

Resumen

Tras la realización de un DAFO, se detecta que en ciertas ocasiones el nivel de producción está por debajo de la cantidad demandada por cliente. La demanda se encuentra en un estado de crecimiento considerable (el cliente apuesta por Continental) y ésta termina siendo satisfecha trabajando horas extras y realizando transportes urgentes. Se trata de satisfacer la demanda pero minimizando los costes logísticos y de producción (horas extras).

El principal problema es que la producción es menor a la capacidad de los equipos instalada inicialmente. La implantación y uso del indicador OEE proporcionará una visión global de las pérdidas dadas en el proceso de fabricación de una de las líneas de BMW.

El análisis del cuello botella de la línea, el estudio de mediciones y tiempos y la velocidad reducida de las máquinas son los puntos fundamentales empleados para incrementar el rendimiento de la línea.

Por otro lado, con el fin de asegurar y aumentar la calidad interna de producción, se realiza una herramienta a través de Microsoft Office Excel que se encargue de prever el indicador de calidad en las próximas 4 semanas (en función de la eficiencia que tenga cada una de las acciones propuestas). Además, es interesante comparar lo realmente obtenido con lo que se preveía conseguir para poder valorar las estimaciones y si las acciones propuestas están siendo las acertadas o no.

El aumento de los 3 factores (disponibilidad, rendimiento y calidad), incrementa la cantidad de piezas producidas, reduciendo de tal forma el número de transportes especiales (asumidos por la empresa). Con el fin de valorar el impacto logístico, se realizan diferentes escenarios representativos donde en función de la cantidad producida se realizan transportes especiales, transportes regulares y/o se emplean horas extras (fabricación fin de semanas).

Índice

RESUMEN	1
ÍNDICE	3
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Objetivos del proyecto	11
1.2. Alcance del proyecto	11
2. CONTINENTAL AUTOMOTIVE	12
3. PRESENTACIÓN CONTINENTAL AUTOMOTIVE SPAIN	13
3.1. Introducción Continental Automotive Spain	13
3.1.1. Historia de Continental Automotive Spain	13
3.1.2. Estructura Organizativa	14
3.2. El producto	15
3.3. Clientes	16
4. EL CENTRO	18
4.1. La fábrica	18
4.1.1. Zona de electrónica	18
4.1.2. Zona de montaje	19
5. LÍNEAS PRODUCCIÓN BMW	20
5.1. Aprovisionamiento	21
5.1.1. Punto de pedido Línea-Almacén	22
5.1.2. Frecuencia de pedido Línea-Almacén	22
5.2. Proceso productivo	23
5.2.1. Lay out, capacidad y tiempos del proceso	23
5.3. Producto final	25
5.3.1. Trazabilidad del producto	25
5.4. Indicador de calidad	26
5.4.1. Herramienta Scada	27
6. DAFO	28
6.1. Debilidades	28
6.2. Amenazas	29
6.3. Fortalezas	29
6.4. Oportunidades	30
6.5. Análisis DAFO	30

6.5.1. Indicador OEE.....	32
6.5.2. Herramienta FPY predictivo	33
7. IMPLANTACIÓN OEE _____	34
7.1. Cálculo Disponibilidad.....	35
7.1.1. Tiempo programado.....	36
7.1.2. Tiempo operativo real	36
7.2. Incremento Disponibilidad.....	40
7.3. Cálculo Rendimiento.....	42
7.3.1. Estudio medición de tiempos	42
7.3.2. Cálculo del cuello de botella. Capacidad máxima	46
7.3.3. Producción prevista	48
7.3.4. Producción real	49
7.4. Incremento Rendimiento.....	51
7.4.1. Propuesta Disminución Tiempo Operaria 1	52
7.4.2. Propuesta Disminución Tiempo Operaria 2	53
7.4.3. Propuesta Disminución Tiempo Carrusel.....	54
7.4.4. Propuesta Aumento velocidad de las máquinas	56
7.5. Cálculo Calidad.....	58
7.6. Incremento Calidad.....	59
7.6.1. Plantilla Tratamiento Datos	59
7.6.2. Plantilla Fórmulas	64
7.6.3. Tablas y gráficos dinámicos.....	68
7.6.4. Limitación del incremento del indicador	71
8. INCREMENTO OUTPUT _____	72
8.1. Disponibilidad.....	72
8.2. Rendimiento.....	72
8.3. Calidad.....	73
9. IMPACTO COSTE LOGÍSTICO Y DE RECHAZO _____	75
9.1. Tipos de transporte	75
9.1.1. Transporte normal.....	75
9.1.2. Transporte urgente	75
9.2. Escenarios logísticos representativos.....	76
9.2.1. Escenarios Transporte Normal (demanda insatisfecha)	77
9.2.2. Escenarios Transporte Urgente (demanda satisfecha).....	77
9.2.3. Escenario Incremento Output. Transporte Normal.....	80
9.3. Coste logístico	81
9.3.1. Coste logístico sin aumento producción.....	81

9.3.2. Coste logístico con aumento producción	81
9.4. Impacto medioambiental	81
9.5. Coste horas extra operarias	82
9.6. Coste rechazo	82
CONCLUSIONES	86
AGRADECIMIENTOS	88
BIBLIOGRAFÍA	89

Índice Tablas

Tabla. 1 Máquinas Proceso productivo	23
Tabla. 2 Desviación producción acumulada (en unidades)	32
Tabla. 3 Duración paradas no programadas	36
Tabla. 4 Comparación Paradas mejora / sinmejora	41
Tabla. 5 Comparación Disponibilidad mejora/sin mejora	41
Tabla. 6 Estudio de tiempos. Actividad 100	43
Tabla. 7 Tiempos y producción según actividad	45
Tabla. 8 Tiempos iniciales sin mejoras	52
Tabla. 9 Tiempos obtenidos con externalización piñón	53
Tabla. 10 Tiempos obtenidos con externalización piñón + chapa	54
Tabla. 11 Tiempos obtenidos con las 3 mejoras (piñón, chapa y 2 nidos)	55
Tabla. 12 Incremento de unidades en función actividad	55
Tabla. 13 Comparativa producción real y prevista	58
Tabla. 14 Datos relevantes a rellenar cada semana	61
Tabla. 15 Porcentaje eficiencia teórica de las acciones	63
Tabla. 16 Porcentaje mejora eficiencia teórica	65
Tabla. 17 Previsión FPY 4 semanas	66
Tabla. 18 Comparativa eficiencia teórica y real	68
Tabla. 19 Evolución FPY	68
Tabla. 20 Comparativa FPY real y predictivo	69
Tabla. 21 Porcentaje comparativa FPY	70
Tabla. 22 Escenario transporte normal	77

Tabla. 23 Escenario transporte normal y fabricación fin de semana _____	78
Tabla. 24 Escenario transportes urgentes y fabricación fin de semana _____	79
Tabla. 25 Escenario con incremento de output _____	80
Tabla. 26 Ejemplo 1 coste unitario rechazo _____	83
Tabla. 27 Ejemplo 2 coste unitario rechazo _____	84
Tabla. 28 Resumen resultados OEE _____	86

Índice Figuras

Fig. 1 Divisiones de la empresa	12
Fig. 2 Organigrama	14
Fig. 3 Productos de la empresa	15
Fig. 4 Ubicación clientes	16
Fig. 5 Unidades 2015	17
Fig. 6 Modelos productos BMW	20
Fig. 7 Previsión demanda L3 y L4	21
Fig. 8 Materiales y componentes L3	22
Fig. 9 Stándar Work 2 operarias	24
Fig. 10 Stándar Work 3 operarias	24
Fig. 11 Verificación trazabilidad	26
Fig. 12 Producción y demanda L3	31
Fig. 13 Diagrama de gestión averías	40
Fig. 14 Gráfico producción según actividad	46
Fig. 15 Punto cambio cuello botella	48
Fig. 16 Puesto montaje piñón (señalizada en rojo)	52
Fig. 17 Puesto montaje chapa (señalizado en rojo)	53
Fig. 18 Porcentaje tipo de defecto	69
Fig. 19 Comparativa FPY real y predictivo	70
Fig. 20 Límite FPY previsto	71
Fig. 21 Comparativa piezas producidas/turno	73
Fig. 22 Transportes urgentes	76

1. INTRODUCCIÓN

La actividad principal de la empresa es la es la fabricación de instrumentos y aparatos de medida, verificación y navegación para la industria del automóvil. La empresa se encuentra sumergida en nuevos proyectos. Por este motivo, aumentará su demanda (y producción) en los próximos años hasta casi duplicarla. De todos los fabricantes automovilísticos a los que Continental se dirige, este trabajo se orienta en el análisis y consecución de una de las líneas del cliente más importante (BMW) trabajando KPIS como OEE y scrap.

Los cuadros de mando de los vehículos es el producto final que se comercializa a BMW. Estos cuadros requieren de un difícil montaje. La dificultad viene dada por el gran número de componentes que se tienen que ensamblar provocando que el indicador por excelencia del departamento de producción sea el indicador de calidad (FPY). Este indicador es el que se encarga de medir la cantidad de piezas que salen OK a la primera en el proceso de producción. Al conseguir mantener este indicador por encima del objetivo se reducen de forma considerable los reprocesos, las reparaciones y el scrap.

La situación que está atravesando actualmente la empresa con este cliente es difícil ya que como se ha mencionado anteriormente la demanda del cliente está ascendiendo y los niveles de producción en ciertas ocasiones están por debajo de la misma. De esta forma y para no perder la credibilidad con el cliente deben aumentar y aprovechar todos los recursos al máximo minimizando costes y despilfarros (Filosofía Lean Manufacturing). Desde el departamento de producción se analiza la situación tratando de obtener una visión genérica donde el indicador por excelencia sea el OEE, incluyendo de esta forma, además de la calidad interna de producción, la disponibilidad y rendimiento de unas de las líneas de BMW.

1.1. Objetivos del proyecto

El objetivo principal de este trabajo es el análisis basado en el incremento del output y el aseguramiento de la calidad interna de una de las líneas de producción. Es muy importante asegurar la calidad interna de producción a través de un plan de acciones y una herramienta de cálculo que permita prever este indicador. Posteriormente se podrá calcular si lo conseguido ha sido lo previsto y si no es así conocer la causa raíz del problema.

Se aumenta la producción con el objetivo de reducir los costes logísticos, especialmente los costes de transporte que corren a cargo de la empresa. Con esta reducción de costes logísticos y transportes especiales se conseguirá aumentar la credibilidad con el cliente (en calidad de servicio) por lo que la imagen de la empresa se verá reforzada.

Se realiza un DAFO con el fin de obtener las debilidades de la empresa desde el punto de vista logístico y productivo de tal forma que estas debilidades se reduzcan y/o eliminen. Para la consecución de esta reducción, se propone el análisis del indicador OEE con el fin de detectar en que aspectos la empresa debe focalizarse para aumentar la producción y satisfacer la demanda del cliente minimizando costes.

1.2. Alcance del proyecto

El aumento de los 3 factores del OEE trae consigo una disminución y aumento de los costes generales de la empresa. El alcance del proyecto abarca tres tipos de costes diferentes. Por un lado, analiza el impacto logístico obtenido a través del cálculo del número de transportes urgentes realizados y considerando la cantidad de palés transportados por envío. Por el otro lado, el proyecto tiene en cuenta el coste de rechazo al aumentar la calidad interna de producción. Y por último, se calcula la reducción del coste de horas extras por no necesitar trabajar los fin de semanas ya que el incremento de producción diario evitaría esa necesidad. Además, se explica de forma detallada la obtención de los tres factores del OEE y la posibilidad de mejorar el OEE tras el análisis de los mismos.

Existen otros costes que se generan para poder obtener un aumento de la producción que no se analizan. Costes relacionados con inversiones (en paletas de recambio e incremento de los nidos de la estación cuello de botella) que dependen de la aceptación del departamento de finanzas. El proyecto expone estas ideas y en función del alcance de las mismas (del incremento del output obtenido) la empresa decidirá si aceptan las propuestas o no.

2. CONTINENTAL AUTOMOTIVE

Continental es una empresa alemana fundada en 1871 dedicada a la fabricación de neumáticos y otras piezas para las industrias automotriz y de transportes. Cuenta con 300 plantas en 49 países diferentes. Esta empresa multinacional se descompone en 4 divisiones diferentes en función del producto fabricado. La empresa líder alemana se especializa concretamente en la fabricación de neumáticos, sistemas de frenos, sistemas de seguridad del automóvil, tren motriz/ chasis componentes, tacógrafos, electrónica de vehículos y otros accesorios para la industria automotriz y de transporte. Continental emplea más de 200.000 mil personas distribuidas por todo el mundo.

De las cuatro divisiones, el trabajo se centra en la denominada División Interior que a su vez se divide en diferentes unidades de negocio. La unidad de negocio tratada a lo largo del proyecto será "Instrumentation & Driver".

Chassis & Safety	Powertrain	Interior	Tires
<ul style="list-style-type: none"> -Electronic Brake Systems -Hydraulic Brake Systems -Passive Safety -Chassis Components 	<ul style="list-style-type: none"> -Engine Systems -Transmission -Hybrid Electric Vehicle -Sensors -Fuel Supply 	<ul style="list-style-type: none"> -Instrumentation & Driver HMI -Infotainment & Connectivity -Body & Security -Commercial Vehicles & Aftermarket 	<ul style="list-style-type: none"> -Truck Tires Europe -Truck Tires The Americas -Truck Tires Replacement Business Asia -Industrial Tires

Fig. 1 Divisiones de la empresa

Instrumentation & Driver es la unidad de negocio que se encarga de trabajar en soluciones para procesar de forma óptima y presentar la información. En este contexto, un punto focal está en dar prioridad a la información que se muestra en diferentes áreas de visualización (dependiendo del vehículo y la situación de conducción). Esta unidad de negocio la forman 39 centros repartidos por todo el mundo en 26 localizaciones diferentes. Se pueden dividir en fábricas (22) y centros I+D/Administrativos (17).

El trabajo se orienta en el centro de Rubí, ubicado en Barcelona y reconocido como Continental Automotive Spain (Rubí).

3. PRESENTACIÓN CONTINENTAL AUTOMOTIVE SPAIN

3.1. Introducción Continental Automotive Spain

La empresa Continental Automotive Spain SA está localizada en Rubí (Barcelona). Fue constituida en 1987 y la actividad principal de esta empresa es la fabricación de instrumentos y aparatos de medida, verificación y navegación. La planta de Continental Automotive cuenta con un gran prestigio dentro del grupo alemán, ya que es un referente en Lean Manufacturing y una de sus fábricas más competitivas a nivel Europeo. Estos elementos y el apoyo institucional por parte de la Generalitat han sido decisivos para la adjudicación del proyecto. La fábrica de Rubí produce componentes vinculados a la división de interiores, fabricando principalmente, cuadros de mando.

3.1.1. Historia de Continental Automotive Spain

Tras la fusión de OSA Apparate con una división de la sociedad Deuta, nació en 1929 la sociedad VDO Tachometer. A partir de la fecha, todos los productos de la empresa se conocerían con el nombre VDO.

En 1987 nace en España VDO Instrumentos S.A en Rubí (Barcelona). La planta se abre el día 19 de junio de 1987.

En 1992 se constituye la segunda planta de VDO Instrumentos, S.A en España, localizada en Abrera (Barcelona). En 1993 el grupo VDO se asocia al grupo Mannesman, reforzando de tal forma su posición como fabricante de equipos para el automóvil con los constructores más importantes del mundo. En el año 1998 VDO Instrumentos S.A cambia su razón social por VDO Instrumentos S.A absorbiendo tres sociedades del grupo Mannesman. Esta fusión de empresas denominada VDO Automotive España, supone la incorporación dentro de su gama de producto de los sistemas de navegación, radios y otros componentes del automóvil comercial como los tacógrafos y taxímetros.

En el 2001 VDO Automotive España se fusiona con Siemens y pasa a ser uno de los grandes fabricantes de componentes del automóvil. En ese mismo año cambia su razón social por Siemens VDO Automotive, S.A.

Continental compra el grupo Siemens VDO en 2007 pasando en Mayo de 2008 su nombre social a ser Continental Automotive Spain, S.A.

3.1.2. Estructura Organizativa

La estructura organizativa del centro de Rubí se divide en dos bloques diferentes. Dentro de la fábrica se encuentran distintos departamentos que se encargan de asegurar la fabricación del producto (en cantidad deseada y momento preciso teniendo en cuenta siempre la calidad interna de producción).

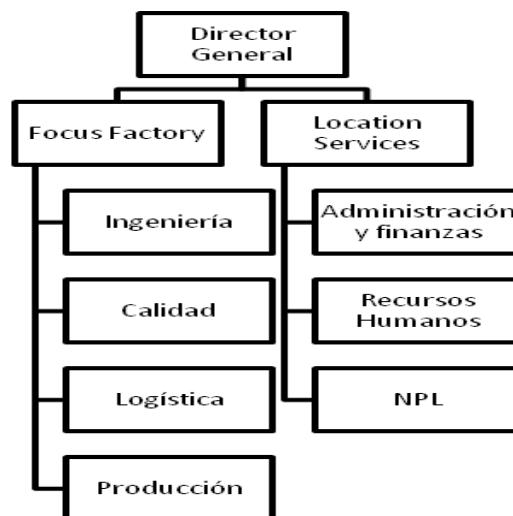


Fig. 2 Organigrama

- **Departamento de ingeniería:** Se encarga de mejorar el diseño de los productos. Además, tienen conocimientos de cómo manejar las cámaras de las máquinas de control pudiendo ajustar y modificar las tolerancias en función de las especificaciones del cliente.
- **Departamento de calidad:** Es el que se encarga de contactar con los proveedores y clientes. Atienden reclamaciones de los mismos y realizan reclamaciones cuando la materia prima es NOK.
- **Departamento de logística:** Se divide en diferentes partes en función de la actividad realizada:

- **Aprovisionamiento:** Se encargan de aprovisionar los componentes necesarios para poder fabricar los cuadros en función de la demanda.
- **Planificación:** Se encargan de planificar la producción en función de la demanda. Su misión principal es asegurar que el producto llegue al destino determinado en el momento acordado con cliente.
- **Departamento de producción:** Se encarga de que las líneas estén activas y la producción no se detenga. Además, aseguran la calidad interna del producto a través del indicador FPY.

El número de empleados que formaban la plantilla de este centro eran 700 para el año 2001. Durante los próximos 10 años se comenzó a realizar una reducción de plantilla considerable, acabando en 2010 con 400 empleados. Actualmente la empresa se encuentra en un estado creciente debido a los nuevos proyectos que están entrando (y que entrarán) situándola en un rango de unos 500 trabajadores aproximadamente.

3.2. El producto

Como ya se ha mencionado anteriormente, la actividad principal es la fabricación y comercialización de instrumentos de medición, combinados y repuestos para la industria del automóvil. En el siguiente cuadro se pueden ver los diferentes productos que el centro es capaz de fabricar. Entre ellos destacan, pantallas de visualización frontal, paneles de control, pantallas secundarias y los cuadros de mando.



Fig. 3 Productos de la empresa

En función del cliente, Continental produce un producto u otro. Por ejemplo, para BMW, VW y FIAT realizan los cuadros de mando de los vehículos (velocímetros). Sin embargo, para PSA y MINI (BMW) fabrican pantallas de control y visualización central. Son productos muy complejos que tienen una gran variedad de componentes electrónicos.

3.3. Clientes

Los principales clientes de Continental Automotive Spain son los fabricantes automovilísticos. De todos ellos, la empresa se dirige a los siguientes clientes:

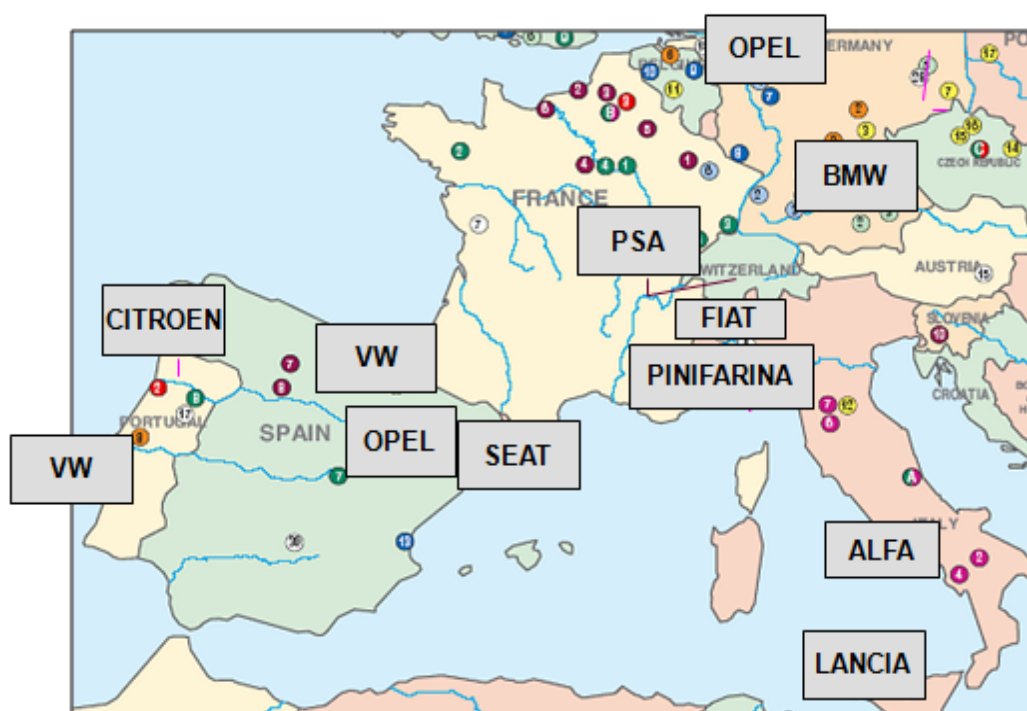


Fig. 4 Ubicación clientes

La demanda con BWM se encuentra en estado creciente y por lo tanto se considera uno de los clientes más importante de la empresa. En el siguiente gráfico se observan los porcentajes de unidades producidas para cada uno de los clientes mencionados anteriormente.

