

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



**“SISTEMA DE CONTROL Y GESTIÓN DE LA
EFICIENCIA DE UNA RECANTEADORA EN
UNA LINEA DE PRODUCCIÓN”**

**PROYECTO FIN DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**Autor: Pablo Hernández Marchante
Director del proyecto: Xavier Soldani**

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a Xavier Soldani por confiar en mi para la realización de este proyecto como proyecto de fin de grado, por guiarme en su ejecución y facilitarme el trabajo.

A todos los trabajadores de Airbus Illescas con los que codo a codo hemos sacado este proyecto adelante, en especial a los operarios y a los mandos del área, Jorge y Jesús, sin ellos no habría sido posible.

Al resto de mis compañeros de trabajo en Airbus que durante un año me han acompañado y formado día a día.

A mi familia por apoyarme durante todos estos años de estudio que no fueron fáciles, por darme la oportunidad de tener una educación y porque sin ellos nada sería igual.

A mis compañeros de universidad por todas las experiencias vividas con ellos.

A Esther por estar siempre ahí, por comprenderme y ayudarme.

INDICE

LISTA DE ILUSTRACIONES.....	6
LISTA DE TABLAS.....	8
LISTA DE ECUACIONES.....	9
1. INTRODUCCION.....	10
1.1 ANTECEDENTES.....	10
1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO.....	11
1.3 ACLARACIONES.....	12
2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1 OEE.....	14
2.2 LEAN MANUFACTURING.....	18
2.2.1 Los ocho desperdicios.....	19
2.2.2 Nivel de la carga de trabajo.....	20
2.2.3 Las 5S's.....	21
2.2.4 Resolución de problemas.....	22
2.2.5 Los 5 por qué.....	23
2.2.6 Estandarización de tareas.....	24
2.2.7 Gestión visual.....	24
2.3 PARETO.....	25
2.3.1 Curva de Pareto.....	25
2.3.2 Separar lo Vital de lo Trivial.....	25
2.3.3 Haciendo uso de los “muchos triviales”.....	26
2.3.4 Encontrando la causa raíz.....	27
2.4 METODOS DE CÁLCULO DE LA PRODUCTIVIDAD Y LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS.....	27
2.4.1 FTT (First Time Through – Piezas bien a la primera) Ratio de Calidad.....	28
2.4.2 BTS (Building To Schedule – Ajuste a la programación).....	29
2.4.3 DTD, Tiempo de muelle a muelle.....	30
2.4.4 Ratio de Valor añadido (RVA).....	30
2.4.5 Productividad de mano de obra.....	31

3.	ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE UNA MÁQUINA DE RECANTEADO	32
3.1	INDUSTRIA DE LA FABRICACIÓN AERONAUTICA	32
3.2	LA COMPAÑÍA: AIRBUS	33
3.3	AREA DE RECANTEADO	34
3.3.1	Situación dentro de la línea de fabricación	34
3.3.2	Organización departamental	35
3.3.3	Operativa dentro del área de recanteado	36
3.3.4	Piezas recanteadas.....	37
3.4	RECANTEADORAS M. TORRES.....	40
3.5	ESTADO ANTERIOR DEL CONTROL DE LA EFICIENCIA	42
3.6	CALCULO DEL OEE	43
3.7	TASA DE UTILIZACIÓN, EFICIENCIA GLOBAL Y EFICIENCIA FINANCIERA.....	47
3.8	MÉTODO DE ANÁLISIS DE LAS PARADAS	48
3.9	IMPLANTACION DEL METODO	51
3.9.1	Definiendo las paradas	52
3.9.2	Listado de paradas	55
3.9.3	EL TPM COMO PUNTO DE REUNIÓN	61
3.10	RECOLECCIÓN DE DATOS	61
3.10.1	Método de registro de paradas	62
3.10.2	Roles en la recolección de datos	64
4.	ANÁLISIS.....	68
4.1	Análisis del OEE y sus factores	68
4.2	Análisis de las desviaciones del tiempo real frente al presupuestado	70
5.	RESULTADOS	74
5.1	MEJORAS EN LOS PROCESOS	74
5.1.1	Mejoras implantadas.....	74
5.1.2	Mejoras no implantadas/por implantar	78
5.2	CAMBIOS EN EL OEE.....	81
5.3	FORMACION Y CONCIENCIACIÓN DE LOS OPERARIOS	84

6.	CONCLUSIONES.....	86
6.1	LOGROS DEL MÉTODO	86
6.2	LIMITACIONES DEL MÉTODO	87
6.3	PROXIMOS PASOS	90
6.3.1	Mantenimiento del sistema.....	90
6.3.2	Toma de acciones	91
6.3.3	Implicación por parte de los recursos humanos	91
6.3.4	Integración del sistema informáticamente	91
7.	REFERENCIAS.....	93

