gran diferencia, se tendrá que colocar las máquinas del base lo más cercano a la cinta, es decir, a ambos lados de la cinta para que el operario tenga que desplazarse lo menos posible y así ser más eficiente. Además, es razonable que se empleen dos máquinas para el base debido a que se perdería mucho tiempo si tuviéramos que esperar a que acabe el proceso de troquelado de una única máquina.

Como se tiene un consumo menor de los productos Line, esta máquina se situará algo más alejada que el resto, ya que es la máquina que va a tener un menor uso.

En el lateral de cada máquina, se encuentra una estantería de varias alturas donde el carretillero deposita los soportes. Estos también deberán colocarse en función del consumo de los sensores. Los más consumidos, deberán situarse lo más cercano a la máquina y en una posición cómoda para que el operario no tenga que realizar movimientos bruscos. A partir de junio, en la Gráfica 5 se presentan de consumos actuales para observar las posiciones en las que deberían colocarse los soportes en la estantería, ya que estos varían poco con respecto al mes de octubre.



Gráfica 5: Consumo de sensores

Como se puede ver los soportes de color blanco son los más consumidos, seguidos del rojo y platinum. Por ello, deberán estar lo más cercano a las máquinas. El color más consumido se situará en la estantería central que es la más cómoda.

En la parte que se encuentra algo más elevada de la estantería, se sitúan los soportes de algo menos de consumo, ya que es una posición algo más forzada, es decir, cuanto menor es el consumo más arriba debe situarse, ya que puede producir mayor cansancio en el operario.

Por último, los que tengan menor consumo se deberán colocar en las filas restantes siguiendo el mismo criterio.

Esta manera de proceder ya estaba implantada en la línea de montaje, por ello la posición de las máquinas y de las estanterías son las más favorables para tener unos tiempos de operación satisfactorios.

A continuación, en la Fig 23 y 24 se presenta cómo se está llevando a cabo.



Fig 23: Estantería soportes Base



Fig 24: Estantería soportes Line Pack

MUDA 4: WINGS VERSION

En esta etapa, también se deberá tener en cuenta el consumo de los sensores ya que se van a insertar en esta operación. Colocándose los más consumidos lo más cerca de la línea, al tener estanterías de similar altura, se mantendrá el mismo criterio que la operación anterior.

MUDAS 5 y 6: WINGS UP Y WINGS DOWN

En estas operaciones, como se ha comentado anteriormente son poco productivas. Al encontrarse estas dos operaciones seguidas, se ha intentado unir las en solo una operación y que se conseguiría eliminar un operario de la línea y se aumentaría el rendimiento del operario restante.

Tras varias pruebas, no se ha podido llevar a cabo esta operación debido a que el tiempo de operación resulta muy superior al TT, por lo que resulta imposible seguir con las exigencias demandadas por el cliente. Así, el operario tendría un porcentaje saturación del 135 % impidiendo un buen rendimiento durante su turno de trabajo. Por todo ello, resulta necesario mantener a ambos operarios realizando las mismas acciones que estaban realizando hasta ahora.

En el puesto de Wings Up se coloca el cableado. Como en operaciones anteriores a su izquierda hay una estantería donde se cogerán los cables para ser colocados en el paragolpes.

En esta estantería de tres alturas, éstas se encuentran ordenadas por versionado en función del número de sensores que se empleen. Cuantos más sensores se empleen, más cerca se encontrará de la máquina para un menor recorrido.