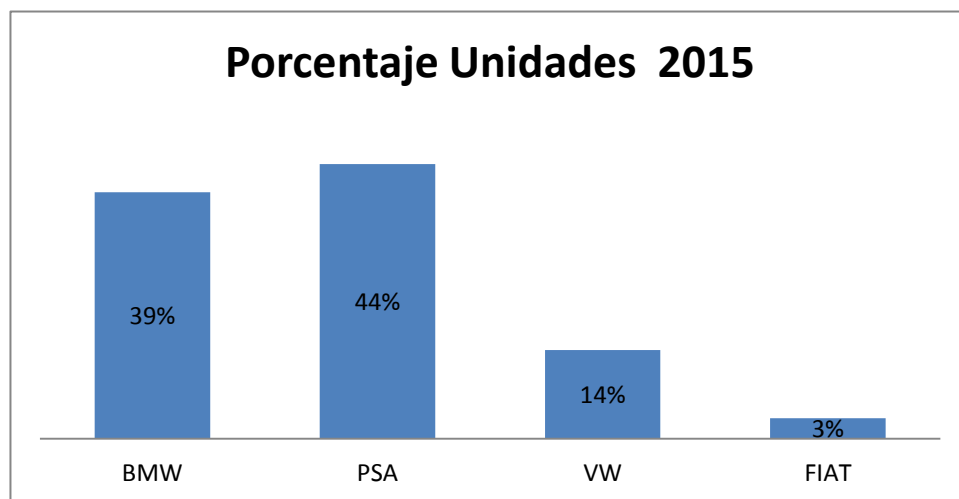


Fig. 5 Unidades 2015

Continental se encuentra sumergida en nuevos proyectos por lo que aumentará en los próximos años su demanda hasta casi duplicarla. El principal motivo es el incremento de la demanda de los clientes ya fidelizados y la captación de otros nuevos, como es Ford. Para poder competir en este sector y captar grandes porcentajes en este mercado la empresa debe trabajar en JIT (JUST IN TIME). Es un sector muy competitivo en el que los clientes piden cantidades exactas en momentos específicos.

4. EL CENTRO

El centro ubicado en Rubí consta de unos 18.000 m^2 (considerando la fábrica y el almacén). Puesto que el proyecto se centra en una de las líneas de producción, a continuación, se realiza una breve explicación de las zonas definidas en la fábrica:

4.1. La fábrica

La fábrica de esta empresa se divide en dos áreas diferentes. Por un lado, se encuentra la zona de electrónica y por otra parte la de montaje.

4.1.1. Zona de electrónica

El departamento de electrónica se encarga de fabricar y suministrar los circuitos a las diferentes líneas de montaje que se encargan de fabricar el producto final de la empresa. Esta zona está compuesta por 9 líneas dedicadas a la fabricación de los diferentes circuitos (uno de los componentes de los cuadros de mandos). A diferencia de las líneas de montajes, estas líneas tienen una serie de cambios de utillaje que permiten la adaptación en función del tipo de circuito que se pretende fabricar.

Se pueden distinguir entre dos grandes grupos de circuitos que se depositan en cajas diferentes:

- Circuitos FE: Estos son los circuitos grandes que se disponen de 10 en 10 por caja.
- Circuitos IKE: Corresponden con los circuitos pequeños que se ubican de 13 en 13 en cada una de las cajas.

Estas cajas, finalmente se depositan en una zona que está situada en frente de las líneas de montaje esperando a ser consumidas. Esta zona es la “frontera” entre la zona de electrónica y la zona de montaje.

4.1.2. Zona de montaje

Esta es la parte central de la fábrica y en la que se encuentran las diferentes líneas de montaje. No existen cambios de utillaje ya que para cada cliente existe una o varias líneas de producción de montaje final. Existen dos tipos de montaje diferente dentro de una línea:

- Montaje manual: La operaria es la que se encarga de montar los materiales obteniendo el producto. Para la realización de este montaje hay que tener mucha precisión ya que cualquier componente mal montado provocaría que el producto no cumpla su funcionalidad. Por este motivo todos los trabajadores encargados de la fabricación en las líneas de montaje son de sexo femenino, éstas tienen las manos más pequeñas y un mayor control y precisión para la manipulación del producto
- Montaje automático: Otros materiales necesitan de una gran precisión, como es el clavado de las agujas, el clavado de los motores, el atornillado del display, etc. Estas actividades son realizadas por una máquina.

Además del montaje, en cada uno de los procesos de la línea se encuentran controles automáticos que se utilizan para validar y verificar el estado de la pieza, es decir, si la pieza es OK o NOK. En cada control existen cámaras que chequean el montaje de los materiales y la funcionalidad del cuadro. Cuando la pieza es NOK la imagen se reporta directamente al sistema de información de la empresa donde el Ingeniero de proceso puede ver cuál ha sido el problema y porque la pieza no sigue su transcurso con normalidad.

5. LÍNEAS PRODUCCIÓN BMW

Las LPS son las líneas encargadas de la fabricación de los cuadros de mando para el cliente BMW. Son 4 líneas diferentes destinadas a montar el cuadro para el modelo serie 1 o para el modelo serie 3 (en función de la línea dada). Estas 4 líneas fueron creadas en el año 2010.

- **Línea 1:** Se encarga de fabricar el producto para el modelo serie 1. Con una producción de 900 piezas/día.
- **Línea 2:** Dedicada a la fabricación del modelo serie 3 de gama baja. Los niveles de producción en esta línea son muy reducidos. BMW a puesta en Continental por el montaje cuadros de gama alta/media en vez de por los de gama baja. Estos cuadros son fabricados por la competencia en su gran mayoría.
- **Línea 3 y 4:** En esta línea se fabrican el serie 3 de gama alta/media. Debido a la alta demanda de este tipo de cuadro se destina otra línea (la 3) a la fabricación del mismo producto. La única diferencia entre ambas es que en la línea 3 se pueden llegar a montar modelos más exóticos como es el MSPORT y el ALPINA.

En la siguiente imagen se pueden observar los 3 diferentes cuadros destinados para BMW en función de las líneas:

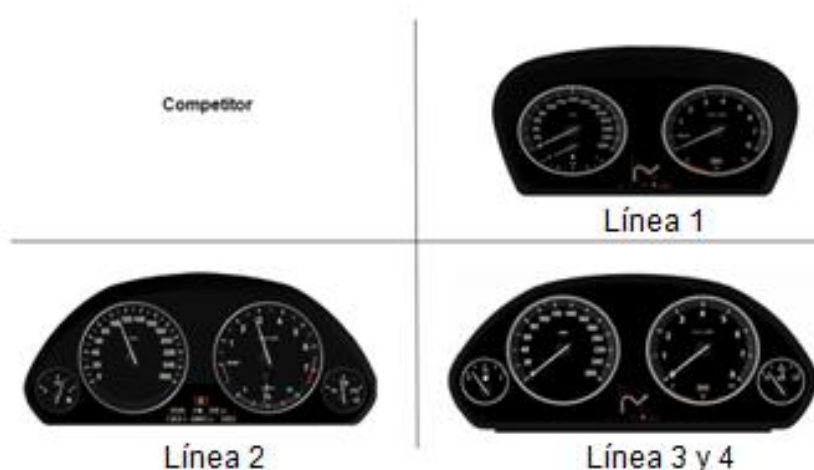


Fig. 6 Modelos productos BMW

El trabajo se orienta a las líneas que fabrican el modelo serie 3 gama alta/media. Éstas son las 3 y la 4. Continental no tiene el 100% de la producción de los cuadros de BMW porque éste decide repartir su

producción a diferentes proveedores con el objetivo de asegurar suministro. De esta forma, si Continental tuviera cualquier tipo de incidente, BMW puede buscar suministro en otro proveedor.

A continuación, se muestra una gráfica donde se puede observar la previsión de la demanda desde que nace el proyecto (SERIE 3) hasta que muere. El año con máxima producción es el 2016, con 700.000 mil unidades que deben ser producidas para satisfacer la demanda de cliente. Para esta cantidad, se destinan las dos líneas, denominadas como L3 y L4.

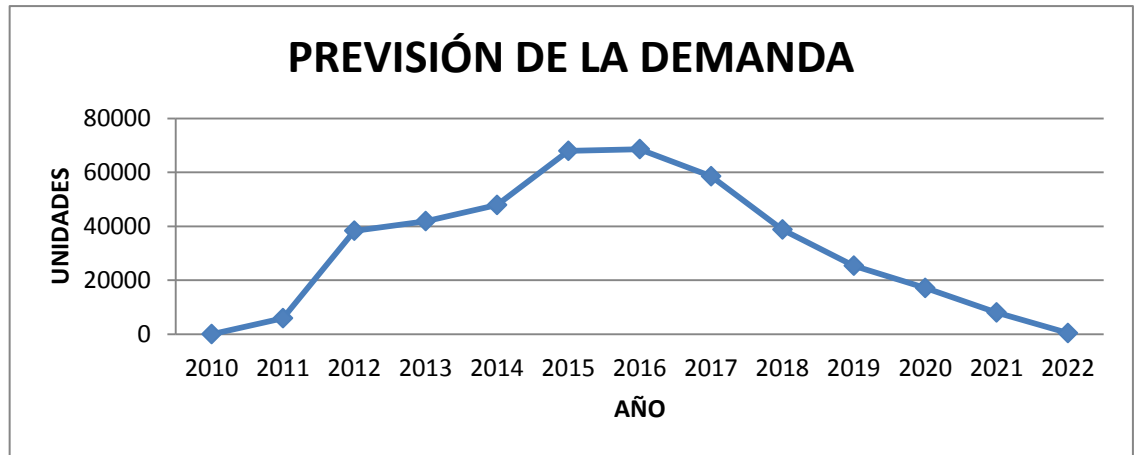


Fig. 7 Previsión demanda L3 y L4

A continuación, se describen los procesos logísticos de una de las líneas de este proyecto para facilitar la comprensión del lector en los siguientes capítulos del trabajo. La línea escogida para la realización del trabajo es la línea 3.

5.1. Aprovisionamiento

Para poder realizar el montaje del cuadro de mandos, se suministra a la línea la materia prima y los componentes necesarios en función de la planificación de la producción (realizada por el departamento de logística). El producto consta de un gran número de componentes y materiales diferentes. En la siguiente imagen se pueden ver parte de estos componentes (anillos, agujas, lámina de símbolos, boton, display y el realce):



Fig. 8 Materiales y componentes L3

Existen otros componentes que no visualizan en la imagen porque se encuentran en el interior del cuadro, estos son los circuitos, la guía luz y los conductores (entre otros).

Estos cuadros requieren de un difícil montaje. La dificultad viene dada por el gran número de componentes que se tienen que ensamblar. Un componente mal montado origina probablemente que el producto sea NOK y no cumpla su funcionalidad. En función del proyecto, el cuadro utiliza una serie de componentes y materiales u otros. De todas formas, algunos de estos son comunes para todos los proyectos de BMW.

5.1.1. Punto de pedido Línea-Almacén

Con el fin de asegurar el suministro de los materiales a la línea existe un punto de pedido en el cual, cuando el consumo ha llegado a ese nivel, las operarias tienen que lanzar el pedido al almacén. Es muy importante realizar un cálculo correcto para cada uno de estos materiales ya que, si el punto de pedido no se calcula de forma correcta, la línea puede parar la producción por falta de material.

5.1.2. Frecuencia de pedido Línea-Almacén

No hay un periodo concreto a la hora de realizar un pedido, cuando hay un periodo de alta demanda, los pedidos se harán con mayor frecuencia que cuando la demanda es baja. De todas formas, la demanda suele ser estable así que el pedido de cada material se realiza en función de dos factores:

- **Producción:** El objetivo por día es fabricar 800 unidades, pero por paradas programadas y paradas no programadas (averías en las máquinas) la empresa en ciertas ocasiones no llega a esos volúmenes de producción. Por lo tanto, la frecuencia varía en función del estado de la línea, si la línea es capaz de producir más, se realizarán más pedidos que si la línea está parada por ciertos motivos. También es importante mencionar que la producción de la línea

va ligada no solo al tiempo real que ésta trabaja sino también al número de trabajadores que se encuentran en ella. La línea puede trabajar con 1, 2 y 3 operarias.

- **Número de componentes/unidad:** Para la fabricación de un cuadro de mandos existen componentes que sólo necesitan de 1 unidad, sin embargo, otros (como son las agujas, cuadrantes, etc.) necesitan de varias unidades por cuadro. Por este motivo al aprovisionamiento de estos materiales se realizan con una mayor frecuencia.

5.2. Proceso productivo

Una vez definido el aprovisionamiento del material a la línea se procede a dar una breve explicación de la descripción del proceso productivo, teniendo en cuenta el lay out de la célula y el proceso dado. La línea está formada por 6 estaciones diferentes dispuestas en forma de U. A continuación, se muestra una tabla donde se observa el montaje que se realiza en cada estación, el número de máquinas que forman esa estación (con la intención de reducir tiempos de ciclo) y el tipo de operación realizada, generalmente montaje si es manual y control si es automático:

Puesto	Operación	Material	Nº máquinas
1	Manual y Automático	Circuito, display y guía luz	1
2	Manual	Cuadrantes, discos, conductor y bearing	1
3	Manual y Automático	Anillos, lámina y aguja	4
4	Manual y Automático	Circuito y tapa trasera	1
5	Automático	Flasheo del cuadro	10
6	Automático	Control	4

Tabla. 1 Máquinas Proceso productivo

5.2.1. Lay out, capacidad y tiempos del proceso

Para un análisis cuantitativo de este proceso productivo se tienen en cuenta indicadores de gestión que permiten evaluar el desempeño y eficiencia de dicho proceso en el tiempo. Uno de los más importantes es la capacidad del proceso. Este indicador corresponde a la tasa máxima de producción, es decir, cuántas unidades en un intervalo de tiempo el proceso puede producir. La capacidad del sistema varía en función del número de operarias que se encuentran trabajando en la línea.

Se trata de aprovechar al máximo la capacidad de la línea y para ello existen una serie de especificaciones sobre la organización y distribución de las operarias en los puestos de las líneas. En cada turno la línea tiene asignada a una de estas trabajadoras como la responsable y es la que se encarga de que se realicen los movimientos exactamente igual que las instrucciones dadas en el Standar work. A continuación, se muestran las imágenes de los recorridos que deben hacer cada una de las trabajadoras en función de si son 2 o 3 personas las que se encuentran en la línea. De esta forma, también se muestra el lay out de la línea:

- 2 operarias en línea:

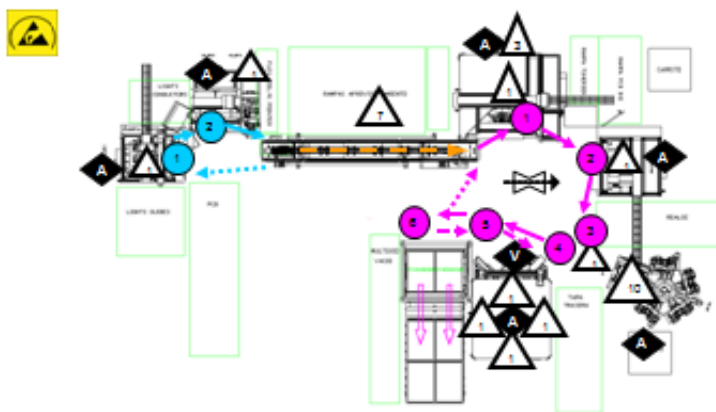


Fig. 9 Stándar Work 2 operarias

- 3 operarias en línea:

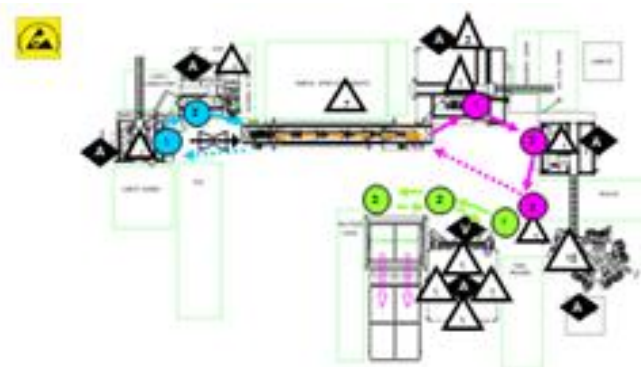


Fig. 10 Stándar Work 3 operarias

La capacidad teórica de la línea (dato obtenido por la empresa aproximadamente) es de 48 piezas/h si trabajan 3 operarias y de 36 piezas/h si trabajan 2. Una vez conocida la capacidad se puede averiguar el tiempo de ciclo, es decir el tiempo promedio entre la producción de dos unidades consecutivas. Con 3 operarias es de 1,25 minutos y con 2 es de 1,66 minutos.

Por alguna razón, no se están produciendo 48 uds/hora provocando que en ciertas ocasiones haya que trabajar horas extra. Una parte del trabajo se orienta en el cálculo de la capacidad máxima de la línea, es decir, en la detección del cuello de botella con el fin de averiguar cuál es el problema que limita actualmente la capacidad de la línea.

5.3. Producto final

Como se ha mencionado anteriormente esta línea además de montar el modelo serie estándar está capacitada para montar modelos exóticos. El MSPORT es el modelo estrella de la línea. Es un cuadro que se monta en el modelo de coche M3, vehículo que ronda los 70.000€ lo que por ese motivo existen una serie de componentes y materiales que lo diferencian del cuadro estándar (tanto estéticos, como funcionales). Además de este tipo de modelos, la línea 3 es en la que se realizan todas las “muestras” pedidas por clientes. Estas muestras intercambian nuevos modelos de displays, circuitos, agujas, etc. Antes de lanzarse una referencia nueva, BMW solicita realizar previamente este tipo de muestras para asegurar su correcto funcionamiento.

5.3.1. Trazabilidad del producto

Los cuadros se disponen en cajas de 3 en 3. El cliente puede pedir cantidades que sean múltiplos de este número con un mínimo de 12 piezas. En cada boletín se encuentra una misma referencia. Esta referencia tiene diferentes DNIS que corresponden con los 6 últimos números de la etiqueta de cliente. Para verificar que en cada boletín no se mezclen referencias, Continental tiene un control extra al finalizar el proceso productivo que verifica si la pieza procesada corresponde con el boletín que se está fabricando en ese momento o si del contrario es una pieza retrabajada que se ha mezclado en mitad de la producción del boletín que actualmente está siendo fabricado. Además, cada estación está interconectada a la anterior comprobando siempre que la pieza ha pasado por la estación anterior y que de esta forma no se salte ningún proceso.

Cuando las operarias leen a través de un lector de códigos la pieza, la pantalla de la Figura 11 les indica boletín (si corresponde o no con el actual) y posición de la caja en la que tiene que posicionar el cuadro. Se observa como en el rectángulo verde acaba de leer el DNI de la pieza y éste se tiene que ubicar en la posición número 3 de la caja (en color negro). El rectángulo azul corresponde con el

boletín que se está fabricando en ese momento y el rojo la referencia que corresponde a ese boletín. De esta forma es como se chequea si la pieza leída corresponde con referencia, boletín y posición o no.

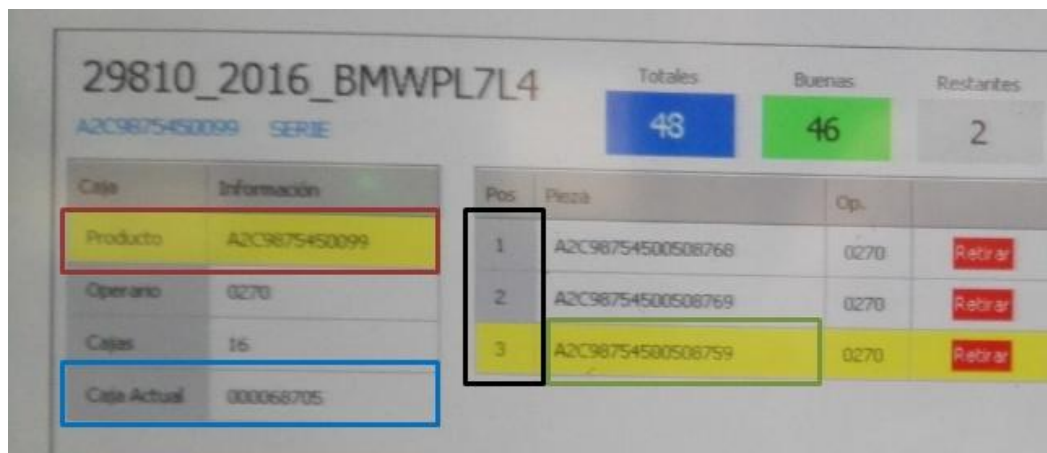


Fig. 11 Verificación trazabilidad

En el caso de que no corresponda aparece en pantalla un mensaje avisando a las operarias que esa pieza no corresponde con el boletín actual y les indica cual sería el boletín (lo que se suele hacer en estos casos es dejar esta unidad/es como picos en cajas diferentes).