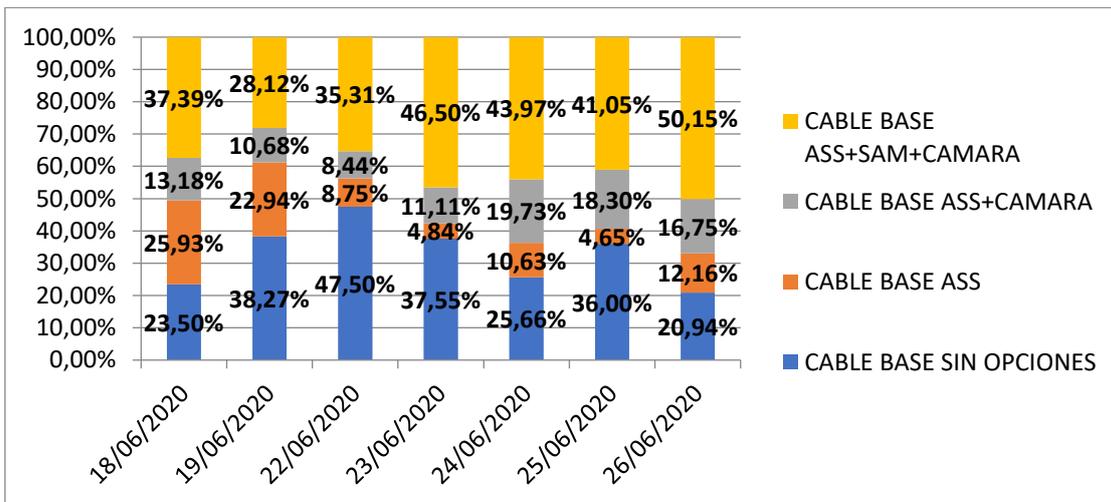
Por lo que los cables no están colocados en la estantería en función de su consumo.

Aunque si se observa que en la parte más alta de la estantería se sitúa el cableado Base, que es la versión más consumida y tiene la posición más cómoda para recoger el material. En el medio las del versionado Line y en el más bajo los eléctricos debido a su bajo consumo.



Figura 25: Estantería cables

Esta forma de proceder puede llevar a pérdidas de tiempos debido al recorrido que realiza el operario a la hora de recoger el material y volver a su puesto. Para comprobar si se está en lo cierto se va a sacar los consumos de los cableados y en función de este consumo se redistribuirá la estantería de mayor a menor consumo, ya que la distribución por versionado de paragolpes es correcta.



Gráfica 6: Consumo de cableado

Según la Gráfica 6 se observa que los cables con el Versionado ASS + SAM + CÁMARA son los más consumidos por lo que deberán situarse lo más cerca posible de la máquina y no lo más alejado como este se encontraba. Seguidamente se situarán los cables sin opciones ya que son los segundos más consumidos y así sucesivamente con el resto de los tipos de cable.

Una vez que se hayan producido estos cambios, se va a realizar una medición de tiempos para esta operación para ver qué cambios se han producido.

Al aplicar el procedimiento para el cálculo de tiempos explicado en apartados anteriores, se obtiene como resultado un tiempo estándar de 44,50 segundos. Este tiempo es algo menor al que teníamos antes, lo que supone que el tiempo de ciclo sea menor.

Otra cuestión importante es que se ha reducido el porcentaje de fatiga del operario en ese puesto para poder realizar otras funciones.

MUDA 7: CONTROL FINAL

Como ya se ha comentado, las operaciones de inspección no se pueden simplificar ya es necesario comprobar que el paragolpes está correcto. Sin embargo, se producen varios parones de línea en cada turno debido a que los carros se encuentran llenos e imposibilita la colocación de los paragolpes produciendo parones en la línea.

Para evitar este tipo de parones, se va a colocar un carro móvil (ver Fig 26) justo al lado de los carros JIT. Este carro va a contar con 4 alturas adaptadas para el apoyo de los paragolpes con una capacidad máxima de 8 paragolpes. Esta capacidad es más que suficiente para no parar la línea.



Figura 26: Carro móvil

Con estos carros, se gana tiempo de producción por turno, ya que, aunque tengamos que llevar de la estantería al carro los paragolpes, se va a perder menos tiempo. En definitiva, se gana un total de dos minutos por turno. Esta mejora de dos minutos no es solo gracias a la estantería, sino que también se debe a que la persona de control final recibe ayuda de los puestos con menor carga de trabajo como son WINGS UP y WINGS DOWN de manera rotativa a la hora trasladar los paragolpes del carro móvil a los carros JIT. Así, cuando el carro móvil está lleno y el carretillero ha traído el carro JIT vacío, la persona de control final avisa de manera alternativa al operario que se encuentre en el puesto del WINGS UP y al del WINGS DOWN. De esta manera se sacará mayor rendimiento a los operarios menos saturados

Una vez realizado este análisis, se va a obtener el tiempo total de producción resultante tras esta modificación.

Tras este análisis e incorporación de mejoras, se constata que, aunque se haya ganado algo de tiempo, se sigue sin cumplir con la demanda de cliente, por lo que se tendrá que buscar otras alternativas.

La primera de ellas es aumentar la velocidad de línea al máximo añadiendo otro operario más en línea en la zona más saturada que es control final. La cuestión es que incremento de velocidad produjo gran cantidad de averías en las máquinas, ya que se estaban sobrecargando, junto con un mayor coste debido al nuevo operario en línea y reparaciones en máquinas por personal externo.

Por ello, la alternativa considerada fue aumentar ligeramente la velocidad de la línea. Esto se realiza disminuyendo el TT para conseguir realizar 54 piezas/hora. Esta disminución tendrá consigo un aumento del porcentaje de los operarios con menor saturación. En cualquier caso, esta medida no hace que se exceda el 95 por ciento de fatiga en los operarios en ninguna operación.

Tras los cambios producidos en la línea, habrá que analizar los posibles cambios en la saturación de los puestos de trabajo, tal y como se pueden ver en la Tabla 8. Como cabía suponer, ha habido un incremento de porcentajes producido por el aumento de producción. Estos no superan el 95 por ciento, por lo que se siguen encontrando en unas condiciones de trabajo aceptables y se ha incrementado la saturación en los puestos de menor porcentaje.

	TAKT TIME (seg)
OPERARIO	66,61
	% Saturac.
PICKER	79%
TROQUELADO	70%
WS VERSION	83%
WINGS DOWN	74%
WINGS UP	68%
CABLEADO	70%
CONTROL FINAL	88%

Tabla 8: Porcentaje saturación por operación (54 coches/hora)

Al conseguir cálculos óptimos con resultados más eficientes, se puede ejecutar para conseguir los objetivos demandados por cliente que era el objetivo de este estudio.

En la tabla 9 se puede visualizar de manera desglosada la situación de la línea final.

TURNO	
Linea de montaje	
480 min	Disponible
35 min	Descansos
10 min	Cambio de turno y limpieza
2 min	Traslado material carro móvil
15 min	Averias
5 min	Primeras piezas Ok
413 min	Total tiempo disponible
350,9 s	Tiempo de ciclo
373	Paragolpes por turno
66,61 s	Takt Time
54 piezas / hora	Velocidad empleada
58 piezas/ hora	Velocidad máxima línea

Tabla 9: Tiempo de producción final

Así, el nuevo tiempo disponible es de 413,5 minutos por turno lo que se traduce en 461,05 horas al mes. Gracias a este cambio se ha incrementado el tiempo de producción alrededor de dos horas al mes. Este incremento se ha visto reflejado en la producción total de mes, llegando a producir 24.892 paragolpes con una media de 1.119 piezas por día, cantidad superior a la demanda solicitada diaria de 1.095 para tener cierto margen en caso de avería de máquina.

Una vez vistos estos cambios, se va a recalculer el OEE para ver qué resultados se han obtenido. Primero, se empezará recalculando la ineficiencia debida a causas de no-calidad. Como consecuencia del incremento de producción y aumento de velocidad en línea, se aumentó el Scrap y devoluciones, dando un total de 207 paragolpes en el último mes.

$$\text{Calidad} = (\text{Piezas totales} - \text{Piezas defectuosas}) / \text{Piezas totales} = (24892 - 207) / 24892 \times 100 = 99,16\%$$

Se continuará calculando la disponibilidad, quedando como sigue:

$$\text{Disponibilidad} = (461.05/485,33) \times 100 = 95.01\%$$

Y por último, se obtendrá el rendimiento tras el incremento de producción y velocidad en línea.

$$\text{Rendimiento} = (24892 / (461,05 \times 58)) \times 100 = 93,08\%$$

Con todos estos datos se pasará al cálculo final del OEE después de los cambios realizados.