5.4. Indicador de calidad

El First pass yield, es el indicador más importante en el departamento de producción junto al del scrap. Se define como el número de unidades que salen de un proceso dividido por el número de unidades que entran en el proceso de la línea durante un período de tiempo especificado. Se calcula relacionando el número de unidades producidas buenas y el número total de unidades que entran en el proceso. Por lo tanto, se puede decir que este indicador expresa la cantidad de piezas buenas que se fabrican a la primera. A mayor FPY mayor número de piezas OK y mayor eficiencia en el proceso. Este indicador se encarga de medir la calidad interna de producción de la línea.

El objetivo de la empresa es mantener un FPY del 98,8%. La herramienta fundamental para poder conseguirlo es el SCADA.

5.4.1. Herramienta Scada

SCADA es un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita la información del proceso en tiempo real. Se encarga de suministrar toda la información que se genera en el proceso productivo, en este caso permite la gestión, supervisión e intervención del control de calidad y control de producción de la línea.

Se trata de introducir el intervalo de tiempo deseado que se pretende analizar y la línea (en este caso la L3). Una vez introducidos estos datos, esta herramienta es capaz reportar en ese intervalo dado la cantidad de piezas producidas, el número de piezas OK y el número de piezas NOK.

Por lo tanto, la principal función del SCADA es reflejar el FPY del proceso a tiempo real o durante el intervalo de tiempo deseado. Este software no sólo refleja el porcentaje del indicador, sino que es capaz de mostrar los fallos que se han producido agrupándolos en 4 puntos diferentes:

- Los 10 top defectos: muestra los defectos más repetitivos y por lo tanto sobre los que convendría actuar para aumentar el FPY.
- Defectos por proceso: muestra los defectos dados en función del puesto y de la línea. De esta forma es capaz de supervisar y controlar cada uno de los puestos de la línea interviniendo en aquellos que estén afectados.
- Los defectos en función del producto y proceso: Scada es capaz de proporcionar información más detallada pudiendo comprobar en que pieza se ha producido el defecto, en que turno/hora, y en que puesto.
- Consultas por referencias: para una información extra, se puede introducir la referencia de la pieza en este software y automáticamente mostrará todo su proceso de producción.

6. DAFO

A continuación, se realizará un estudio de las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades desde el punto de vista de la Supply Chain de la empresa con respecto a una de las líneas de BMW, específicamente la línea 3 que fabrica el modelo serie 3. El objetivo de este análisis es reducir al máximo las debilidades y amenazas destacadas:

6.1. Debilidades

- **Producciones diarias por debajo del objetivo.** En ciertas ocasiones, se están fabricando menos piezas por turno de las que deberían realizarse considerando la capacidad de la línea. El objetivo está situado en una cantidad de 800 piezas por día. La demanda del cliente aumenta y ésta debe ser satisfecha.

- **Entregas del producto al cliente fuera de plazo.** Al no alcanzar los niveles previstos de producción aumentan los pedidos urgentes (transportes especiales). Una de las fortalezas que la empresa tiene es que el cliente paga los gastos de transporte, pero si éstos no están preparados para ser expedidos en el momento acordado este gasto corre a cargo de la empresa.

- **Complejidad del producto (Indicador de calidad).** El objetivo está en un 98,8% pero debido a la complejidad del producto este indicador suele estar por debajo del target. La fabricación del cuadro de mandos se basa en su gran mayoría en un montaje manual que depende de un gran número de componentes en el que el montaje NOK de uno de estos componentes genera el error en línea.

- **Firewall (proceso extra para detectar defectos estéticos) ralentiza el flujo logístico.** Debido a la cantidad de defectos estéticos que el cuadro de mando puede presentar, es decir, partículas, hilos, manchas, etc., se añade un proceso que se dedica a la inspección de este tipo errores. Se considera una debilidad de la empresa ya que es un proceso más en la fabricación del producto que no aporta valor añadido. Lo ideal sería trabajar sin este Firewall.

- **Falta de espacio en la fábrica.** La falta de espacio en la fábrica no permite la realización de otra línea de montaje. Además, esto dificulta la consecución de las 5s puesto que en ciertas ocasiones es difícil establecer una ubicación para el material, rechazo, etc.

- **Absentismo, falta personal de cuarto turno.** La empresa trabaja 3 turnos diarios de lunes a viernes. No existen turnos para trabajar el fin de semana, la única posibilidad de trabajar durante este intervalo de tiempo a través de horas extra donde las operarias tienen derecho a elegir si trabajan el

fin de semana o no. Se termina cubriendo el gap entre demanda y producción originado entre semana produciendo los fines de semanas.

- Este año se han incrementado las producciones/demandas en un 20% en las que si no se asegura el suministro y la calidad del producto **se puede perder la confianza del cliente**. Si se consigue satisfacer la demanda este punto se convierte en una clara fortaleza.

-**Falta de personal mantenimiento** que genera tiempos de espera cuando se produce una avería. El principal problema de las averías es que la línea no puede producir hasta que un operario de mantenimiento se libere y pueda atender las necesidades de la misma.

6.2. Amenazas

- Terremoto en Japón impide que uno de los competidores de Continental entregue el producto a BMW por lo que aumenta la demanda en la planta de Rubí para cubrir las necesidades del cliente y no parar su producción.

- Falta de suministro de uno de los componentes (por accidentes meteorológicos asiáticos) incrementa el coste de dicho material al ser suministrado por otro proveedor.

.

- Demanda en estado creciente.

6.3. Fortalezas

- **Capacidad flexible** en las líneas de producción en función del número de operarias. Las líneas de BMW se diseñaron de tal forma que trabajen 2 operarias. De todas formas, ésta también está capacitada para trabajar con 3 operarias cuando las necesidades lo requieran. Al aumentar el número de operarias en línea aumenta el output por hora trabajada (con un límite de 3 operarias).

- **Capacidad de realizar horas extra el fin de semana:** como se ha mencionado anteriormente, no existe un turno para el fin de semana, pero la empresa puede sostener los costes generados por horas extras. Trabajando el fin de semana se cubre la demanda del cliente.

-**Incortem Exwork** donde paga el cliente los gastos de transporte. Existe la posibilidad de realizar especiales (a cargo de Continental) si no está el producto listo para fecha de expedición con cliente.

- **Filosofía empresa Quality First** en la que se pretende siempre asegurar la mejorar calidad posible. De esta forma, tienen implementado en la línea el **sistema Jidoka (con medalla de oro por auditoría)**. Este sistema permite que el proceso tenga su propio autocontrol de calidad. Si existe una anomalía durante el proceso, éste se detendrá impidiendo que las piezas defectuosas avancen en el proceso.

-Existe una reunión **de producción diaria** donde se tratan los temas que perjudican el indicador de calidad con todo el equipo de producción y los departamentos afectados.

- Las máquinas que realizan **los controles y otras operaciones trabajan con varias paletas** por si se avería alguna no pare la línea y ésta pueda seguir trabajando (a pesar de que el rendimiento de la célula se vea reducido).

-La planta ha conseguido diferentes **medallas de oro y plata (por auditorías)** en las siguientes categorías: **Visual Managment, 5S, Sitema Jidoka y Standar Work**.

6.4. Oportunidades

-**La falta de suministro por parte del competidor de Continental** genera un incremento de demanda para la empresa que si es capaz de asumir implicará un ascenso de confianza del cliente con la empresa y aumento en facturación.

- Demanda en estado creciente.

-Entrada de **nuevos proyectos**.

6.5. Análisis DAFO

Tras este análisis se obtienen una serie de puntos relevantes que serán estudiados con mayor profundidad a continuación.

Continental está atravesando una época donde la demanda del cliente asciende (por problemas de suministro de uno de sus competidores entre otras cosas) y la empresa tiene que trabajar los fin de semanas y realizar transportes urgentes para satisfacerla. Es decir, en ciertas ocasiones producen

una cantidad inferior a la que demandan y cubren ese gap trabajando los fin de semanas. A continuación, se exponen los datos de la producción frente a la demanda diaria del cliente. La demanda es constante exceptuando los fines de semanas en los que el objetivo de la producción se reduce en 500 unidades. Se observa cómo cada día existe una pérdida de producción frente a lo que se demanda exceptuando los fines de semanas que si es satisfecha.

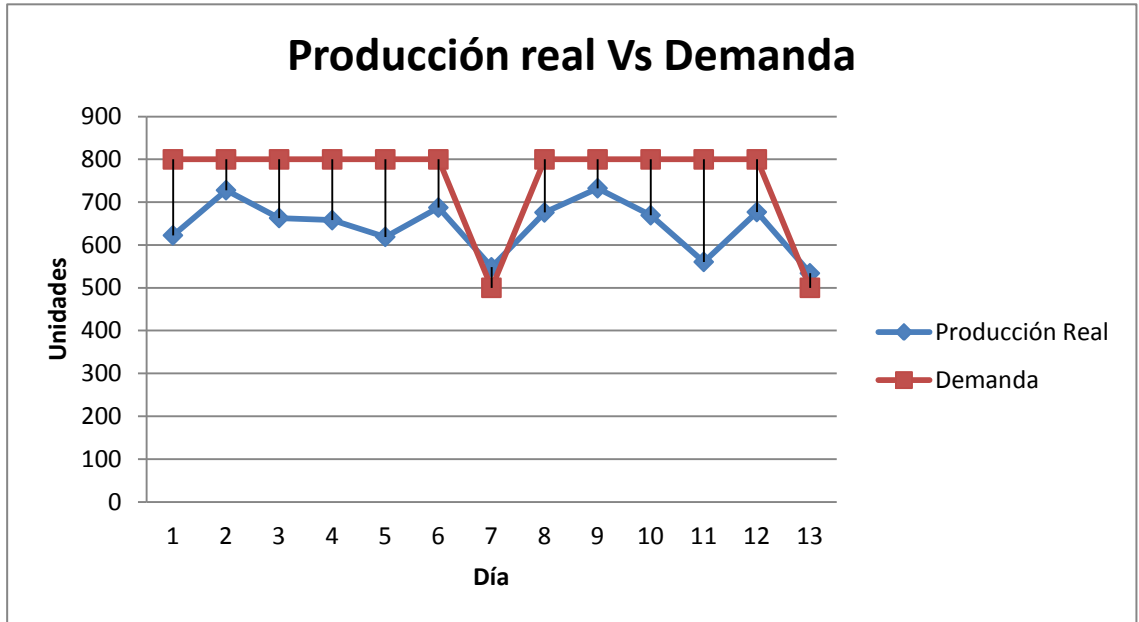


Fig. 12 Producción y demanda L3

Es importante tener en cuenta la diferencia entre demanda y producción diaria acumulada porque a medida que el tiempo transcurre esta cantidad se vuelve más grande y el problema es mucho más difícil de solucionar. En la siguiente tabla se muestran los datos de la gráfica anterior (en ella se pueden ver los valores de la desviación acumulada)

		Producción Real	Demanda	Delta	Desv Acumulada
Semana 1	Día 1	623	800	-178	-178
	Día 2	728	800	-72	-250
	Día 3	663	800	-137	-387
	Día 4	658	800	-142	-529
	Día 5	619	800	-181	-710
	Día 6	688	800	-113	-822
	Fin de Semana	548	500	48	-774
Semana 2	Día 1	676	800	-124	-898
	Día 2	733	800	-68	-966
	Día 3	670	800	-131	-1096
	Día 4	561	800	-240	-1336
	Día 5	677	800	-123	-1459
	Fin de semana	534	500	34	-1425

Tabla. 2 Desviación producción acumulada (en unidades)

La acción de contención que está generando un gran impacto logístico es la realización de transportes especiales. Estos transportes son asumidos por la empresa y reducen el lead time de 5 días a 1 día.

6.5.1. Indicador OEE

El indicador por excelencia del departamento es el indicador de calidad. Un buen indicador de calidad asegura que la producción se maximice en la medida de la posible minimizando de esta forma los retrabajos.

Se debería tener una visión más genérica de tal forma que el Scada no sólo reporte la calidad del producto sino también la disponibilidad y rendimiento teniendo en cuenta como indicador principal el OEE (que englobaría el FPY). El objetivo de este proyecto es la implantación, análisis y uso de un indicador más global. La explicación lógica de esta decisión es que de nada vale fabricar 100 piezas OK/turno si el cliente demanda 200 (a niveles exagerados). El lema de Continental es Quality first, pero cabe mencionar que calidad no es sólo entregar piezas OK a cliente sino también entregar la cantidad deseada. Para ello se realizará el cálculo de los indicadores de disponibilidad y del rendimiento de la línea para un intervalo de tiempo. De esta forma lo que se pretende es conocer

donde se encuentra la posibilidad de mejora. Entre otros temas, es importante realizar un estudio que explique los motivos de los niveles de producción obtenidos con el fin de averiguar sobre si:

- La línea tiene una capacidad limitada y no es capaz de superar el objetivo.
- La línea es capaz de satisfacer la demanda del cliente (sin trabajar los fin de semanas), pero por otro tipo de razones no llega a las capacidades de producción definidas.

El OEE es una herramienta muy potente que localiza las pérdidas y por lo tanto el análisis de sus 3 indicadores muestra el punto de partida para la Mejora Continua.

6.5.2. Herramienta FPY predictivo

Una de las fortalezas de la empresa es que el indicador de calidad se visualiza en tiempo real y en intervalos de tiempos pasados. Al introducir una fecha en SCADA esta herramienta reporta los resultados obtenidos de la línea. De todas formas, la empresa no es conocedora del indicador que va a conseguir pasado un período de tiempo, es decir, no existe una herramienta que prevea este indicador. Realizar una previsión del indicador es una acción para aumentar su porcentaje. De esta forma, al aumentar el indicador de calidad, se aumenta la producción (por la disminución de piezas reprocesadas), se reducirá el scrap (coste de rechazo) y aumentará la confianza del cliente con respecto a la calidad del producto acabado. Por lo tanto, esta acción dada tendrá una repercusión sobre las dos grandes debilidades del departamento de producción de la empresa, niveles de producción y de calidad.

A continuación, se va a desarrollar y calcular el OEE con el objetivo de averiguar la causa raíz del problema que está limitando la producción. Una vez analizada esta situación el siguiente episodio se basará en la herramienta de cálculo del FPY predictivo que aumentará el indicador de calidad y por lo tanto terminará aumentando la eficiencia general del equipo.

7. IMPLANTACIÓN OEE

Medir el OEE es el punto de partida para la mejora continua. Lo ideal sería que la línea funcione siempre que se necesite, a la máxima velocidad y produciendo sólo piezas buenas a la primera. Como se ha mencionado en el anterior capítulo con el análisis del DAFO, el OEE permite identificar las pérdidas diferenciadas a través de los siguientes factores: disponibilidad, rendimiento y calidad.

En la práctica, el valor de OEE es mucho más bajo de lo esperado. La diferencia entre lo ideal y la realidad es igual a la suma de las pérdidas y, en consecuencia, muestra exactamente dónde se encuentran las posibilidades de mejora. Por ello, el proceso de mejora empieza con la medición del OEE.

El indicador por excelencia de la empresa (en el departamento de producción) es el que mide la calidad interna de la producción (First Pass Yield). Este indicador es muy importante pero también debería considerarse otro indicador que refleje la cantidad de piezas obtenidas por turno frente a las que debería haber sido producidas. De esta forma, se puede tener un indicador de calidad del 100% pero estar por debajo de los niveles de producción y que estos resultados no se reflejen en la variación de ningún indicador (aunque si en el número de piezas fabricadas, dato proporcionado directamente por Scada). El indicador capaz de medir la calidad del producto y tener en cuenta la disponibilidad de las máquinas y el rendimiento de las operarias y máquinas es el OEE, este indicador engloba el FPY y además otros dos indicadores más. Se trata de mirar la calidad (que influye en los niveles de producción) pero también otros factores directamente relaciones con la producción de las líneas.

Este indicador se encargará de medir la eficiencia productiva de la maquinaria industrial de la línea. El OEE resulta de multiplicar las tres razones porcentuales ya mencionadas anteriormente.

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad} \quad (\text{Ec. 7.1})$$

Las grandes pérdidas que considera el OEE se mencionan a continuación:

1. Paradas/Averías.
2. Configuración y Ajustes.
3. Pequeñas Paradas.
4. Reducción de velocidad.
5. Rechazos por Puesta en Marcha.
6. Rechazos de Producción.

Las dos primeras, paradas y averías afectan a la disponibilidad. Las dos siguientes, pequeñas paradas y reducción de velocidad, afectan al rendimiento y los dos últimos rechazos por puesta en marcha y rechazos de producción afectan a la calidad.

A continuación, se realizará el cálculo de los 3 distintos factores con el fin de obtener las anteriores pérdidas mencionadas y proponer las acciones correspondientes para reducirlas y aumentar de esta forma el indicador.

7.1. Cálculo Disponibilidad

La disponibilidad es el cociente entre el tiempo operativo real y el tiempo programado para un periodo de producción determinado (en este caso de un turno). La disponibilidad se ve afectada por las paradas que se producen en el proceso de fabricación como por ejemplo: arranques de máquinas, cambios, averías y esperas. A continuación, se muestra el cociente:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo Operativo Real}}{\text{Tiempo programado}} \quad (\text{Ec. 7.2})$$

Lo que se obtendrá al final de capítulo va a ser este resultado (calculando previamente el tiempo programado y el tiempo operativo real en los siguientes apartados):

$$\text{Disponibilidad} = \frac{404,27 \text{ min}}{447 \text{ min}} \times 100 = 90,44\%$$

La obtención de este indicador se realiza para un intervalo de tiempo, ya como se ha mencionado anteriormente de un turno. Esta decisión no quiere decir que se escoja un turno para evaluar, sino que se realizará una media de un intervalo de tiempo más amplio para poder obtener datos con mayor exactitud.

El tiempo operativo real y el programado se representan a través de las siguientes fórmulas:

$$T. \text{ Operativo Real} = T. \text{ Disponible} - T. \text{ Programado} - T. \text{ No Programado} \quad (\text{Ec. 7.3})$$

$$T. \text{ Programado} = T. \text{ Disponible} - T. \text{ Paradas programadas} \quad (\text{Ec. 7.4})$$

7.1.1. Tiempo programado

Un turno cuenta de 480 minutos de los cuales 25 minutos están dedicados a las pausas, es decir, a los dos descansos que las operarias tienen cada dos horas trabajadas por convenio. Una vez a la semana se realiza una parada preventiva que tiene una duración de 2 horas. Esta parada es destinada a aspectos relacionados con la limpieza de la línea, limpieza de puestos, suelos, estanterías, etc.

Para poder atribuir a un turno parte de esta parada se procede a realizar la media aritmética dividiendo este tiempo entre días y turnos trabajados para mantener un reparto proporcional (realizamos los cálculos conforme se trabajan 5 días, en horas laborables sin tener en cuenta las extras):

$$120 \frac{\text{min}}{\text{semana}} \times \frac{\text{semana}}{5 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ día}}{3 \text{ turnos}} = 8 \text{ min}$$

Una vez obtenidas las paradas programadas por turno se puede calcular el tiempo programado en dicho intervalo de tiempo a través de la Ec 7.4 página 35:

$$\text{Tiempo Programado} = 480 \text{ min} - (25 \text{ min} + 8 \text{ min}) = 447 \text{ minutos}$$

7.1.2. Tiempo operativo real

La diferencia entre el tiempo programado de producción y el operativo real viene dado por aquellas paradas dadas en la línea que no están programadas. Las explicaciones de estas paradas no programadas son producidas por diferentes razones. Estas razones se representan en la siguiente tabla con sus respectivas duraciones. Para calcular la duración de cada una de las paradas se han utilizado los porcentajes de improductivos proporcionados por la empresa sobre el total de tiempo programado en el intervalo de tiempo de un mes (realizando una media para realizar el cálculo por turno).

Paradas No Programadas	Duración
Falta material	0,48 min
Averías	5,1 min
Tiempo espera	10 min
Formación	13,77 min
Otros	13,38 min
Total	42,73 min

Tabla. 3 Duración paradas no programadas

Una vez obtenidas y calculadas las paradas no programadas por turno en minutos se procede a realizar la suma para saber la cantidad de tiempo que se tiene pensado producir y trabajar y debido a una serie de contratiempos no es posible.

Según lo deducido en la Ec 7.3 (página 35) se puede obtener que el tiempo operativo real es igual a:

$$T. \text{Operativo Real} = 447 \text{ min} - 42,73 \text{ min} = 404,27 \text{ min}$$

A continuación, se explica la manera de calcular cada una de las paradas no programadas mencionadas en la anterior tabla. Se realiza el cálculo de lo que representa el porcentaje proporcionado por la empresa en tiempo por turno (media), ya que tiempo es la medida que se utiliza para obtener el factor de la disponibilidad y no el porcentaje de improductivos obtenidos. Para ello se utilizan la siguiente fórmula:

$$\% \frac{\text{Improductivo}}{\text{turno}} = \frac{\% \text{Improductivo/día}}{\text{Nº turnos/día}} \quad (\text{Ec. 7.4})$$

$$\text{Tiempo improductivo/turno} = \frac{T. \text{programado/turno} \times \% \text{ improductivo/turno}}{100\%} \quad (\text{Ec. 7.5})$$

7.1.2.1. Falta de material

La falta de circuitos provoca que la línea se pare y no pueda seguir produciendo. Sobre el total del tiempo programado para producir existe un porcentaje destinado a estas paradas. La línea se para muy pocas veces por falta de circuitos, pero cuando lo hace el intervalo de tiempo suele ser mucho mayor que en el resto de las paradas no programadas.

Para el cálculo de este improductivo se recopilan los improductivos del intervalo de tiempo de un mes y se realiza una media diaria lo que se obtiene un improductivo diario de 0,325% sobre el 100% del tiempo destinado para producir. A continuación, se procede al cálculo de este improductivo por turno realizando la media correspondiente:

$$\% \text{ Improductivo/turno} = \frac{0,325\% \text{ día}}{3 \text{ turnos}} = 0,108\%$$

$$\text{Tiempo improductivo/turno} = \frac{447 \text{ min} \times 0,108\%}{100\%} = 0,48 \text{ min}$$

7.1.2.2. Averías

Existen 6 puestos diferentes que debido a la complejidad y precisión de los controles muchas veces acaban originando problemas. Tras realizar un estudio de los paros por averías se observa cuáles son las estaciones y los motivos que provocan la mayoría de los paros (estación 3).

El porcentaje del improductivo que se genera por averías relacionadas con mantenimiento (realizando una media aritmética) es de 2,41%. Se procede a realizar la misma operación para calcular que tiempo que debería estar trabajando la línea y no lo está por este problema:

$$\% \text{ Improductivo por turno} = \frac{2,41\% \text{ día}}{3 \text{ turnos}} = 0,804\%$$

$$\text{Tiempo improductivo/turno} = \frac{447 \text{ min} \times 0,804\% \text{ n}}{100\%} = 3,59 \text{ min}$$

Existen otro tipo de averías que necesitan el soporte del departamento de medios y no de mantenimiento de un valor de 1,02% diario de media:

$$\% \text{ Improductivo/turno} = \frac{1,02\% \text{ día}}{3 \text{ turnos}} = 0,342\%$$

$$\text{Tiempo improductivo/turno} = \frac{447 \text{ min} \times 0,342\%}{100\%} = 1,53 \text{ min}$$

Sumando los dos factores se obtiene un improductivo total de media por turno de:

$$\text{T. improductivo averías} = \text{Averías mantenimiento} + \text{Avería medios} \quad (\text{Ec. 7.6})$$

$$\text{T. improductivo} = 3,59 \text{ min} + 1,53 \text{ min} = 5,1 \text{ min}$$

7.1.2.3. Formación

La línea está capacitada para trabajar hasta con 3 operarias. Debido al crecimiento de la producción y demanda se está incrementando el número de operarias nuevas que entran en estas líneas. Existen muchos improductivos que las compañeras registran en el sistema tras tener que pararse con el fin de explicarle y resolver las dudas de la nueva compañera:

$$\% \text{ Improductivo/turno} = \frac{9,24\% \text{ día}}{3 \text{ turnos}} = 3,08\%$$

$$\text{Tiempo improductivo/turno} = \frac{447 \text{ min} \times 0,308\%}{100\%} = 13,77 \text{ min}$$

7.1.2.4. Tiempos de espera

Los tiempos de espera son una de las principales razones que generan improductivos y provocan un descenso de la producción. La falta de personal en mantenimiento provoca que cuando una línea está parada ésta tenga que esperar a que el personal sea liberado de otra línea para poder solucionar el problema de las líneas de BMW. Se han tomado tiempos desde que las operarias llaman al equipo de mantenimiento hasta que éstos llegan a las líneas a resolver el problema. La media del tiempo de espera es de 5 minutos/avería con una media de 2 averías al turno, sumando un total de 10 minutos/turno.

7.1.2.5. Otros improductivos

Existen improductivos que se deciden catalogar como "otros" ya que son improductivos por reuniones, cambios de referencia, problemas de calidad, etc. Se agrupan en un mismo apartado porque por separado resultan improductivos bajos. Se calcula el tiempo de la misma forma que los demás:

$$\% \text{ Improductivo por turno} = \frac{8,98\% \text{ día}}{3 \text{ turnos}} = 2,99\%$$

$$\frac{\text{Tiempo programado turno} \times \% \text{ improductivo turno}}{100\%} = \frac{447 \text{ min} \times 0,299\%}{100\%} = 13,38 \text{ min}$$

Con la suma de cada una de estas paradas se calcula las paradas no programadas resultando un total de tiempo de 42,73 min. De esta forma ya se puede aplicar la Ec 7.3 página 35 obteniendo el siguiente resultado:

$$\text{Tiempo Operativo Real} = T. \text{ Disponible} - T. \text{ Programado} - T. \text{ No programado}$$

$$\text{Tiempo Operativo Real} = 480 \text{ min} - 447 \text{ min} - 42,73 \text{ min} = 404,27 \text{ min}$$

Una vez calculado el tiempo operativo real y el tiempo programado se obtiene el indicador de la Disponibilidad para ese intervalo de tiempo dado.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{404,27 \text{ min}}{447 \text{ min}} \times 100 = 90,44\%$$

7.2. Incremento Disponibilidad

Este capítulo se centra en la reducción de tiempos de averías y de esperas. Se pretende introducir las reparaciones de aquellas averías repetitivas en las paradas programadas de los preventivos. Estas averías que paran la línea y provocan en ciertas ocasiones tiempos de espera son:

- Ajustar reglas anillos.
- Ajustar clavado de las agujas.

Estas dos acciones se realizan cuando los controles detectan que los valores obtenidos están fuera de los límites establecidos. La propuesta es realizar estos ajustes una vez por semana en el preventivo de forma que se reduzcan los tiempos de paros (y también se incremente el indicador de calidad al evitar el fallo en la línea).

↓ Averías ⇒ ↓ Tiempos de espera

Se trata de solucionar los problemas que suelen producirse cada semana en las paradas programadas de los preventivos y buscar además en paralelo una solución y modificación en el sistema que evite que la avería se produzca. Esta modificación es traspasada al departamento de industrialización y mantenimiento con el fin de encontrar un sistema robusto. En el siguiente cuadro se visualiza lo mencionado anteriormente:

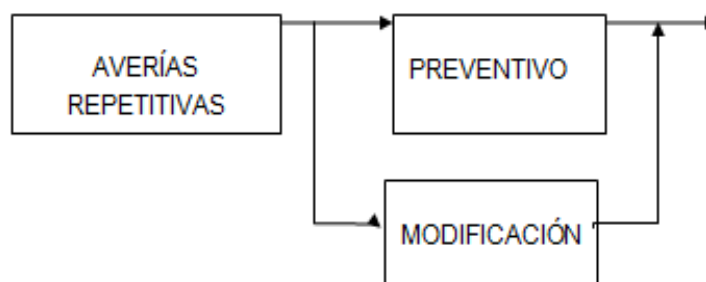


Fig. 13 Diagrama de gestión averías

De todas las averías, éstas mencionadas anteriormente representarían un 10% ya que, de cada 10 averías, una se encuentra dentro del rango de ajuste del clavado y/o anillo.

Se reducen las averías en un 10% y con ellas el tiempo de espera en la misma proporción:

Paradas no Programadas	Tiempo Sin Mejora	Tiempo Con Mejora
Averías	5,1 min	4,59 min
Tiempo espera	10 min	9 min

Tabla. 4 Comparación Paradas mejora / sinmejora

A continuación, se procede a calcular el nuevo tiempo operativo real para cada turno teniendo en cuenta la reducción de averías y tiempos de espera, es decir, reduciendo el tiempo no programado de 42,73 minutos por turno a 41,22 minutos.

$$T. \text{Operativo Real Mejora} = 447 \text{ min} - 41,22 \text{ min} = 405,78 \text{ min}$$

La disponibilidad varía proporcionalmente en función de la variación del tiempo operativo real por lo que al cambiar éste, también cambia el porcentaje de disponibilidad de las máquinas:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{405,78 \text{ min}}{447 \text{ min}} \times 100 = 90,77\%$$

La siguiente tabla muestra el incremento del factor considerando esta acción y sin considerarla:

	T. Programado	T. Operativo real	Disponibilidad
Antes	447 min	404,27 min	90,44 %
Ahora	447 min	405,78 min	90,77 %

Tabla. 5 Comparación Disponibilidad mejora/sin mejora

$$\Delta \text{ Disponibilidad} = D. \text{Antes} - D. \text{Ahora} \quad (\text{Ec. 7.7})$$

$$\Delta \text{ Disponibilidad} = 90,77\% - 90,44\% = 0,33\%$$

7.3. Cálculo Rendimiento

El Rendimiento resulta de dividir la cantidad de piezas realmente producidas entre la cantidad de piezas que se podrían haber producido.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producción Real}}{\text{Producción Prevista}} \quad (\text{Ec. 7.8})$$

La cantidad de piezas que se podrían haber producido se obtiene multiplicando el tiempo destinado a producir (tiempo operativo real) por la capacidad de producción nominal de la línea (cuello de botella).

Sin embargo, la producción real se refiere a la cantidad de piezas que se terminaron produciendo en un intervalo de tiempo dado. La diferencia entre ambas viene dada por la velocidad reducida de las máquinas y/o operarias. Como ya se ha mencionado otras veces la línea consta de 6 estaciones diferentes de las cuales 3 trabajan con varias paletas con el fin de igualar el tiempo de ciclo de cada una de las estaciones. La falta de alguna de estas paletas reduce la velocidad considerablemente.

Obtenidos estos dos factores (calculados en los próximos subcapítulos) se puede calcular el rendimiento a través de la fórmula citada anteriormente.

$$\text{Rendimiento} = \frac{247 \text{ uds/turno}}{295,8 \text{ uds/turno}} \times 100 = 83,5\%$$

Como se acaba de comentar, para lograr este resultado se debe calcular la producción prevista. Esto se obtiene a través de:

- Estudio de medición de tiempos.
- Cálculo del cuello de botella de la línea.

Una vez calculada la producción prevista se tiene en cuenta la velocidad reducida de las máquinas para el cálculo de la producción real.

7.3.1. Estudio medición de tiempos

Al inicio del proyecto, la línea fue dimensionada con el fin de que el número de operarias que trabajasen normalmente en la línea fueran dos (y no 3 como es el escenario actual). La integración de

la tercera operaria en el montaje del producto incrementa la cantidad de piezas producidas. Tras un estudio desarrollado por la empresa se puede afirmar que más de tres operarias trabajando en la línea reducirían los niveles de producción puesto que una se interrumpiría a la otra.

Para poder calcular la producción máxima obtenida por hora se debe tener en cuenta el tiempo básico del ciclo de cada una de las operarias, sus suplementos y la actividad a la que trabajan.

Cada operaria emplea un tiempo en función del número y duración de las operaciones que deba realizar. Este tiempo es proporcionado por la empresa y se refiere al tiempo obtenido cuando las operarias trabajan a un ritmo 100, es decir el tiempo básico. En estos tiempos (un tiempo para cada operaria) se tienen en cuenta el tiempo de máquina en marcha y de máquina parada. El tiempo interno no contabiliza por lo tanto no se añade al tiempo de montaje de la operaria. Por este motivo, ciertos controles y operaciones automáticas no incrementen el tiempo de ciclo (la operaria simultáneamente realiza otras operaciones).

A continuación, se muestra una tabla que resume los puntos más importantes en la medición de tiempos: Tiempo básico y tiempo estándar (se señala en negrita la operaria que emplea el mayor tiempo y por lo tanto limita la producción).

Operaria	T. Normal	T. Estándar	P. Estándar
1	1,451min	1, 639 min	36,6 uds
2	1,449min	1,637min	36,63 uds
3	1,347min	1,553min	38,7 uds

Tabla. 6 Estudio de tiempos. Actividad 100

7.3.1.1. Tiempo normal (básico)

A través del dato proporcionado por la empresa se obtiene el tiempo básico para cada una de las 3 operarias que componen la fabricación del cuadro de mandos de BMW.

$$\text{Tiempo básico} = \text{Tiempo observado} \times \text{factor actividad} \quad (\text{Ec. 7.9})$$

$$\text{Tiempo básico Op1} = 1,451 \text{ min} \times \frac{100}{100} = 1,451 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo básico Op2} = 1,449 \text{ min} \times \frac{100}{100} = 1,449 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo básico Op3} = 1,347 \text{ min} \times \frac{100}{100} = 1,347 \text{ min}$$

7.3.1.2. Tiempo estándar

A raíz del tiempo básico se obtiene el tiempo estándar. Este es el que realmente hay que tener en cuenta para averiguar lo que realmente se produce (ya que la diferencia entre el tiempo básico y el estándar es que éste último tiene en cuenta los suplementos).

$$\text{Tiempo estándar} = \text{Tiempo básico} \times \text{Suplementos} \quad (\text{Ec. 7.10})$$

$$\text{Tiempo estándar Op1} = 1,451 \times (1 + 0,05 + 0,04 + 0,04)$$

$$\text{Tiempo estándar Op2} = 1,449 \times (1 + 0,05 + 0,04 + 0,04)$$

$$\text{Tiempo estándar Op3} = 1,347 \times (1 + 0,05 + 0,04 + 0,04)$$

El método de valoración de los suplementos divide los factores de los suplementos en fijos y variables. Los factores fijos agrupan las necesidades personales con un porcentaje del 5% tanto para hombres y mujeres- Además de las necesidades personales, el grupo de factores constantes agrupa a un porcentaje básico de fatiga, el cual corresponde a lo que se piensa que necesita una operaria que cumple su tarea en las condiciones deseadas, este porcentaje se valora con un 4%.

La cantidad variable sólo se aplica cuando las condiciones de trabajo no son las deseadas y no se pueden mejorar. Los factores que deben tenerse en cuenta para calcular el suplemento variable en las líneas de producción son las siguientes:

- Trabajo de pie: 4 puntos.
- Tensión Visual: Trabajos de tensión: 2 puntos.

Son un total de 6 puntos donde en la tabla de conversión de puntos se obtiene un porcentaje de 4%. Para el tiempo estándar se calcula la cantidad producida en el período de tiempo dado de una hora.

$$\text{Producción/h} = \frac{60 \text{ min}}{\text{T.básico Operaria 1}} \quad (\text{Ec. 7.11})$$

A través de las Ec 7.9 y la 7.10 se puede obtener los tiempos estándar (es decir, considerando los suplementos) para cada una de las actividades:

Actividad	80	90	100	110	120	130	133
T.Estándar (min)	2,05	1,82	1,64	1,49	1,37	1,26	1,23
Piezas/ h	29,29	32,95	36,61	40,27	43,93	47,59	48,80

Tabla. 7 Tiempos y producción según actividad

Los tiempos estándar mostrados en la tabla son los de la operaria 1 ya que ésta es la que tiene un tiempo mayor y por lo tanto es el tiempo representante que limita la producción.

Se muestra un ejemplo de cálculo de la tabla anterior para la actividad 133:

$$\text{Tiempo básico a 133} = 1,451 \text{ min} \times \frac{133}{100} = 1,93 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo estándar a 133} = 1,93 \text{ min} \times 1,13\% = 2,17 \text{ min}$$

Por lo tanto, se puede obtener con que, dependiendo de la actividad de las operarias, el output de la línea tendrá una variación de 12 unidades (aproximadamente) por hora teniendo en cuenta que lo mínimo es trabajar a 100 y el máximo a 133:

$$\Delta \text{ Output Actividad 100 y 133} = \text{Producción/h a 133} - \text{Producción/h a 100} \quad (\text{Ec. 7.12})$$

$$\Delta \text{ Output Actividad 100 y 133} = 48,80 \text{ uds} - 36,61 \text{ uds} = 12,19 \text{ uds}$$

Se muestra una gráfica de los niveles de producción en función de la actividad a la que trabajan las operarias (suponiendo que las 3 operarias trabajan a una misma actividad):

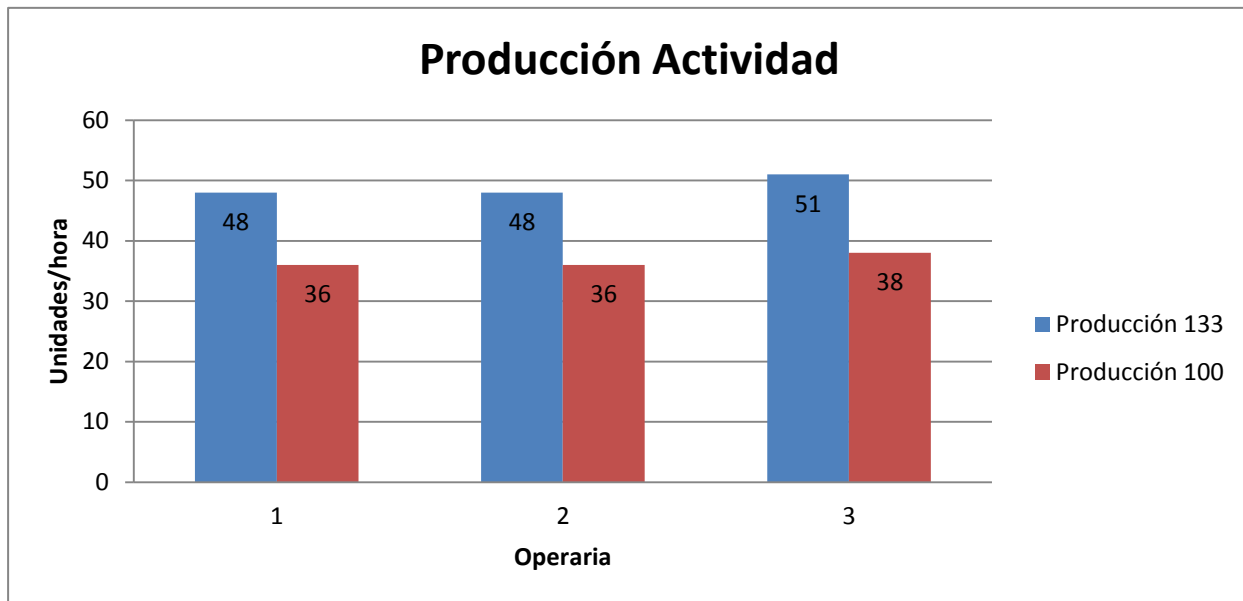


Fig. 14 Gráfico producción según actividad

7.3.2. Cálculo del cuello de botella. Capacidad máxima

Según el estudio de métodos y tiempos, el cuello de botella es la operaria 1, ya que ésta es la que más tiempo tarda en realizar las operaciones. Sin embargo, interviene otra operación que no se encuentra implícita en el tiempo de ninguna de las operarias y ésta es el tiempo en el que los cuadros están en el puesto 5 (carrusel) siendo flasheados.

Se han analizado dos escenarios diferentes en función de la actividad de la operaria, es decir del ritmo al que trabaje. En función de este ritmo el tiempo de montaje será mayor o menor al tiempo que tarda el carrusel en realizar su actividad. El motivo de que este tiempo no se represente en ninguna de las operaciones de las operarias es porque cuando se diseñó el proyecto, el carrusel fue diseñado como buffer donde se depositarían los cuadros de mando, pero nunca se llegó a pensar que acabaría siendo el cuello de botella (por numerosos procesos añadidos al proceso de flasheo solicitado por cliente).

A continuación, se calcula el ritmo a partir del cual el carrusel se convierte en el cuello de botella y se analiza cual es el cuello de botella trabajando a ritmo normal y a ritmo óptimo.

7.3.2.1. Ritmo óptimo

En este caso el carrusel sería el cuello de botella porque cuando las operarias terminan de realizar sus respectivas operaciones, ellas no pueden seguir avanzando porque en el caso de la operaria 3 ésta, está esperando a que el carrusel termine de flashear el cuadro y la operaria 2 no puede depositar el cuadro porque no hay nidos (paletas) disponibles. Por lo tanto, en esta situación el carrusel sería el cuello de botella. La actividad del carrusel por cada pieza tiene una duración 13 minutos. Para reducir este tiempo y que no se genere una acumulación de piezas esperadas a ser procesadas por el carrusel se han establecido 10 nidos diferentes que realizan la misma actividad. De esta forma el tiempo de ciclo del carrusel se reduce a una décima parte por lo que cada 1,3 minutos se flashea una pieza. El principal motivo es que el tiempo de ciclo en este caso es mayor que el de la operaria 1 cuando trabaja a un ritmo de 133:

$$\text{Tiempo carrusel} > \text{Tiempo op 1} = 1,3 \text{ min} > 1,233 \text{ min} \quad (\text{Ec. 7.13})$$

7.3.2.2. Ritmo normal

En este otro escenario lo que ocurre es que el tiempo de la operaria 1 es mayor al del carrusel. El cuello de botella en este caso por lo tanto será la operaria 1:

$$\text{Tiempo carrusel} < \text{Tiempo op 1} = 1,3 \text{ min} < 1,639 \text{ min} \quad (\text{Ec. 7.14})$$

7.3.2.3. Ritmo punto de corte

Es necesario conocer el ritmo al que trabajan las operarias a partir del cual el carrusel comienza a ser el cuello de botella. Para su realización se debería calcular a qué ritmo la operaria 1 (que es la que genera mayor tiempo de las 3) tarda el mismo tiempo que el carrusel. Este tiempo es 1,3 min, por lo tanto, para conocer el ritmo se emplea la fórmula que hace referencia al factor de actividad:

$$\text{Tiempo estándar op 1} = \text{Tiempo carrusel} \quad (\text{Ec. 7.15})$$

$$1,639 \text{ min} = 1,3 \text{ min} \times \frac{x}{100}$$

X es igual a 126. Esto quiere decir que cuando las operarias trabajan por debajo de este ritmo el cuello de botella no es el carrusel sino la operaria 1.