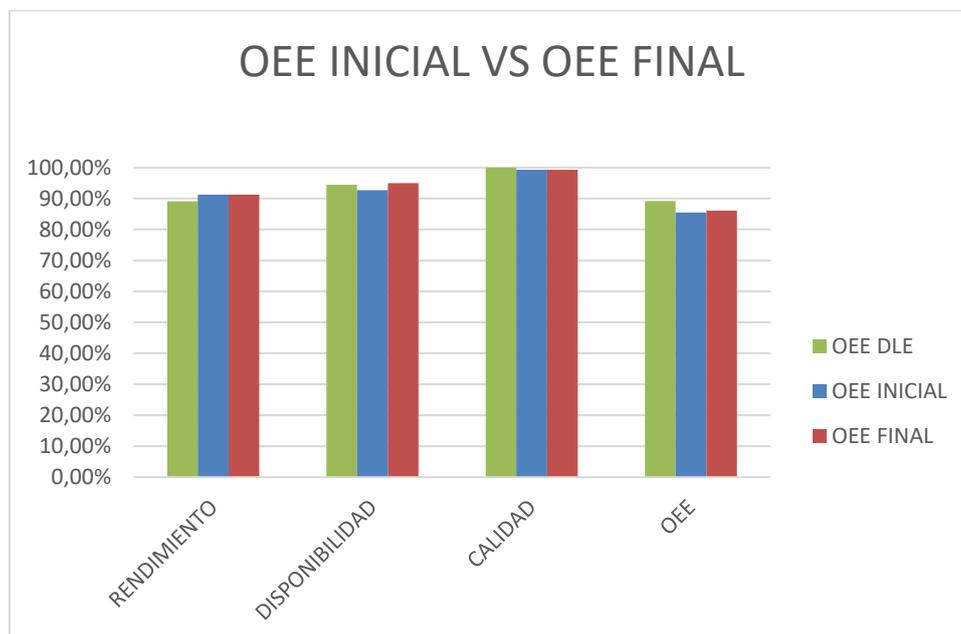
$$\text{OEE} = 99,16 \times 93,08 \times 95,01 = 87,69\%$$

5.3 COMPARACIÓN

En este apartado, se hace una comparativa del OEE inicial y el OEE tras los cambios realizados. En este caso se observa, que tanto la disponibilidad como el rendimiento, han aumentado dando como consecuencia un resultado del OEE superior. Por el contrario, la calidad ha disminuido ligeramente como consecuencia del incrementado de cantidad de paragolpes y velocidad de la línea, por lo que la cantidad del Scrap y las devoluciones será mayor.

Gracias a estos cambios realizados, se ha conseguido el principal objetivo, satisfacer las necesidades de cliente y además se ha incrementado el OEE, que se encuentra muy cerca del 90 por ciento, observándose que se ha obtenido un resultado de la línea más satisfactorio.

Para finalizar, se presenta la Gráfica 7 donde se muestran los cambios producidos entre el DLE, la situación inicial real y final del OEE.



Gráfica 7: Comparativa final OEE

6. CONCLUSIONES

El estudio inicial previo a modificaciones realizado en la línea de montaje ha reflejado una gran eficiencia, aunque insuficiente para cumplir el objetivo principal.

Gracias a las modificaciones que se han presentado en este proyecto, se ha aportado una solución de gran importancia como era el cumplir con la nueva demanda establecida por cliente.

Una de las modificaciones clave para dar solución al problema fue el incremento de velocidad de línea, consiguiendo así un aumento de producción llegando a realizar 54 paragolpes hora. Cantidad más que suficiente para tener un cierto margen en caso de avería.

Estas modificaciones fueron elegidas por su sencillez viéndose reflejado en los buenos resultados obtenidos en producción.

La unión de dos operaciones en solo una operación fue pensada como posible opción debido a la baja carga de trabajo de los operarios en esos puestos, si bien los inconvenientes encontrados durante la fase del estudio obligo a descartarlas. Pues la unión de operaciones aportaba resultados de saturación muy elevados, situación que un único operario no puede soportar.

Se espera que estos cambios sean utilizados como base para futuras modificaciones y que sirvan de inspiración para diseñar futuras líneas de montaje.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Planos de la línea. Plastic Omnium. Edición 2019/2020
2. Tablas de medición. Plastic Omnium. Edición 2019/2020

Referencias web:

3. <https://www.sistemasoe.com/definicion-oe/>
4. <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/que-es-el-lean-manufacturing/#:~:text=Lean%20Manufacturing%20es%20un%20proceso%20continuo%20y%20sistem%C3%A1tico,existir%20una%20b%C3%BAsqueda%20continua%20de%20oportunidades%20de%20>