A modo resumen, en el siguiente gráfico se muestra el cuello de botella en función de la actividad a la que trabajen las operarias (escala centesimal):

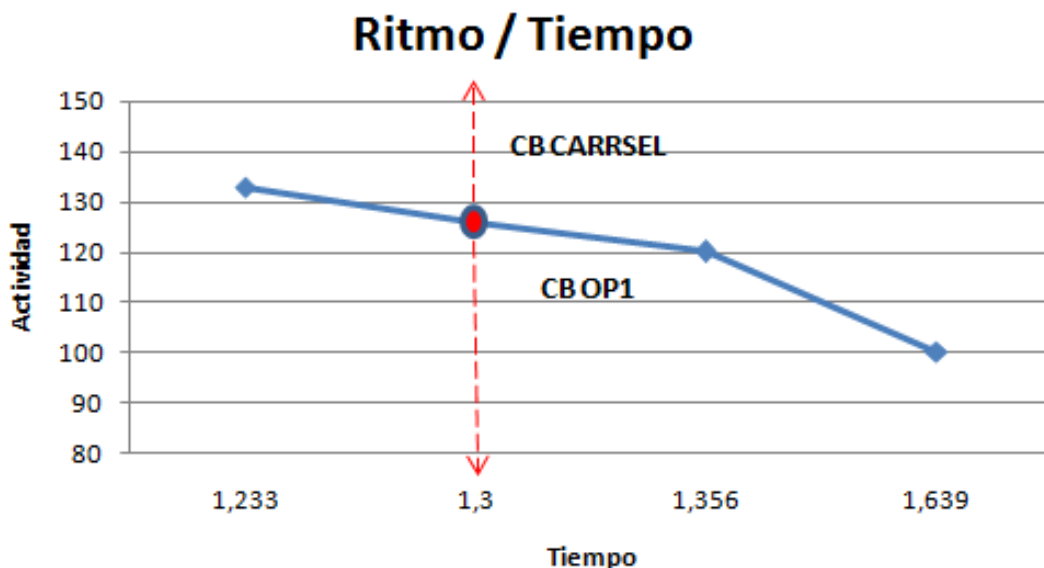


Fig. 15 Punto cambio cuello botella

De esta forma se obtiene que el tiempo de ciclo marcado como mínimo será de 1,3 minutos ya que si las operarias trabajan a un ritmo superior de 126 el carrusel será la operación que marque el tiempo de ciclo, y si de lo contrario no lo es, el tiempo de ciclo será mayor ya que las operarias trabajan a un ritmo por debajo de 126. La máxima producción que se puede obtener es, por lo tanto:

$$\text{Producción máxima/h} = \frac{60 \text{ min}}{\text{Tiempo de ciclo línea}} \text{ (Ec. 7.16)}$$

$$\text{Producción máxima/h} = \frac{60 \text{ min}}{1,3 \text{ min}} = 46,13 \text{ uds/h}$$

7.3.3. Producción prevista

El cálculo de la producción prevista debe ser realista y no se aproximaría a la realidad que las operarias estén trabajando a una actividad de 133 el 100% del tiempo. En ciertas ocasiones y dependiendo de la experiencia de la operaria, éstas trabajarán a un ritmo u a otro. Se establece una media de actividad ponderada de 120 ya que a partir de 120 es cuando ellas comienzan a cobrar la

prima. Se obtiene entonces que algunas trabajan por encima de la media y otras por debajo dependiendo del momento y de las circunstancias dadas.

Trabajando a actividad 120 el cuello de botella es la operaria 1 (por ser inferior a la actividad de 126 que es el punto de corte). El tiempo de ciclo de esta operaria es 1,37 minutos (calculado en la tabla 7 página 46) y por lo tanto la producción por hora a este ritmo será de:

$$\text{Producción Prevista} = \text{Producción a 120} \quad (\text{Ec. 7.17})$$

$$\text{Producción a 120/h} = \frac{60 \text{ min}}{\text{Tiempo de ciclo a 120}} \quad (\text{Ec. 7.18})$$

$$\text{Producción Prevista/h} = \frac{60 \text{ min}}{1,37 \text{ min}} = 43,9 \text{ uds/h}$$

Realizando el cálculo de la producción prevista por turno se obtiene la siguiente cantidad de piezas que se debería obtener:

$$\text{Producción Prevista/t} = \text{Producción a 120} \times \text{Tiempo operativo real} \quad (\text{Ec. 7.19})$$

$$\text{Producción Prevista/t} = 43,9 \frac{\text{uds}}{\text{h}} \times 404,27 \text{ min} \times \frac{1\text{h}}{60 \text{ min}} = 295,8 \text{ uds/turno}$$

7.3.4. Producción real

A pesar de que la previsión por turno sea de 295,8 piezas hay otros factores que se han comentado anteriormente que originan que la producción esté por debajo de lo previsto. La razón principal viene dada por la velocidad reducida de las máquinas y la reducción de la actividad de las operarias.

7.3.4.1. Velocidad reducida máquinas

La línea consta de 6 estaciones diferentes de las cuales 3 trabajan con varias paletas con el fin de igualar el tiempo de ciclo de cada una de las estaciones: la estación 3 consta de 4 paletas, la estación 5 consta de 10 paletas y la estación 6 consta de 4 paletas. Un total por lo tanto de 18 paletas en las que la falta de alguna de ellas reduce la producción considerablemente.

La empresa no utiliza una fórmula concreta que calcule la reducción de la velocidad de las máquinas en función de las paletas que están desactivadas. Es decir, los improductivos obtenidos por la empresa actualmente no discriminan entre si tienen 1 paleta desactivada o si son 2, así que las

operarias cuando accionan el contador de " improductivo " empieza a sumar indistintamente del número de paletas que estén sin trabajar.

Se propone una manera sencilla de cálculo donde se refleje los porcentajes de improductivos en función del tiempo y del número de paletas que estén desactivadas.

Un improductivo del 100% en paletas desactivadas significaría tenerlas todas desactivadas durante un turno entero. Son 18 paletas que como se ha mencionado anteriormente en una situación ideal deberían estar trabajando el 100% del tiempo que la línea está produciendo, es decir, 404,27 min (6,74h)

$$\text{Disponibilidad de paletas} = 6,74\text{h} \times 18 \text{ paletas} = 121,3 \text{ h}$$

Las paletas han estado desactivadas un total de tiempo de 20h sobre la disponibilidad total de horas. Se ha realizado un estudio con el número de paletas desactivadas y el tiempo para cada turno y se ha realizado una media. Esas 20 horas se reparten de la siguiente manera entre las paletas del puesto 3, 5 y 6:

- 6 horas 1 paleta del puesto 5
- 6 horas 1 paleta del puesto 3
- 4 horas 1 paleta del 6 y 4 horas 1 paleta del 6

El improductivo generado se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Improductivo por paletas} = 100\% - \frac{\text{Tiempo trabajado paletas}}{\text{Disponibilidad de paletas}} \times 100 \quad (\text{Ec. 7.20})$$

$$\text{Improductivo} = 100 - \frac{101,3}{121,3} \times 100 = 16,5\%$$

Esto significa que del 100% del tiempo operativo real, el 16,5% es tiempo perdido debido a la reducción de la velocidad de las máquinas:

La producción real será, por lo tanto:

$$\text{Producción Real/t} = \text{Producción prevista/t} \times \text{Velocidad reducida máquinas} \quad (\text{Ec. 7.21})$$

$$\text{Producción Real/t} = 295,8 \frac{\text{uds}}{\text{h}} \times 0,835 = 247 \text{ uds/turno}$$

Realmente este cálculo no sería 100% fiable ya que, en función del puesto, desactivar una paleta reduce en mayor o menor cantidad el número de piezas pérdidas. Es decir, en un ejemplo hipotético, el puesto 5 es el cuello de botella de la línea, por lo tanto el tener una paleta menos en este puesto tiene una mayor repercusión en la producción que tener una menos en el puesto 3. Si coincide que en las 6 horas hay una paleta menos del 5 y una menos del 3 desactivada, la que limitará la producción es tener una paleta menos en la estación 5. Por lo tanto, el tiempo que la 3 está desactivada simultáneamente a la del puesto 5 no afectaría a la producción. Para calcular la reducción de las máquinas de ésta manera existirían prácticamente infinitas posibilidades en función del número de operarias que estén trabajando en la línea y el número y tipo de paletas que se encuentren desactivadas por intervalo de tiempo.

Se simplifican los cálculos teniendo en cuenta que la desactivación de cada paleta genera las mismas pérdidas de output. Al final lo importante es mantener un estándar de trabajo, es decir, calcular el indicador siempre de la misma manera. De esta forma, se puede realizar la comparación entre lo actual y lo que se obtendrá en intervalos futuros y en función de esto conocer si el rendimiento de la línea ha incrementado o no.

7.3.4.2. Velocidad reducida operarias

Si las operarias reducen su velocidad el número de piezas producidas por turno diferirán de las que se tenían planeado fabricar. De todas formas, como el cálculo de la producción prevista se ha realizado considerando una media aritmética del ritmo al que trabajan las operarias (y no el ritmo óptimo), el cálculo de la velocidad reducida de las operarias ya se encuentra implícito en la obtención de la producción prevista.

Por lo tanto, algunas veces las trabajadoras trabajarán a un ritmo de 133 y otras veces a un ritmo de 100, resultando la media de la actividad trabajada por todas las operarias de 120. La realización de esta media como se ha mencionado anteriormente, ya se ha tenido en cuenta para el cálculo de la producción prevista por lo tanto no hace falta realizarlo para la producción real, ya que suponer que las operarias trabajan a 120 es una suposición real basada en un muestreo.

7.4. Incremento Rendimiento

En primer lugar, se exponen los tiempos estándar trabajando a una actividad de 120 (media). Se escoge este ritmo para realizar la mejora correspondiente porque es como ya se ha mencionado anteriormente la media de las actividades de todas las trabajadoras y a partir de la cual éstas cobran la prima.

Operaria	Tiempo 120	P. Ritmo 120
1	1,37 min	43,9 uds/h
2	1,36 min	44,1 uds/h
3	1,29 min	46,5 uds/h
Carrusel	1,3 min	46,1 uds/h

Tabla. 8 Tiempos iniciales sin mejoras

Según lo que se visualiza en la tabla es que la operaria 1 es el cuello de botella por lo que se propone la siguiente solución con el fin de reducir su tiempo y aumentar el número de piezas fabricadas por intervalo de tiempo.

7.4.1. Propuesta Disminución Tiempo Operaria 1

Esta operaria se encarga de ensamblar al circuito principal una serie de componentes (display, guía luz, cuadrantes, conductores y el piñón). Analizando las operaciones realizadas por la operaria 1 se observa que una de ellas puede ser externalizada fuera de la línea. Existe un puesto que se encuentra justo ubicado al lado de la línea que es el que se encarga de ensamblar los motores al circuito principal dejando éste listo para posteriormente ser consumido por la línea. El montaje del piñón para otros proyectos se realiza en este puesto ya que se encuentra totalmente equipado para dicha actividad. A continuación, se muestra una imagen de este puesto realizando el montaje del piñón para el proyecto serie 1 de BMW:



Fig. 16 Puesto montaje piñón (señalizada en rojo)

Por lo tanto, se trata de externalizar esta operación al puesto de la imagen con la intención de reducir el tiempo de ciclo de esta operaria y por lo tanto el tiempo de ciclo de la línea.

Se realiza la medición de lo que tarda esta operaria en colocar el componente (piñón) y se obtiene un tiempo de 0,08 min. Para obtener el nuevo tiempo de la operaria se resta al tiempo inicial el tiempo de esta operación:

$$\text{Tiempo Operaria 1 reducido} = \text{Tiempo Inicial} - \text{Tiempo operación externalizada} \quad (\text{Ec. 7.22})$$

$$\text{Tiempo Operaria 1 reducido} = 1,37 \text{ min} - 0,08 \text{ min} = 1,29 \text{ min}$$

En la siguiente tabla se puede comprobar cómo quedarían actualmente los tiempos en función de las operarias y cual sería en esta situación hipotética el cuello de botella:

Operaria	Tiempo 120	P. Ritmo 120
1	1,29 min	46,5 uds/h
2	1,36 min	44,1 uds/h
3	1,29 min	46,5 uds/h
Carrusel	1,3 min	46,1 uds/h

Tabla. 9 Tiempos obtenidos con externalización piñón

7.4.2. Propuesta Disminución Tiempo Operaria 2

Se observa en el cuadro anterior que ahora el cuello de botella es la operaria 2 (señalada en negrita) con un tiempo de 1,36 min. Este tiempo también puede ser reducido externalizando otra operación al puesto anteriormente mencionado (que se encuentra fuera de la línea). La actividad que puede ser externalizada es ensamblar al circuito pequeño a la chapa. Si esta operación se realizase fuera de la línea (tal y como se está realizando actualmente para el proyecto que fabrica el modelo serie 1) se reduciría el tiempo en 0,166 min. Se adjunta imagen del puesto realizando dicha actividad (señalada en rojo) para verificar la viabilidad de la propuesta:

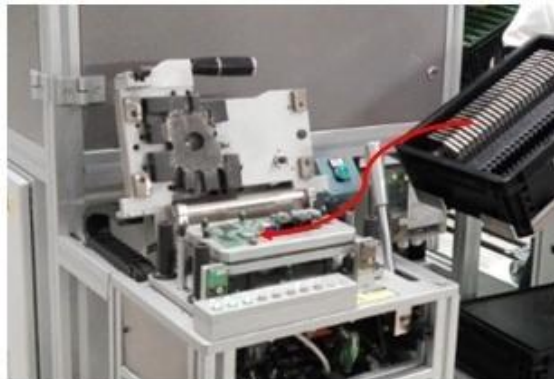


Fig. 17 Puesto montaje chapa (señalizado en rojo)

A continuación, se muestra la tabla del nuevo tiempo de la operaria 2 al restarle la operación que se pretende externalizar:

Operaria	Tiempo 120	P. Ritmo 120
1	1,29 min	46,5 uds/h
2	1,19 min	50,4 uds/h
3	1,29 min	46,5 uds/h
Carrusel	1,3 min	46,1 uds/h

Tabla. 10 Tiempos obtenidos con externalización piñón + chapa

7.4.3. Propuesta Disminución Tiempo Carrusel

Ahora el cuello de botella es el carrusel, pero, aunque no lo fuera habría que actuar sobre él igualmente. El principal motivo es porque a pesar de que se haya escogido una media de actividad 120, las operarias en ciertas ocasiones trabajan a una actividad mayor y cuando se da esta situación el cuello de botella es el carrusel. Es muy importante reducir su tiempo para que no sea un limitante en la mejora de la productividad. Es decir, si no se reduce el carrusel cualquiera mejora futura sobre los tiempos de las operarias no tendría ningún efecto mejorable sobre la productividad a partir de este tiempo.

Suponiendo que las operarias trabajan a un ritmo de 126 y que el carrusel es el cuello de botella (o actualmente con las dos mejoras dadas en operaria 1 y 2) se propone la integración de 2 nido más para aumentar la capacidad de la línea. De esta forma se trabajará con dos nidos más (paletas) por lo que el tiempo que una pieza está en el carrusel, es decir, el tiempo de ciclo de la línea será:

$$T. \text{ carrusel no propuesta} = \frac{\text{Tiempo total}}{\text{N}^{\circ} \text{ nidos}} = \frac{13\text{min}}{10} = 1,3 \text{ min} \quad (\text{Ec.7.23})$$

$$T. \text{ carrusel propuesta} = \frac{\text{Tiempo total}}{\text{N}^{\circ} \text{ nidos}} = \frac{13\text{min}}{11} = 1,18 \text{ min}$$

$$T. \text{ carrusel propuesta} = \frac{\text{Tiempo total}}{\text{N}^{\circ} \text{ nidos}} = \frac{13\text{min}}{12} = 1,08 \text{ min}$$

De esta forma se calcula que con dos nidos más el carrusel en ninguna situación será el cuello de botella (a no ser que exista algún nido desactivado). Se consigue reducir el tiempo del carrusel a 1,08. Con el incremento de los dos nidos el cuello de botella pasa a ser la operaria 1 (sea cual sea la actividad trabajada, en ningún momento las operarias reducirán el tiempo en menos de 1,08 min).

Se muestra a continuación la reducción de tiempo del carrusel con respecto a la tabla anteriormente desarrollada donde se puede observar como el tiempo disminuye de 1,3 min a 1,08 min.

Operaria	Tiempo 120	P. Ritmo 133
1	1,29 min	46,5 uds/h
2	1,19 min	50,4 uds/h
3	1,29 min	46,5 uds/h
Carrusel	1,08 min	55,5 uds/h

Tabla. 11 Tiempos obtenidos con las 3 mejoras (piñón, chapa y 2 nidos)

Con estas 3 propuestas se obtiene un aumento de producción de 2,6 unidades/hora:

$$\Delta \frac{\text{Output}}{\text{hora}} = P. \text{ prevista sin mejora} - P. \text{ prevista mejora} \quad (\text{Ec. 7.24})$$

$$\Delta \frac{\text{Output}}{\text{hora}} = 46,5 \text{ uds} - 43,9 \text{ uds} = 2,6 \text{ uds/h}$$

En la siguiente tabla se verifica lo anteriormente calculado, es decir el incremento de uds/hora trabajando a una actividad de 120 de media. Se representa un ejemplo de 5 operarias diferentes (operarias 1) que trabajaron a distintos ritmos. Se observa que el incremento de output en media es de 2,7 uds/h (resultado obtenido en la fórmula anterior) porque la media de las actividades es de 120. Esta tabla además de verificar el incremento de unidades a una actividad de 120, refleja que en función de la actividad a la que trabajen las operarias, el incremento de output conseguido será mayor o menor (la tendencia no es linealmente creciente o decreciente).

Nº veces	Actividad	T. estándar (min)	T.estándar con Mejora (min)	Producción sin mejora (uds/h)	Producción con mejora (uds/h)	Incremento uds/h
1	100	1,64	1,56	36,60	38,48	1,87
1	110	1,49	1,41	40,26	42,55	2,28
1	120	1,37	1,29	43,92	46,66	2,73
1	130	1,26	1,18	47,58	50,81	3,22
1	140	1,17	1,09	51,25	55,00	3,75
Promedio						2,77

Tabla. 12 Incremento de unidades en función actividad

Para calcular el incremento por turno hay que tener en cuenta el tiempo operativo real:

$$\Delta \frac{\text{Output}}{\text{turno}} = \text{Tiempo operativo real} \times \Delta \frac{\text{Output}}{\text{hora}} \quad (\text{Ec. 7.25})$$

$$\Delta \frac{\text{Output}}{\text{turno}} = 6,74\text{h} \times 2,6 \frac{\text{uds}}{\text{h}} = 17 \text{uds/turno}$$

Con ese aumento se consigue aumentar la producción prevista:

$$\text{Producción Prevista Mejora/t} = \text{Producción a 120 mejora} \times \text{Tiempo operativo real} \quad (\text{Ec. 7.26})$$

$$\text{Producción Prevista Mejora/t} = \frac{60 \text{ min}}{1,29 \text{ min}} 404,27 \text{ min} \times \frac{1\text{h}}{60 \text{ min}} = 313,9 \text{uds/turno}$$

7.4.4. Propuesta Aumento velocidad de las máquinas

Como se ha mencionado anteriormente, en el proceso existen tres estaciones (3, 5 y 6) en las que para reducir tiempos de ciclos constan de 4 paletas cada una (excepto la 5 que tiene 10 paletas o nidos). La falta de una paleta en uno de estos dos puestos reduce de forma considerable la producción de la línea. Cuando una paleta tiene una avería puede presentar los diferentes estados:

- Desactivada: se encuentra en el proceso, pero está inhabilitada. Esta paleta está esperando por la disponibilidad del personal de mantenimiento a ser revisada y reparada.
- Desmontada: la paleta se encuentra fuera del proceso en la zona de reparaciones.

El principal problema es que cuando se avería una paleta su tiempo de reparación se distribuye de la siguiente forma:

$$\text{Tiempo reparación total} = \text{Tiempo espera} + \text{Tiempo reparación} \quad (\text{Ec. 7.27})$$

La falta de personal en mantenimiento provoca que en numerosas ocasiones el tiempo de reparación de una paleta se vea incrementado por los tiempos de espera de la disponibilidad de este personal. La mayoría de las veces es mayor el tiempo de espera que de la propia reparación.

Se propone la adquisición de una paleta de recambio para ambos controles de tal forma que cuando una se avería sea cambiada por la de repuesto mientras la averiada está esperando a ser reparada.

De esta forma se aumentará la velocidad de las máquinas. A continuación, se procede a calcular el porcentaje de reducción de máquinas teniendo una paleta de recambio en cada uno de los puestos. Se realiza el cálculo con los datos empleados para el cálculo en el anterior apartado de la reducción de la velocidad de las máquinas. Por lo tanto, se realiza el nuevo cálculo con el ejemplo empleado para obtener el porcentaje de reducción de la velocidad de las máquinas:

- 6 horas 1 paleta del puesto 5
- 6 horas 1 paleta del puesto 3
- 4 horas 1 paleta del 6 y 4 horas 1 paletas del 6

De esta forma y teniendo una paleta de recambio en el puesto 3 y 6 (en el puesto 5 no es posible tener una de recambio porque los nidos no se sacan para ser reparados, sino que se reparan en la propia estación) el número de horas totales en las que las paletas están desactivadas sería:

- 6 horas puesto 5 (no se puede tener nido de recambio).
- 4 horas puesto 6: La paleta de recambio ya estaría para la desactivación de 4 horas y por lo tanto se generaría una reducción de tan sólo una paleta durante 4 horas en vez de 2 paletas durante 8 horas.

Un total de 10 horas frente a las 20 horas dadas sin paletas de recambios. Esto incrementa el porcentaje de un 83,5% a un 91,7%..

$$\text{Improductivo} = 100 - \frac{111,3}{121,3} \times 100 = 8,3\%$$

Se obtiene una producción real sobre la obtención de la nueva producción prevista de:

$$\text{Producción Real Mejora/t} = \text{Producción prevista mejora} \times \text{Velocidad reducida} \quad (\text{Ec. 7.28})$$

$$\text{Producción Real Mejora/t} = 313,9 \frac{\text{uds}}{\text{h}} \times 0,917 = 287,84 \text{ uds/turno}$$

En la siguiente tabla se recoge las producciones previstas y reales calculadas en los anteriores apartados, así como el rendimiento para la situación actual que es la mejora y la de si mejora (antes):

	P. Prevista	P. real	Rendimiento
Antes	295,8 uds	247 uds	83,5%
Ahora	313,9 uds	287,8 uds	91,7%

Tabla. 13 Comparativa producción real y prevista

$$\Delta \text{ Rendimiento} = \text{Rendimiento ahora} - \text{Rendimiento antes} \quad (\text{Ec. 7.29})$$

$$\Delta \text{ Rendimiento} = 91,7\% - 83,5\% = 8,2\%$$

7.5. Cálculo Calidad

El cálculo del indicador de calidad no es necesario calcularlo (pero si analizarlo) ya que como se ha mencionado en otras ocasiones, la empresa utiliza una herramienta de visualización de datos que trabaja en tiempo real. De esta manera se tiene acceso al valor del indicador de cualquier intervalo de tiempo dado. Esta herramienta tiene en cuenta las piezas OK procesadas de la línea frente las NOK y realiza el cálculo a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Piezas buenas}}{\text{Piezas buenas} + \text{Piezas malas}} \quad (\text{Ec. 7.30})$$

Como se ha mencionado en el DAFO anteriormente, el porcentaje de piezas procesadas buenas se encuentran en ciertas ocasiones por debajo del objetivo. La explicación viene dada con que el producto es muy complejo y además requiere de un gran montaje manual donde interviene el error humano. Esta situación termina generando un conjunto de piezas reprocesadas para que acaben siendo OK y por lo tanto una pérdida de producción diaria. Si los niveles de piezas buenas procesadas bajan de forma considerable la imagen de la empresa se ve perjudicada, por eso es muy importante centrar el proyecto también en este indicador. Se puede obtener el indicador en cualquier intervalo de tiempo pasado o en tiempo real pero no existe una herramienta que visualice una previsión de este indicador para las semanas futuras.

7.6. Incremento Calidad

En este capítulo se expone la creación de una herramienta donde a partir del indicador de calidad obtenido (en función de los defectos y acciones que se pretenden aplicar) se pueda prever el indicador que se debería obtener para las siguientes semanas. Como se ha mencionado anteriormente, al tener un estudio y previsión de este indicador con todas las acciones y sus eficiencias registradas se conseguiría aumentar este indicador (a través de un mayor control) lo que aumentaría la producción y se reducirían los costes de rechazo:

$$\text{FPY preductivo} = \uparrow \text{FPY} = \downarrow \text{Reprocesos} = \uparrow \text{Producción} = \downarrow \text{Coste rechazo} \quad (\text{Ec. 7.31})$$

Para poder asegurar la calidad interna de las líneas de producción se crea una herramienta a través de Microsoft Office Excel que permita calcular el indicador que se obtendrá en las próximas 4 semanas.

Se toma el ejemplo de la primera semana donde el número de piezas buenas son 2451 mientras que las NOK son 62 (ejemplo representativo con respecto a la media del año anterior) por lo tanto el indicador se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Calidad} = \frac{2451 \text{ piezas OK}}{2451 \text{ piezas OK} + 62 \text{ Piezas NOK}} \times 100 = 97,5\%$$

La idea de esta herramienta es introducir los datos de la semana que se está analizando y en el menor tiempo posible obtener los resultados. Se divide esta herramienta en diferentes partes:

7.6.1. Plantilla Tratamiento Datos

En esta hoja se deben introducir los datos que reporta el SCADA en función de los tipos de defectos que se han dado durante la semana pasada. Se decide separar los defectos en función de su ocurrencia e importancia catalogando 3 defectos diferentes que se mencionan y explican a continuación:

- **Top offenders:** aquellos defectos que se repiten continuamente de semana en semana y que se preveía que iban a aparecer.
- **Unexpected:** aquellos defectos que no se esperan en esa semana pero que se han dado.

- **Others:** el resto de defectos. Entre ellos cabe destacar los denominados Quick Win, es decir, aquellos que a pesar de que no representen un alto porcentaje de defectos frente al total, resulta positivo actuar sobre ellos para eliminar ese constante goteo que a largo plazo si puede acabar representando un alto porcentaje.

A continuación, se expone el ejemplo de los datos que se han rellenado para la semana 1, 2 3 y 4.

Semana	Línea	Tot.Q-Buenas	Puesto	Tipo Def	Defecto	Causa	Acción	Resp.	Q-Def
1	LK3	2451	30	Top Offender	ANILLO NOK ALTO	Paleta mal tarada	Tarar la Regla	Raul Laforet	15
1	LK3	2451	60	Top Offender	ANGULO ACC	Deformación del disco Indicador	No hornear los discos	J.Carillo	9
1	LK3	2451	60	Top Offender	ANGULO CLAVADO	Proceso no centrado	Centraje Proceso Clavado	Raul Laforet	7
1	LK3	2451	20	Top Offender	SIN USO	Conector mal clipado	Formación Operarias	F.Campuzano	3
1	LK3	2451	30	Top Offender	INT FLASH MEMORY	Pines dañados	Cambiar pines	Raul Laforet	3
1	LK3	2451	60	Unexpected	LEER ADC LCO_TEMP	ODU maquina mal estado	Creación Conector Intermedio	Raul Laforet	8
1	LK3	2451	60	Unexpected	CALIBRAR FOTO TRANSISTOR	Fallo Circuito	Revisión Previa	María Perez	7
1	LK3	2451	60	Others	Qick Win	Realización Quck Win	Revisión Previa		2
2	LK3	2621	30	Top Offender	ANILLO NOK ALTO	Pisador no clipa OK los anillos	Ajustar pisador	Raul Laforet	8
2	LK3	2621	60	Top Offender	LEER ADC LCO_TEMP	ODU maquina mal estado	Creación Conector Intermedio	Raul Laforet	6
2	LK3	2621	20	Top Offender	ANGULO ACC	Deformación del disco Indicador	Centraje Proceso inyeccion	J.Carillo	2
2	LK3	2621	60	Unexpected	AGUJA SPEEDO NOK	Punto clavado paleta NOK	Ajustar punto de clavado	Raul Laforet	7
2	LK3	2621	60	Unexpected	LUZ ABS NOK	Resistencia rota circuito	Revisión de stock	María Perez	10
2	LK3	2621	60	Unexpected	ÁNGULO TANQUE	Eje circuito torcido	Revisión Previa	María Perez	9
2	LK3	2621	60	Others	Qick Win	Realización Quck Win	Revisión Previa		3
3	LK3	2865	30	Top Offender	ANILLO NOK ALTO	Pisador no clipa OK los anillos	Ajustar pisador	Raul Laforet	10
3	LK3	2865	60	Top Offender	ANGULO ACC	Deformación del disco Indicador	Centraje Proceso inyeccion	J.Carillo	3
3	LK3	2865	60	Top Offender	ÁNGULO TANQUE	Limites definidos NOK	Abrir los límites	Torrecillas	3
3	LK3	2865	60	Unexpected	ILUMINACIÓN AGUJA	Limites definidos NOK	Abrir los límites	Torrecillas	6
3	LK3	2865	60	Unexpected	ENTRAR EN DIAGNOSTICO	Problemas comunicación	Cambiar ODU	Raul Laforet	4
3	LK3	2865	60	Others	Qick Win	Realización Quck Win	Revisión Previa		2
4	LK3	2734	60	Top Offender	ANGULO ACC	Deformación del disco Indicador	Centraje Proceso inyeccion	J.Carillo	6
4	LK3	2734	60	Top Offender	ILUMINACIÓN AGUJA	Especicación cliente y límites NOK	Comprobar especificación	F Campuzano	6
4	LK3	2734	20	Top Offender	ANILLO NOK ALTO	Conector mal clipado	Formación Operarias	F.Campuzano	5
4	LK3	2734	30	Unexpected	BP EUROPA PARES	Circuito resistencia rota	Revisión de stock	María Perez	7
4	LK3	2734	60	Unexpected	ENTRAR EN DIAGNOSTICO	ODO maquina mal estado	Creación Conector Intermedio	Raul Laforet	3

Tabla. 14 Datos relevantes a rellenar cada semana

En esta tabla se encuentran los datos que son estrictamente necesarios rellenar para que la herramienta pueda realizar el cálculo oportuno a partir de la formulación realizada (realmente las celdas que contienen letras no lo son puesto que no repercuten en el resultado final, pero si aportan información relevante). Se trata de que al acabar la semana se analice cuáles han sido los defectos top offenders, los unexpected y los quick win más importantes y que representan un mayor porcentaje de defectos. La columna "ET SX" de la siguiente tabla se cuantifica en función del porcentaje de mejora que se pretende alcanzar realizando dicha acción. Por lo tanto, la reducción de errores producidos en la línea se cataloga como eficiencia. Es importante establecer los porcentajes de incremento de eficiencia que se pretenden obtener para poder compararlo con los resultados finalmente obtenidos. Esta es la conocida como Eficiencia Teórica (ET):

Semana	Tot.Q-Buenas	Tipo Def	Defecto	ET Sx+1	ET Sx+2	ET Sx+3	ET Sx+4
1	2451	Top Offender	ANILLO NOK ALTO	50%	70%	70%	70%
1	2451	Top Offender	ANGULO ACC	30%	30%	30%	30%
1	2451	Top Offender	ANGULO CLAVADO	80%	80%	80%	80%
1	2451	Top Offender	SIN USO	10%	15%	25%	40%
1	2451	Top Offender	INT FLASH MEMORY	100%	100%	100%	100%
1	2451	Unexpected	LEER ADC LCO_TEMP	10%	80%	80%	100%
1	2451	Unexpected	CALIBRAR FOTO TRANSISTOR	10%	15%	15%	20%
1	2451	Others	Qick Win	0%	100%	100%	100%
2	2621	Top Offender	ANILLO NOK ALTO	10%	15%	20%	50%
2	2621	Top Offender	LEER ADC LCO_TEMP	10%	15%	15%	20%
2	2621	Top Offender	ANGULO ACC	0%	0%	0%	0%
2	2621	Unexpected	AGUJA SPEEDO NOK	10%	15%	15%	20%
2	2621	Unexpected	LUZ ABS NOK	10%	15%	15%	20%
2	2621	Unexpected	ÁNGULO TANQUE	30%	30%	80%	80%
2	2621	Others	Qick Win	10%	15%	15%	20%
3	2865	Top Offender	ANILLO NOK ALTO	70%	70%	70%	70%
3	2865	Top Offender	ANGULO ACC	0%	0%	0%	0%
3	2865	Top Offender	ÁNGULO TANQUE	10%	15%	15%	20%
3	2865	Unexpected	ILUMINACIÓN AGUJA	10%	15%	15%	20%
3	2865	Unexpected	ENTRAR EN DIAGNOSTICO	10%	15%	15%	20%
3	2865	Others	Qick Win	10%	15%	15%	20%
4	2734	Top Offender	ANGULO ACC	0%	0%	0%	70%
4	2734	Top Offender	ILUMINACIÓN AGUJA	10%	15%	15%	20%
4	2734	Top Offender	ANILLO NOK ALTO	40%	40%	40%	40%
4	2734	Unexpected	BP EUROPA PARES	10%	15%	15%	20%
4	2734	Unexpected	ENTRAR EN DIAGNOSTICO	10%	15%	15%	20%
4	2734	Unexpected	CALIBRAR FOTO TRANSISTOR	10%	15%	15%	20%
4	2734	Others	Qick Win	10%	10%	15%	20%

Tabla. 15 Porcentaje eficiencia teórica de las acciones

7.6.2. Plantilla Fórmulas

Una vez que se han introducidos los datos anteriores, a través de una serie de fórmulas programadas en Excel (formulación) la herramienta proporciona directamente el indicador de calidad predictivo para las siguientes 4 semanas y la comparativa entre lo que se tenía en cuenta obtener y lo que realmente se ha obtenido. A continuación, se exponen las fórmulas establecidas:

- **Porcentaje de defectos (% Def):** porcentaje de cada uno de los defectos que se producen en función del número de fallos que provocan la falta de un 100% en la obtención del indicador de calidad.

$$\% \text{ Defectos} = 1 - \frac{\text{Piezas OK}}{\text{Piezas OK} + \text{Piezas NOK}} \quad (\text{Ec. 7.32})$$

- **Porcentaje de defectos en semanas futuras (%Def Sx):** indica el porcentaje de piezas malas que se obtendrán una vez aplicadas las acciones correspondientes para la reducción de los mismos. A medida que avanza las semanas este porcentaje se reduce porque las acciones suelen incrementar la eficiencia a medida que transcurren el tiempo.

$$\% \text{ Defectos Sx} = \% \text{ Defectos} - (\% \text{ Defectos} \times \% \text{ Ef teórica Sx}) \quad (\text{Ec. 7.33})$$

- **Porcentaje de mejora en función de la semana y defecto (% Mejora Sx):** Este porcentaje representa el incremento de eficiencia sobre los defectos iniciales a medida que transcurren las semanas.

$$\% \text{ Mejora Defecto Sx} = \% \text{ Defecto} - \% \text{ Defecto Sx} \quad (\text{Ec. 7.34})$$

En función de la eficiencia teórica se obtiene los porcentajes de mejoras con respecto a la cantidad de defectos dados. En la siguiente imagen se representan los porcentajes de mejora teóricos (rosa):

Semana	Tot.Q-Buenas	Tipo Def	Defecto	% Mej Sx+1	% Mej Sx+2	% Mej Sx+3	% Mej Sx+4
1	2451	Top Offender	ANILLO NOK ALTO	0,30%	0,43%	0,43%	0,43%
1	2451	Top Offender	ANGULO ACC	0,11%	0,11%	0,11%	0,11%
1	2451	Top Offender	ANGULO CLAVADO	0,23%	0,23%	0,23%	0,23%
1	2451	Top Offender	SIN USO	0,01%	0,02%	0,03%	0,05%
1	2451	Top Offender	INT FLASH MEMORY	0,12%	0,12%	0,12%	0,12%
1	2451	Unexpected	LEER ADC LCO_TEMP	0,03%	0,26%	0,26%	0,33%
1	2451	Unexpected	CALIBRAR FOTO TRANSISTOR	0,03%	0,04%	0,04%	0,06%
1	2451	Others	Qick Win	0,00%	0,08%	0,08%	0,08%
2	2621	Top Offender	ANILLO NOK ALTO	0,03%	0,05%	0,06%	0,15%
2	2621	Top Offender	LEER ADC LCO_TEMP	0,02%	0,03%	0,03%	0,05%
2	2621	Top Offender	ANGULO ACC	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2	2621	Unexpected	AGUJA SPEEDO NOK	0,03%	0,04%	0,04%	0,05%
2	2621	Unexpected	LUZ ABS NOK	0,04%	0,06%	0,06%	0,08%
2	2621	Unexpected	ÁNGULO TANQUE	0,10%	0,10%	0,27%	0,27%
2	2621	Others	Qick Win	0,01%	0,02%	0,02%	0,02%
3	2865	Top Offender	ANILLO NOK ALTO	0,24%	0,24%	0,24%	0,24%
3	2865	Top Offender	ANGULO ACC	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3	2865	Top Offender	ÁNGULO TANQUE	0,01%	0,02%	0,02%	0,02%
3	2865	Unexpected	ILUMINACIÓN AGUJA	0,02%	0,03%	0,03%	0,04%
3	2865	Unexpected	ENTRAR EN DIAGNOSTICO	0,01%	0,02%	0,02%	0,03%
3	2865	Others	Qick Win	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
4	2734	Top Offender	ANGULO ACC	0,00%	0,00%	0,00%	0,15%
4	2734	Top Offender	ILUMINACIÓN AGUJA	0,02%	0,03%	0,03%	0,04%
4	2734	Top Offender	ANILLO NOK ALTO	0,07%	0,07%	0,07%	0,07%
4	2734	Unexpected	BP EUROPA PARES	0,03%	0,04%	0,04%	0,05%
4	2734	Unexpected	ENTRAR EN DIAGNOSTICO	0,01%	0,02%	0,02%	0,02%
4	2734	Unexpected	CALIBRAR FOTO TRANSISTOR	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
4	2734	Others	Qick Win	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%

Tabla. 16 Porcentaje mejora eficiencia teórica

- Porcentaje FPY predictivo en función de la semana (FPY Sx):** Una vez calculado lo que se aumentaría en porcentaje para cada uno de los defectos en función de las acciones dadas, se calcula el FPY que se obtendría esa semana. Se utiliza la función “sumar.si” donde el rango es la columna semana que puede ser 1,2 ,3, etc, el criterio sería decir a Excel que coja dentro de semana los iguales a ellos sumando los valores de defectos Sx hasta que cambia el número de semana. Además se resta la media del mes anterior de los defectos unexpected ya que conseguir el 100% sería imposible por este tipo de defectos:

$$\% \text{FPY Sx} = 1 - \text{SUMAR.SI}(\text{Semana}; \$A2; \% \text{Defecto Sx}) - \% \text{Unexpected} \quad (\text{Ec. 7.35})$$

En la siguiente hoja se marca en colores (violeta, rosa, verde y naranja en fila semana 1) lo que se pretende obtener en las 4 siguientes semanas:

Semana	FPY ACTUAL	FPY Sx+1	FPY Sx+2	FPY Sx+3	FPY Sx+4
1	97,50%	97,94%	98,39%	98,41%	98,50%
1	97,50%	97,94%	98,39%	98,41%	98,50%
1	97,50%	97,94%	98,39%	98,41%	98,50%
1	97,50%	97,94%	98,39%	98,41%	98,50%
1	97,50%	97,94%	98,39%	98,41%	98,50%
1	97,50%	97,94%	98,39%	98,41%	98,50%
1	97,50%	97,94%	98,39%	98,41%	98,50%
1	97,50%	97,94%	98,39%	98,41%	98,50%
2	97,80%	97,82%	97,88%	98,07%	98,21%
2	97,80%	97,82%	97,88%	98,07%	98,21%
2	97,80%	97,82%	97,88%	98,07%	98,21%
2	97,80%	97,82%	97,88%	98,07%	98,21%
2	97,80%	97,82%	97,88%	98,07%	98,21%
2	97,80%	97,82%	97,88%	98,07%	98,21%
2	97,80%	97,82%	97,88%	98,07%	98,21%
3	97,90%	98,62%	98,65%	98,65%	98,67%
3	97,90%	98,62%	98,65%	98,65%	98,67%
3	97,90%	98,62%	98,65%	98,65%	98,67%
3	97,90%	98,62%	98,65%	98,65%	98,67%
3	97,90%	98,62%	98,65%	98,65%	98,67%
3	97,90%	98,62%	98,65%	98,65%	98,67%
4	98,00%	98,35%	98,38%	98,38%	98,57%
4	98,00%	98,35%	98,38%	98,38%	98,57%
4	98,00%	98,35%	98,38%	98,38%	98,57%
4	98,00%	98,35%	98,38%	98,38%	98,57%
4	98,00%	98,35%	98,38%	98,38%	98,57%
4	98,00%	98,35%	98,38%	98,38%	98,57%
4	98,00%	98,35%	98,38%	98,38%	98,57%

Tabla. 17 Previsión FPY 4 semanas

En la semana 1 (la actual) se obtienen los indicadores de calidad para las siguientes 4 semanas. A medida que las semanas transcurren se podrá comprobar en cuanto la previsión se ha desviado de lo finalmente obtenido.

Posicionando el horizonte temporal en semana 1, se tienen una serie de previsiones para las siguientes 4 semanas (cada una en un color) que no se podrán comparar con lo realmente obtenido hasta rellenar la columna de FPY actual para cada una de las semanas de las que se hizo la previsión. Es decir, cuando el intervalo temporal se encuentre en semana 4, se podría ya realizar la comparativa de lo que se imaginaba obtener en la semana 4 (estando en la semana 1) con lo realmente obtenido (FPY actual de semana 4) y así con cada una de las semanas.

- Comparativa de lo previsto con lo realmente obtenido en función de la semana (Comp FPY Sx):** como se ha mencionado anteriormente, es interesante comparar la eficiencia teórica dada con la eficiencia realmente obtenida en función de las acciones dadas. Esto valdrá para averiguar en cuánto difiere lo que se pensaba conseguir con lo realmente conseguido proponiendo de esta manera otro tipo de acciones con el fin de solucionar el problema si las primeras acciones propuestas no han tenido las eficiencias esperadas:

$$\% \text{ Compartiva } S_x = \text{BUSCAR}(A2 + 1; \text{Semana}; \text{FPY_ACTUAL}) - Z2 \quad (\text{Ec. 7.36})$$

La herramienta proporciona los resultados positivos en color verde y los negativos en color rojo de manera que facilite la visualización de la función. Cada fila (formado por 4 columnas) será rellenada cuando pasen los 4 siguientes semanas de tal forma que se obtenga el FPY Actual y éste pueda ser comparado. A continuación, se muestra la tabla resultante

Comp FPY Sx+1	Comp FPY Sx+2	Comp FPY Sx+3	Comp FPY Sx+4
-0,14%	-0,49%	-0,41%	0,10%
-0,14%	-0,49%	-0,41%	0,10%
-0,14%	-0,49%	-0,41%	0,10%
-0,14%	-0,49%	-0,41%	0,10%
-0,14%	-0,49%	-0,41%	0,10%
-0,14%	-0,49%	-0,41%	0,10%
-0,14%	-0,49%	-0,41%	0,10%
-0,14%	-0,49%	-0,41%	0,10%
0,08%	0,12%	0,53%	0,39%
0,08%	0,12%	0,53%	0,39%
0,08%	0,12%	0,53%	0,39%
0,08%	0,12%	0,53%	0,39%
0,08%	0,12%	0,53%	0,39%
0,08%	0,12%	0,53%	0,39%
0,08%	0,12%	0,53%	0,39%
-0,62%	-0,05%	-0,05%	-0,07%
-0,62%	-0,05%	-0,05%	-0,07%
-0,62%	-0,05%	-0,05%	-0,07%
-0,62%	-0,05%	-0,05%	-0,07%
-0,62%	-0,05%	-0,05%	-0,07%

0,25%	0,22%	0,22%	0,03%
0,25%	0,22%	0,22%	0,03%
0,25%	0,22%	0,22%	0,03%
0,25%	0,22%	0,22%	0,03%
0,25%	0,22%	0,22%	0,03%
0,25%	0,22%	0,22%	0,03%
0,25%	0,22%	0,22%	0,03%

Tabla. 18 Comparativa eficiencia teórica y real

7.6.3. Tablas y gráficos dinámicos

La herramienta de Excel es capaz de reportar directamente una serie de tablas y gráficos que se encargan de visualizar la evolución del indicador y aquellos aspectos que aporten información relevante. Estos gráficos y tablas son dinámicos por lo tanto a medida que se introducen las semanas, se actualizan automáticamente.

7.6.3.1. Evolución indicador

En esta tabla se puede observar la evolución del indicador en un horizonte temporal de 4 semanas (FPY actual). Estos porcentajes son los que se han ido obteniendo a lo largo de las semanas. Además, la tabla también se compone de las previsiones realizadas en función de las eficiencias teóricas obtenidas por las acciones implantadas

Semana	Valores				
	Máx. de FPY ACTUAL	Máx. de FPY Sx+1	Máx. de FPY Sx+2	Máx. de FPY Sx+3	Máx. de FPY Sx+4
1	97,50%	97,94%	98,39%	98,41%	98,50%
2	97,80%	97,82%	97,88%	98,07%	98,21%
3	97,90%	98,62%	98,65%	98,65%	98,67%
4	98,00%	98,35%	98,38%	98,38%	98,57%
5	98,60%				

Tabla. 19 Evolución FPY

7.6.3.2. Tipo de defectos

En este gráfico se puede ver cuál de los 3 tipos de fallos reflejan un mayor porcentaje de fallos y sobre los que hay que enfocar las posibles soluciones:

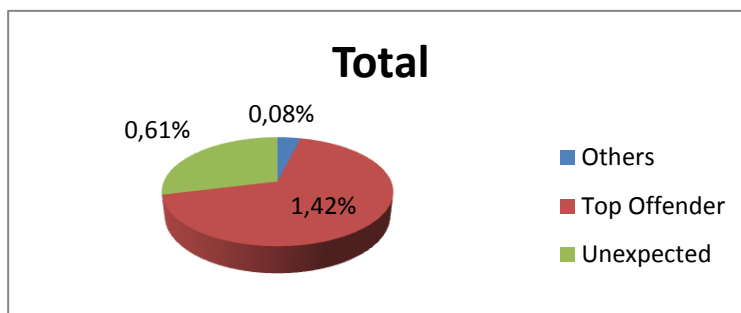


Fig. 18 Porcentaje tipo de defecto

7.6.3.3. Eficiencia teórica vs real

Como se ha mencionado anteriormente, es importante conocer la comparativa entre lo predictivo y lo real. Para facilitar el estudio el Excel proporciona directamente una tabla dinámica donde se visualicen estos valores:

Rótulos de fila	Valores	
	Máx. de FPY ACTUAL	Máx. de FPY Sx+1
1	97,50%	
2	97,80%	97,94%
3	97,90%	97,82%
4	98,00%	98,62%
5	98,60%	98,35%
Total general	98,60%	98,62%

Tabla. 20 Comparativa FPY real y predictivo

Estos valores se representan a continuación a través de una gráfica para facilitar la visualización de los valores:

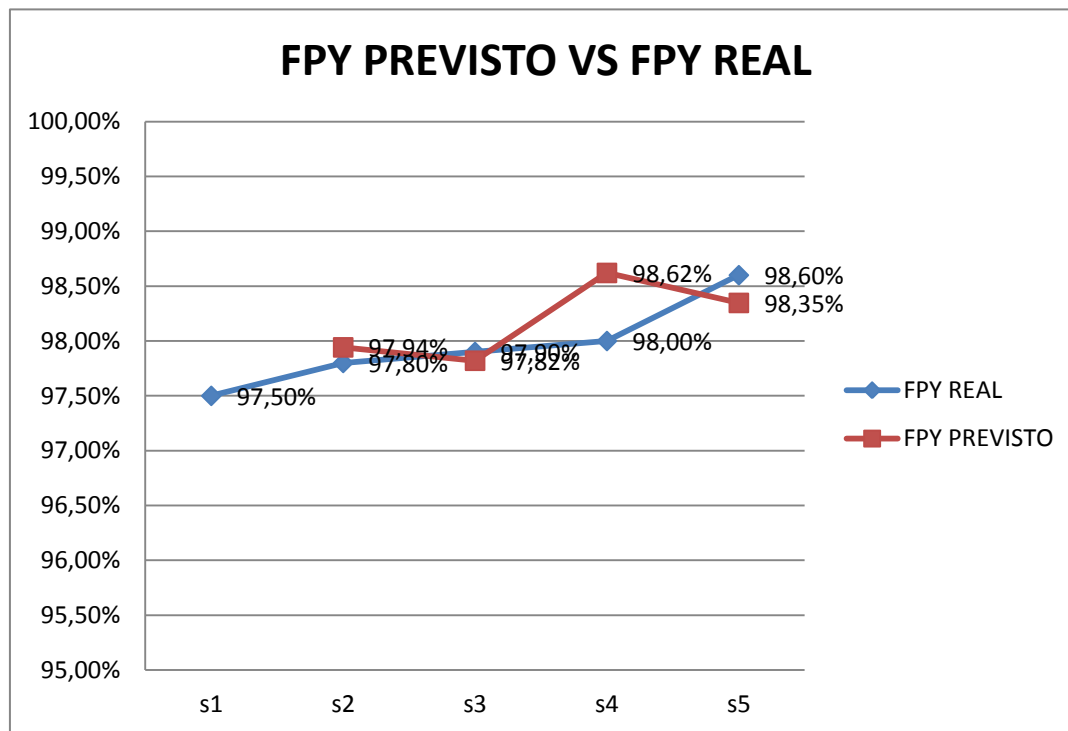


Fig. 19 Comparativa FPY real y predictivo

También se realiza una tabla dinámica donde se observa la comparativa entre la eficiencia teórica y la eficiencia real, es decir restando el FPY actual de cada semana con su respectiva previsión. De esta manera calcula la diferencia entre estos dos valores, resultando en valores positivos si la real está por encima de lo previsto y en negativo si de lo contrario la previsión era más alta de lo que finalmente se obtuvo. Además, se aplica a la plantilla el formato condicional para una mayor visualización de los resultados donde éstos se muestran verdes si son positivos y rojos si fueran negativos.

Rótulos de fila	Valores			
	Máx. de Comp FPY Sx+1	Máx. de Comp FPY Sx+2	Máx. de Comp FPY Sx+3	Máx. de Comp FPY Sx+4
1	-0,14%	-0,49%	-0,41%	0,10%
2	0,08%	0,12%	0,53%	0,39%
3	-0,62%	-0,05%	-0,05%	-0,07%
4	0,25%	0,22%	0,22%	0,03%
Total general	0,25%	0,22%	0,53%	0,39%

Tabla. 21 Porcentaje comparativa FPY

7.6.4. Limitación del incremento del indicador

Se observa a través de un ejemplo real, como el indicador asciende un 0,5% en el intervalo de tiempo de un mes. Es importante aclarar que este incremento no quiere decir que el indicador vaya a aumentar progresivamente hasta alcanzar el 100% a lo largo del tiempo. La principal causa de este razonamiento es que como ya se ha mencionado, existen un tipo de defectos catalogados como unexpected que no se pueden prever porque no se esperan que sucedan. En este caso, se ha realizado una media de los defectos unexpected del mes y se ha restado este resultado a cada una de las previsiones con el fin de realizar una previsión que sea realista. La media se realiza como estimación, pero hay que tener en cuenta que en función de la semana este defecto tendrá mayor o menor repercusión. El resultado obtenido es 0,7% de defectos unexpected.

De todas formas, en esta herramienta se introducen aquellos defectos que impactan de forma considerable en el indicador, pero no introducen todos ya que, si no, el análisis para la empresa sería muy largo y terminaría por no hacerse. Por este motivo se deciden agrupar los defectos en las tres categorías e introducir en estas los más representativos.

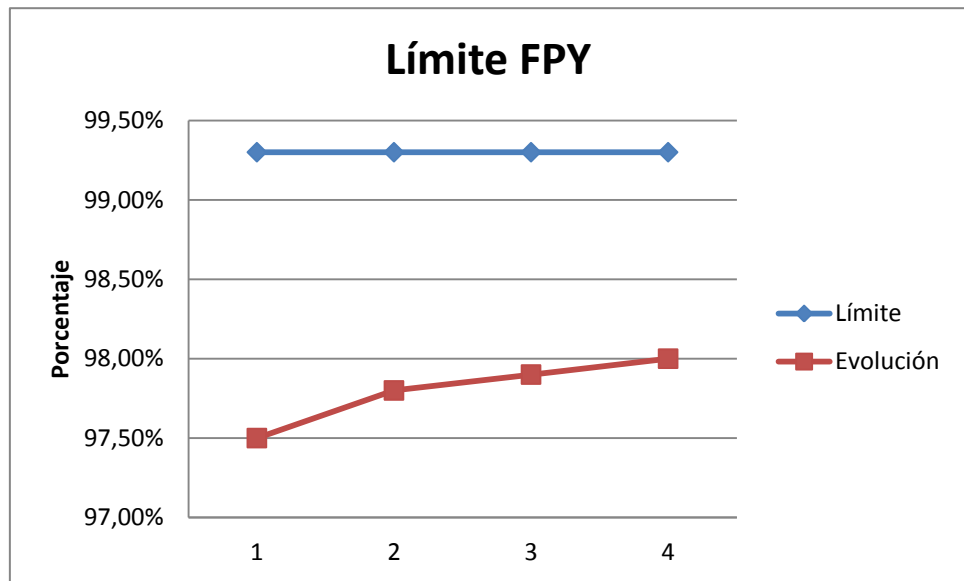


Fig. 20 Límite FPY previsto

En la figura se muestra la evolución del indicador y el límite al que podría llegar, un valor de 99,3%. A pesar de que las acciones tengan el 100% de efectividad nunca se alcanzará el 100% porque hay algunos defectos que no se esperan que vayan a aparecer, pero aparecen.

8. INCREMENTO OUTPUT

En este capítulo se realizará una estimación aproximada del aumento de piezas a través de la implantación y uso del indicador OEE. Este capítulo calculará el incremento de piezas en función de las mejoras de los tres indicadores del OEE, pero lo realizará de forma acumulativa (en vez de por separado). Es decir, finalmente se obtendrá el aumento de piezas acumulado aumentando la disponibilidad, después la disponibilidad + rendimiento y por último disponibilidad + rendimiento + calidad. Este último cálculo es el que reflejará el aumento real de las piezas obtenidas en un turno.

8.1. Disponibilidad

Tras obtener el factor de la disponibilidad y analizar sus pérdidas se consigue incrementar el tiempo operativo real de 404,27 min a 405,78 min, de esta forma el número de piezas se incrementarán porque las máquinas aumentan su disponibilidad reduciendo las paradas no programadas.

$$T. \text{ operativo real ANTES} = 404,27 \text{ min}$$

$$T. \text{ operativo real AHORA} = 405,78 \text{ min}$$

8.2. Rendimiento

Por otro lado, también se debe tener en cuenta el aumento del rendimiento calculado en el anterior capítulo. Este incremento también representa un aumento del output por hora de:

$$P. \text{ Prevista ANTES} = 43,9 \frac{\text{uds}}{\text{h}}$$

$$P. \text{ Prevista AHORA} = 46,5 \frac{\text{uds}}{\text{h}}$$

Teniendo en cuenta este aumento y el mencionado anteriormente con respecto a la disponibilidad se consigue el siguiente aumento de output:

$$P. \text{ prevista Turno ANTES} = 43,9 \frac{\text{uds}}{\text{h}} \times 404,27 \text{ min} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 295,8 \text{ uds/turno}$$

$$P. \text{ prevista Turno AHORA} = 46,5 \frac{\text{uds}}{\text{h}} \times 405,78 \text{ min} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 314,5 \text{ uds/turno}$$

A través de la paleta de recambio se consigue incrementar la producción a:

$$\text{Producción Real ANTES} = 295,8 \frac{\text{uds}}{\text{turno}} \times 0,835 = 247 \text{ uds/turno}$$

$$\text{Producción Real AHORA} = 314,5 \frac{\text{uds}}{\text{turno}} \times 0,917 = 288,3 \text{ uds/turno}$$

8.3. Calidad

Por último, suponiendo una mejora 0,5 % del indicador a través de la herramienta realizada se incrementan el número de piezas por turno. El indicador incrementa del 97,5% al 98% tal y como se observa en los gráficos del anterior capítulo:

$$\text{Producción total ANTES} = 247 \frac{\text{uds}}{\text{turno}} \times 0,975 = 240,8 \text{ uds/turno}$$

$$\text{Producción total AHORA} = 288,3 \frac{\text{uds}}{\text{turno}} \times 0,980 = 282,5 \text{ uds/turno}$$

Se muestra una gráfica donde se visualiza las piezas obtenidas por turno antes de analizar el indicador del OEE y después de calcularlo y utilizarlo:

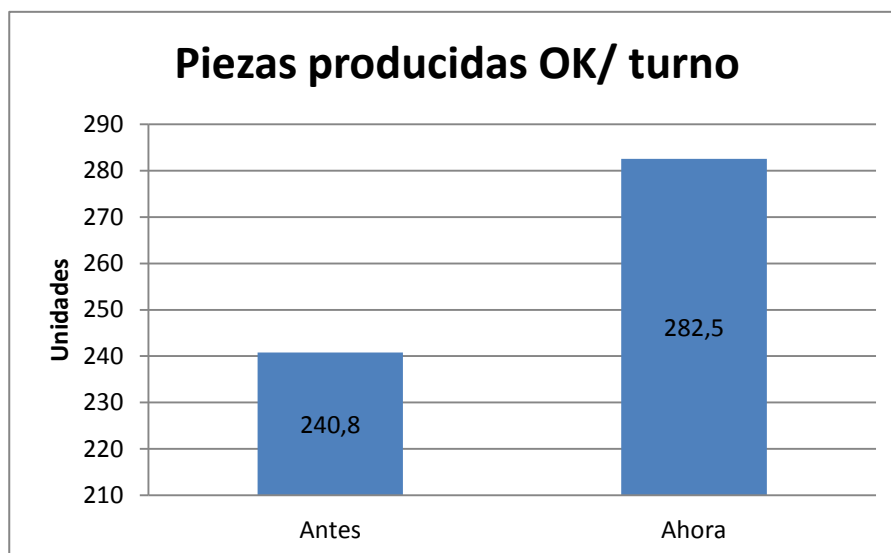


Fig. 21 Comparativa piezas producidas/turno

Finalmente, para obtener el incremento de output se realiza la resta entre la producción total antes y la producción total ahora:

$$\Delta \frac{\text{Output}}{\text{turno}} = 282,5 - 240,8 = 41,7 \text{ uds/turno}$$

La misión de aumentar el indicador de calidad no tiene como objetivo sólo incrementar el número de piezas buenas producidas por intervalo de tiempo reduciendo el impacto logístico sino también reducir el coste de material rechazado y de horas extras trabajadas. A continuación, se analizan los costes mencionados anteriormente:

9. IMPACTO COSTE LOGÍSTICO Y DE RECHAZO

Este capítulo abarca el estudio de los costes logísticos de las acciones realizadas en los anteriores capítulos (Implantación del OEE e incremento del output). Además también trata la reducción del coste de rechazo en función del incremento del indicador de calidad.

9.1. Tipos de transporte

Existen dos tipos de transportes que el departamento de logística puede realizar en función del lead time de entrega a la fábrica del cliente. Estos transportes son:

- Transporte normal o regular
- Transporte especial o urgente

9.1.1. Transporte normal

El cliente y la compañía trabajan con INCOTERMS EXWORKS donde es el cliente el que se encarga de pagar los gastos de transporte. Diariamente entre las 15 h y 17 h un camión sale de la empresa con destino a la fábrica del cliente (Múnich). Este camión se encarga de transportar la cantidad de demandada que en una situación normal habrá sido producida el día anterior y está esperando en almacén con el fin de ser expedida. El lead time de entrega desde que el camión sale de la empresa son 5 días laborables. Por lo tanto, si un camión sale el martes, llegará a cliente el lunes de la semana siguiente (sin contar los fin de semanas). Esto quiere decir que lo que se pretende entregar ese lunes debe ser producido el lunes de la semana anterior. Todo lo que se produce el día 1 se expide por transporte regular el día 2 en el intervalo horario comprendido entre 15:00h y las 17:00h Si de lo contrario existen atrasos en la producción, la empresa realiza transportes urgentes.

9.1.2. Transporte urgente

La siguiente tabla recoge los distintos costes de transporte urgentes y la capacidad máxima de palés que se pueden transportes en cada tipo:

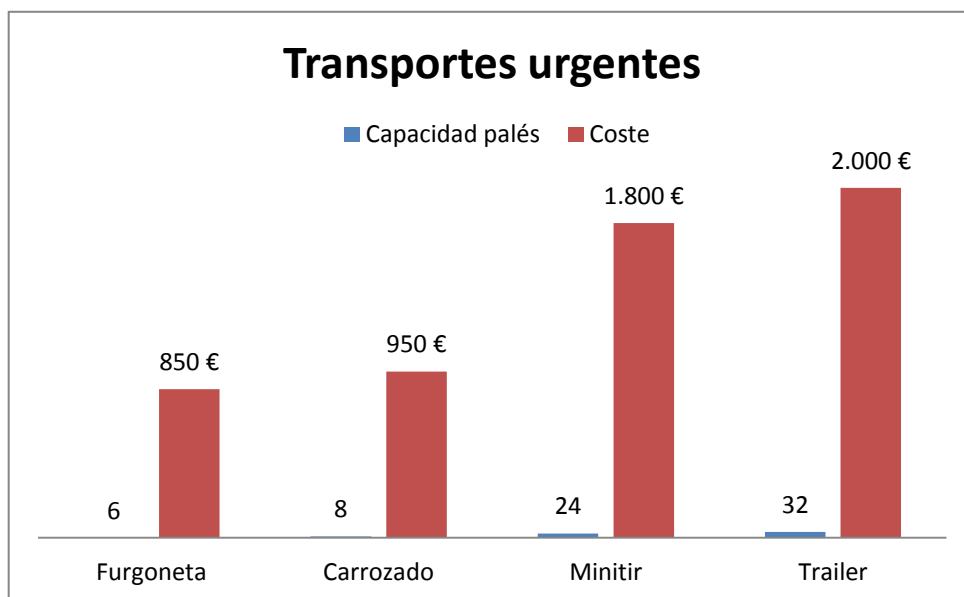


Fig. 22 Transportes urgentes

El lead time de este tipo de transporte a Múnich (BMW) es de 1 día. Este transporte se considera un tipo de transporte especial (lead time reducido) y el coste corre a cargo de la empresa. La principal diferencia por lo tanto entre este transporte y el normal es el lead time de entrega y quien asume el coste. Se supone que cada palé consta de 48 unidades ya que el 90% de los pedidos de éstos suelen contener esta cantidad.

9.2. Escenarios logísticos representativos

A continuación, se representan los diferentes escenarios logísticos más significativos. Estos se pueden dividir a grandes rasgos en tres tipos diferentes:

- Utilización de transporte normal: en este caso, el principal problema es que si la producción diaria es en algún día de la semana menor que la demanda diaria (y esta no se puede recuperar al día siguiente) el cliente recibirá el pedido fuera de plazo.
- Utilización de transportes urgentes: se realizan transportes urgentes con el objetivo de satisfacer la demanda del cliente cuando los niveles de producción conseguidos están por debajo del objetivo en algún momento dado.
- Fabricación fin de semanas: con la fabricación de los fin de semanas la mayoría de las veces se consigue cubrir la demanda insatisfecha generada durante la semana. El problema es que los fin de semanas se trabajan con horas extras.

9.2.1. Escenarios Transporte Normal (demanda insatisfecha)

En este escenario los niveles de producción no alcanzan los de la demanda (en ciertas ocasiones). Al no realizarse ningún transporte urgente para acelerar el lead time ni trabajar los fines de semana se obtiene una demanda insatisfecha de 300 unidades al terminar la semana. Lo que se produce el lunes de la semana 1 llegará a cliente después de 5 días desde su envío, su envío tiene lugar el día siguiente a ser fabricado por lo tanto se enviará el martes y llegará al cliente el lunes de la semana 2.

LEAD TIME ENTREGA 5 DÍAS	Semana 1							Semana 2						
	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
Demanda	800	800	800	800	800									
Producción	600	800	800	750	750									
Cantidad Prevista Entrega Cliente								800	800	800	800	800		
Cantidad Real Entrega Cliente								600	800	800	750	750		
Cantidad no entregada en momento acordado								200	0	0	50	50		
Cantidad no entregada acumulada								200	200	200	250	300		

Tabla. 22 Escenario transporte normal

Esta situación no se puede tolerar puesto que cada día se estaría entregando a cliente una cantidad inferior a la que solicita. La solución de contención a este problema es lo que se ha mencionado anteriormente, es decir, el pago de transportes urgentes que reduzcan el lead time en 1 día y la fabricación los fines de semanas.

9.2.2. Escenarios Transporte Urgente (demanda satisfecha)

Existen dos formas de realizar la planificación cuando la producción diaria en ciertas ocasiones está por debajo de la demanda del cliente:

- **Fabricación Fin de semanas:** el principal requisito para satisfacer las necesidades cuando la producción semanal está por debajo de la diaria es producir los fines de semanas para compensar ese gap.

- **Transportes Urgentes:** además de producir los fines de semanas se debe realizar pedidos urgentes con el objetivo de reducir el lead time de entrega de 5 días a 1 día.

9.2.2.1. Fabricación Fin de semanas y transporte normal

En este escenario se realizan diferentes cambios con el fin de satisfacer la demanda del cliente:

- Transportes Urgentes: se realizan transportes especiales para satisfacer la demanda del cliente. Se observa que en la tabla la producción diaria es inferior a la demanda diaria.
- Producción fin de semanas: no existe demanda insatisfecha al finalizar la semana ya que la rotura de stock acumulada en viernes (400 uds) es inferior al stock acumulado el fin de semana (500uds). Por este motivo la producción realizada el fin de semana es capaz de cubrir la demanda insatisfecha acumulada.
- Gestión de pedido: Se realizan transportes normales cada día de la semana utilizando la producción del día siguiente hasta completar las 800 uds diarias demandadas (por eso la demanda insatisfecha es 0 hasta llegar al viernes). Por ejemplo, el lunes se producen 600 pues al día siguiente se lanza las 800 uds demandadas por cliente, 600 fabricadas el lunes y 200 fabricadas el propio martes. Por lo tanto, parte de la producción del día siguiente (martes) es destinada para cubrir la demanda del día anterior (lunes). El lunes se debe enviar en un camión las 800 uds producidas el viernes (sólo hay 400 uds). Se termina cubriendo este gap con la producción obtenida el fin de semana. En este escenario quedan 100 piezas en stock (ya que 500 uds fabricadas el fin de semana cubren las 400 de la rotura de la semana y sobran 100)

LEAD TIME ENTREGA 15 DÍA	Semana 1							Semana 2						
	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
Demanda	800	800	800	800	800									
Producción	600	750	750	750	750	250	250							
Demanda Insatisfecha	0	0	0	0	400									
Stock acumulado							500							
Cantidad Prevista Entrega								800	800	800	800	800		
Cantidad Real Entrega								800	800	800	800	800		
Cantidad no entregada en momento acordado								0	0	0	0	0		
Cantidad acumulada								0	0	0	0	0		

Tabla. 23 Escenario transporte normal y fabricación fin de semana

El principal problema de no realizar transporte urgente es que al final, llegaría un punto que la desviación acumulada se incrementa tanto que logística se verá obligado a lanzar transporte urgente.

9.2.2.2. Fabricación Fin de semana y varios transportes urgentes

En el siguiente escenario se trabaja del mismo modo que el anterior pero el principal problema es que la producción obtenida el fin de semana es menor que la desviación de acumulada del fin de semana (por producir menos que en los anteriores escenarios).

Se observa en la siguiente tabla que aun fabricando el fin de no se podrá satisfacer el pedido semanal demandado por cliente. Esto provoca que parte de lo que se produzca en la semana 2 vaya destinado a la entrega de la semana pasada (teniendo que realizar transportes especiales, para reducir la desviación acumulada). De esta forma, el problema se va haciendo cada vez más grande teniendo en situaciones realmente críticas que realizar especiales diariamente para evitar los retrasos en las entregas. Si por ejemplo el lunes de la semana 2 se fabrican menos de 400 uds (600 uds en rojo - 200 uds en verde), logística ya estaría obligado a realizar un especial con la producción del martes de la semana 2 para poder satisfacer las necesidades del cliente del viernes de la semana 1.

LEAD TIME ENTREGA 1 DÍA	Semana 1							Semana 2						
	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
Demanda	800	800	800	800	800									
Producción	600	700	700	700	700	100	100							
Rotura Stock acumulada	0	0	0	0	600									
Stock acumulado							200							
Cantidad Prevista Entrega Cliente								800	800	800	800	800		
Cantidad Real Entrega Cliente								800	800	800	800	800		
Cantidad no entregada en momento acordado								0	0	0	0	0		
Cantidad no entregada acumulada								0	-0	0	0	0		

Tabla. 24 Escenario transportes urgentes y fabricación fin de semana

9.2.3. Escenario Incremento Output. Transporte Normal

Con el incremento de OEE se consigue aumentar el output de la línea en 41,7 uds/turno, es decir, por día 125 uds, lo que por semana supone un incremento de 625 uds (sin contar los fines de semanas).

Se representa a continuación el último escenario, pero con un incremento en los niveles de producción de 125 uds/día.

LEAD TIME ENTREGA 6 DÍA	Semana 1							Semana 2						
	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
Demanda	800	800	800	800	800									
Producción	725	825	825	825	825	-	-							
Rotura Stock acumulada	75													
Stock acumulado		25	50	75	100									
Cantidad Prevista Entrega Cliente								800	800	800	800	800		
Cantidad Real Entrega Cliente								800	800	800	800	800		
Cantidad no entregada en momento acordado								0	0	0	0	0		
Cantidad no entregada acumulada								0	0	0	0	0		

Tabla. 25 Escenario con incremento de output

En este caso se observa como el único día que no se produce lo demandado es el lunes. De todas formas, se puede sostener el retraso de producción de un día sin realizar transportes urgentes si esta cantidad puede ser fabricada a mayores al día siguiente antes de la expedición (o a lo largo de la semana). Además al incrementar el output diario no es necesario la realización de horas extras.

9.3. Coste logístico

9.3.1. Coste logístico sin aumento producción

Se estima a través del departamento de logística la realización de dos especiales / semana de tipo carrozado, lo que supone un coste actualmente logístico:

$$\text{Coste} \frac{\text{logístico}}{\text{semana}} = \text{Coste transporte} \times \text{Nº de transportes/semana} \quad (\text{Ec. 9.1})$$

$$\text{Coste} \frac{\text{logístico}}{\text{semana}} = \frac{950\text{€}}{\text{transporte}} \times 2 \text{ transportes} = 1900\text{€}$$

Con estos 1900€ se transportan 16 palés de 48 uds cada uno, por lo tanto, un total de 768 piezas / semanas transportadas por pedidos especiales:

$$\frac{\text{Unidade surgentes}}{\text{semana}} = \text{Nº de palés/semana} \times \text{Nº de uds/palé} \quad (\text{Ec. 9.2})$$

$$\frac{\text{Unidadesurgentes}}{\text{semana}} = 16 \text{ palés} \times \frac{48\text{uds}}{\text{palé}} = 768 \text{ uds}$$

9.3.2. Coste logístico con aumento producción

Actualmente ya no es necesario realizar ningún transporte especial ni producir los fines de semana ya que la producción semanal está por encima de los niveles de demanda. Es decir, lo generado de stock el martes, miércoles, jueves y viernes cubre las roturas de stock dadas el lunes.

$$\Delta \text{Producción} = \nabla \text{Coste logístico} = 1900\text{€/semana} \quad (\text{Ec. 9.3})$$

9.4. Impacto medioambiental

Al reducir el número de transportes urgentes se está reduciendo el impacto medioambiental. La contaminación está en un punto tan grave que, si sigue progresando a este ritmo, pronto nos quedaremos sin la Capa de Ozono, sin unos océanos, mares ríos y lagos limpios, sin una flora y fauna completa y agradable que conviva con nuestra especie pacíficamente. Por este motivo es muy importante reducir los niveles de contaminación en la medida de lo posible.

El impacto logístico dado no sólo minimiza costes, sino que también reduce el número de transportes realizados y con ello la contaminación.

9.5. Coste horas extra operarias

A través de un incremento de producción de 125 uds por día se consigue prescindir de la producción del fin de semana en muchas ocasiones, así como de las horas extras trabajadas. Al reducir las horas extras trabajadas, el coste de producción también lo hace. Las horas extras se pagan a 10€/h mientras que las horas normales a 8€/h para las operarias. Por lo tanto suponiendo una media de 16 horas trabajadas por fin de semana (2 turnos) con 3 operarias, se reduce el coste en:

$$\text{Coste} \frac{\text{horas extra}}{\text{semana}} = \frac{\text{Nº operarias} \times \text{horas trabajadas} \times \text{€/h}}{\text{semana}} \quad (\text{Ec. 9.4})$$

$$\text{Coste} \frac{\text{horas extra}}{\text{semana}} = \frac{3 \text{ operarias} \times 16 \text{ horas} \times 10\text{€/h}}{\text{semana}} = 480\text{€} / \text{semana}$$

9.6. Coste rechazo

El scrap es el rechazo interno de producción. Este rechazo posee un valor económico que incrementa a medida que incrementan el número de piezas NOK. Por este motivo, el FPY es inversamente proporcional al scrap, es decir, a mayor FPY menor cantidad de euros invertidos en rechazo.

$$\uparrow \text{FPY} = \downarrow \text{SCRAP}$$

El scrap incrementa con el número de piezas NOK porque por cada pieza NOK la operaria tiene que realizar el desmontaje oportuno de la pieza. Este desmontaje se realiza con el fin de extraer el componente dañado o mal montado que no permite pasar el control con éxito. Existe un control para cada una de las estaciones que permite reducir el nivel de scrap, pues no es lo mismo desmontar el producto en la primera etapa del proceso que desmontarlo cuando ya está totalmente montado.

El principal problema de desmontar el producto por una pieza que no es OK es que se dañan otras. Por ejemplo, para extraer el motor clipado en el circuito deben de retirarse las agujas,

cuadrantes, lámina de símbolos, etc. Es muy probable que en este desmontaje se dañen los materiales mencionados anteriormente.

Para conocer la cantidad de euros invertidos (scrap) de una pieza que no es OK se realiza el estudio de los 6 tipos de defectos con mayor ocurrencia y se calcula la media del valor económico de cada uno. Normalmente, cuánto más avanzado esté el producto en el proceso mayor scrap se genera por desmontaje. Se realiza una estimación en función del tipo de fallo dado, de la estación en la que ha ocurrido y de la cantidad de material que se ha tenido que retirar.

Para calcular el coste unitario por pieza defectuosa se realiza una ponderación en función de la repetitividad del fallo y del tipo de desmontaje que este implica, por lo tanto, este coste se asocia a una media ponderada de los defectos top offenders. En la siguiente tabla se muestra el cálculo:

Pieza	Ocurrencia	Defecto	Material NOK	Rechazo	€/material	€/desmontaje	Desm.ponderado
1	45%	D. indicador NOK	Realce	40%	1,94 €	0,78 €	3,40 €
			Lámina	40%	2,56 €	1,02 €	
			Aguja	100%	1,50 €	1,50 €	
			Anillos	100%	2,25 €	2,25 €	
			Cuadrantes	100%	2,00 €	2,00 €	
2	10%	Anillo mal montado	Ninguno	0%		0,00 €	0,00 €
3	10%	Iluminación aguja NOK	Realce	40%	1,94 €	0,78 €	0,23 €
			Aguja	100%	1,50 €	1,50 €	
4	25%	Movimiento aguja NOK	Realce	40%	1,94 €	0,78 €	1,89 €
			Lámina	40%	2,56 €	1,02 €	
			Aguja	100%	1,50 €	1,50 €	
			Anillos	100%	2,25 €	2,25 €	
			Cuadrantes	100%	2,00 €	2,00 €	
			Gúia luz	0%	0,62 €	0,00 €	
5	5%	Display NOK	Ninguno	0%		0,00 €	0,00 €
6	5%	Clavado aguja NOK	Realce	40%	1,94 €	0,78 €	0,38 €
			Lámina	40%	2,56 €	1,02 €	
			Aguja	100%	1,50 €	1,50 €	
			Anillos	100%	2,25 €	2,25 €	
			Cuadrantes	100%	2,00 €	2,00 €	
PROMEDIO PONDERADO							5,89 €

Tabla. 26 Ejemplo 1 coste unitario rechazo

La columna de "Rechazo" hace referencia al porcentaje de veces que al desmontar la pieza ese material es dañado. Por ejemplo, si Realce es un 40% significa que de cada 10 veces que se desmonta la pieza por el defecto dado 4 se daña este material.

Otra forma de calcular el coste de rechazo unitario es relacionando el scrap total generado en un intervalo de tiempo dado (una semana) por la cantidad de piezas NOK generadas en el mismo intervalo. En la siguiente tabla se muestran los valores que termina coincidiendo aproximadamente con el valor de la primera tabla:

COSTE UNITARIO POR RECHAZO				
Producción	Piezas NOK	Scrap	€/ud producida	€/ud producida NOK
2451	62	389,3 €	0,15 €	6,27 €

Tabla. 27 Ejemplo 2 coste unitario rechazo

Una vez obtenido el coste unitario de rechazo por unidad NOK (se realiza una media entre las dos fórmulas de cálculo), se procede a calcular el coste total generado de scrap en el intervalo estudiado a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Coste Scrap} = \text{Nº piezas NOK} \times \text{Coste scrap unitario} \quad (\text{Ec. 9.5})$$

A continuación, se obtiene el número de piezas que se obtendrían NOK utilizando la herramienta del indicador predictivo donde incrementa el FPY en un 0,5% en el intervalo de un mes

$$\text{FPY ANTES} = \frac{\text{Piezas OK}}{\text{Piezas NOK} + \text{Piezas OK}}$$

$$97,5\% = \frac{2451}{2451 + \text{Piezas NOK}}$$

$$\text{Piezas NOK} = 62 \text{ piezas}$$

$$\text{FPY PREDICTIVO} = \frac{\text{Piezas OK}}{\text{Piezas NOK} + \text{Piezas OK}}$$

$$98,00\% = \frac{\text{Piezas OK}}{\text{Piezas NOK} + \text{Piezas OK}}$$

$$\text{Piezas NOK} = 50 \text{ piezas}$$

Con estas dos fórmulas se puede obtener la reducción de piezas NOK y por lo tanto la cantidad de coste que se reduce:

$$\nabla \text{ piezas NOK} = \text{Piezas NOK } x - \text{Piezas NOK } x + 4 \quad (\text{Ec. 9.6})$$

$$\nabla \text{ piezas NOK} = 62 - 50 = 12 \text{ uds}$$

$$\text{Reducción coste} = \nabla \text{ piezas NOK } x \text{ coste unitario scrap} \quad (\text{Ec. 9.7})$$

$$\text{Reducción coste} = 12 \text{ uds } x 6,08\text{€} = 72,96 \text{ € /semana}$$

Si extrapolamos este intervalo de tiempo a un intervalo temporal más amplio el coste ahorrado es mayor, se demuestra de esta forma como este coste aumenta de manera directamente proporcional al número de fallos.

Conclusiones

A través de la implantación OEE se averigua los puntos críticos que generan las grandes pérdidas de una de las líneas de producción destinadas al cliente BMW. El OEE es el punto de la mejora continua por lo que una vez conocidas sus pérdidas, el proyecto se centra en la mejora de las mismas (a través de los puntos claves mencionados en la tabla que se representa a continuación):

	SIN MEJORA	CON MEJORA	PUNTOS CLAVE
Tiempo programado	7,45 h	7,45 h	Tiempos espera / avería
Tiempo operativo real	6,74 h	6,75 h	
DISPONIBILIDAD	90,44%	90,77%	
Producción prevista	295,8 uds	313,9 uds	Estudio tiempos y cuello de botella
Producción real	247 uds	287,7 uds	Aumento velocidad máquinas
RENDIMIENTO	83,5%	91,7%	
Producción total	247 uds	287,8 uds	Herramienta FPY predictivo
Piezas buenas	240,8	282,5	
CALIDAD	97,5%	98,0%	
OEE	73,62%	81,57%	

Tabla. 28 Resumen resultados OEE

La tabla anterior muestra todos los resultados obtenidos y las acciones utilizadas para alcanzar un incremento de este indicador. El OEE calculado es de un 73,62% y el mejorado conseguido es de un 81,57% (se establece dentro del rango de Indicador Aceptable). A continuación se pueden observar los distintos rangos en los que se puede encontrar la empresa en función del resultado del OEE:

- OEE < 65% Inaceptable. Se producen importantes pérdidas económicas. Muy baja competitividad.
- 65% < OEE < 75% Regular. Aceptable sólo si se está en proceso de mejora. Pérdidas económicas. Baja competitividad.
- 85% < OEE < 95% Buena. Entra en Valores World Class. Buena competitividad.
- OEE > 95% Excelencia. Valores World Class. Excelente competitividad.

La métrica OEE informa sobre las pérdidas y cuellos de botella del proceso y enlaza la toma de decisiones financiera y el rendimiento de las operaciones de la líneas, ya que permite justificar cualquier decisión sobre nuevas inversiones como son:

- La obtención de paletas de recambio.
- La introducción de dos paletas más a la máquina que es el cuello de botella de la línea.

Se puede concluir tras el análisis realizado en que la línea es capaz de satisfacer la demanda del cliente (sin trabajar los fin de semanas) y por una serie de pérdidas encontradas a lo largo del análisis no estaba produciendo a las capacidades de producción definidas.

A través de este aumento del OEE (incremento de 125 unidades por día) se consigue reducir los siguientes costes:

Reducción coste = Coste logístico + Coste horas extras operarias + Coste rechazo

$$\text{Reducción coste} = 1900\text{€} + 480\text{€} + 72,96\text{€} = 2452,6\text{€} / \text{semana}$$

La obtención de esta reducción de costes también se podrá conseguir para la otra línea del cliente que produce los cuadros del modelo serie 3 (son líneas idénticas). Por lo tanto el impacto se verá incrementado.

Además de la reducción de costes se conseguirá aumentar la credibilidad del cliente, que aunque no se puede medir económicamente es una de las mejoras más importantes para la empresa.

Agradecimientos

Me gustaría en primer lugar dar las gracias públicamente al manager de producción de Continental, por haberme dado la oportunidad de elaborar mi proyecto fin de máster en una multinacional de tal calibre. También al resto de la organización que ha participado proporcionando datos y resolviendo las dudas a medida que avanzaba con el desarrollo del proyecto.

Mi agradecimiento total al tutor de la escuela y de este trabajo, Xavier Gavaldá por su completa disponibilidad siempre que lo he necesitado. Por haberme guiado durante los 6 meses en la realización del proyecto con respecto sobre todo a el alcance del mismo y a la cantidad de impactos que la realización de mi trabajo tendría. Ofreciéndome siempre una visión global de la cadena de suministro y del mundo de la automoción.

Bibliografía

Referencias bibliográficas

[1] Continental Automotive Spain Rubí, *Departamento de producción y logística*.

[2] Diseño de la cadena de suministro .*Estudio de métodos y tiempo*. ETSEIB.UPC..

[3] Dirección de operaciones de la cadena de suministro. *Planificación de la producción*. ETSEIB.UPC.

[4] Organización de la producción. Universidad de Vigo.

[5] JEFFREY K. LIKER, The Toyota Way (14 Management principles from the world's greatest manufacturer) 2004.

Referencias complementaria

[1] Página Web: https://es.wikipedia.org/wiki/Eficiencia_general_de_los_equipos.

[2] Página Web: <http://www.sistemasoe.com/oe/para-principiantes/98-calculador-oe>.