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: OEE computation and procedure – (Nakajima, 1988)</i>	14
<i>Ilustración 2: Los 8 pilares de la implantación del TPM (Ahuja, et al., 2008)</i>	16
<i>Ilustración 3: El modelo de las 4 P's (Liker, et al., 2004)</i>	18
Ilustración 4: Visión general del Lean Manufacturing	19
Ilustración 5: <i>Las tres M's (Liker, et al., 2004)</i>	21
Ilustración 6: <i>Las 5 S's (Liker, et al., 2004)</i>	21
<i>Ilustración 7: El proceso de resolución de problemas de Toyota (Liker, et al., 2004)</i>	22
<i>Ilustración 8: Los 5 Por qué Modelo de investigación (Scholtes, 1998)</i>	23
Ilustración 9: Histórico de pedidos y entregas de Airbus y Boeing (Airbus, 2013).....	32
Ilustración 10: Organización departamental en el área industrial del A380 Illescas	35
Ilustración 11: Flujograma de operaciones en el área de recantado	37
Ilustración 12: Pieza de fibra de carbono siendo mecanizada por el Torresmill	40
Ilustración 13: Detalle de las copas de vacío del Torrestool	41
Ilustración 14: Factores influyentes en la mejora del OEE	44
Ilustración 15: Tabla resumen de los factores del OEE	46
Ilustración 16 Gráfico de la duración total de las paradas de disponibilidad de la RC2 en la semana 20	50
Ilustración 17 Gráfico de las desviaciones de disponibilidad de la RC2 en la semana 20	50
Ilustración 18: Gráfico ejemplo de la muestra del valor de OEE y % de pérdidas en una semana	68
Ilustración 19: Pareto desviaciones de rendimiento de la RC2 acumulado semana 10-24	71
Ilustración 20: Pareto desviaciones de rendimiento de la RC3 acumulado semana 10-24	71
Ilustración 21 Pareto desviaciones de disponibilidad de la RC2 acumulado semana 10-24	72

Ilustración 22: Pareto desviaciones de disponibilidad de la RC3 acumulado semana 10-24	72
Ilustración 23: Pareto desviaciones de calidad de la RC2 acumulado semana 10-24.....	73
Ilustración 24: Pareto desviaciones de calidad de la RC3 acumulado semana 10-24.....	73
Ilustración 25: Pistola de código de barras.....	75
Ilustración 26: Persianillas eje Y.....	75
Ilustración 27: Mapeado circuitaje S19.1	76
Ilustración 28: Útil de almacenamiento de utillaje.....	77
Ilustración 29: Útil mejora de vacío	77
Ilustración 30: Evolución del OEE y porcentajes de paradas RC3 semana 10-24.....	82
Ilustración 31: Evolución del OEE y porcentajes de paradas RC2 semana 10-24.....	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Valores de referencia del OEE.....	43
Tabla 2: Clasificación y tipos de paradas en las recanteadoras del A380	54
Tabla 3: Ejemplo de extracción de datos del software de grabación de paradas	63
Tabla 4: Rutinas y responsabilidades en el método	65
Tabla 5: Muestra de tiempos totales de parada en un día.....	69
Tabla 6: Resumen del objetivo diario de tiempos totales por día.....	70

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Fórmula del FTT (First Time Through – Piezas bien a la primera)	28
Ecuación 2: Fórmula del BTS (Building To Schedule – Ajuste a la programación).....	29
Ecuación 3: Fórmula del cálculo del rendimiento de volumen	29
Ecuación 4: Fórmula de cálculo del rendimiento del mix.....	29
Ecuación 5: Cálculo del ratio de valor añadido.....	29
Ecuación 6: Fórmula del DTD (Tiempo de muelle a muelle).....	30
Ecuación 7: Fórmula del TAKT.....	30
Ecuación 8: Fórmula del RVA (ratio de valor añadido)	31
Ecuación 9: Fórmula de cálculo de la productividad de mano de obra.....	31
Ecuación 10: Fórmula de cálculo del Plant working time	45
Ecuación 11: Fórmula de cálculo del Planned Production time	45
Ecuación 12: Fórmula de cálculo del Operating Time	45
Ecuación 13: Fórmula de cálculo del Operating Time	45
Ecuación 14: Fórmula de cálculo del Fully Productive time	45
Ecuación 15: Fórmula de cálculo del % de pérdidas de disponibilidad	46
Ecuación 16: Fórmula de cálculo del % de pérdidas de Rendimiento	46
Ecuación 17: Fórmula de cálculo del % de pérdidas de calidad	47
Ecuación 18: Fórmula de cálculo del OEE	47
Ecuación 19: Fórmula de cálculo del % de pérdidas por paradas planificadas	47
Ecuación 20: Fórmula de cálculo del % de pérdidas por planta cerrada.....	47
Ecuación 21: Fórmula de cálculo de la Tasa de utilización	48
Ecuación 22: Fórmula de cálculo del GEE (Global Equipment Effectivenest).....	48
Ecuación 23: Fórmula de cálculo del FEE (Financial Equipment Effectivenest)	48

1.INTRODUCCION

Cualquier compañía dedicada al sector de la fabricación debe tener como objetivo implementar dentro de su organización una filosofía en la que sus procesos productivos puedan mantenerse competitivos con respecto a sus competidores.

En la compañía Airbus donde he tenido la oportunidad de trabajar durante un año en el departamento de producción el escenario es similar. La compañía necesita mejorar continuamente la eficiencia de sus equipos y de sus procesos para poder mantener un control de los costes de producción, reduciendo estos al máximo. Se hace necesario por tanto disponer de métodos para medir y cuantificar los cambios que se realizan en las máquinas y los procesos para ser capaces de medir el desarrollo y justificar las inversiones necesarias para mejorar.

Surgió la oportunidad y la necesidad de desarrollar un sistema de control de la eficiencia de dos de las máquinas que suponen un cuello de botella en la línea de fabricación. Con el apoyo del departamento de producción y de las funciones soporte en la planta que Airbus tiene en Illescas nos pusimos manos a la obra para desarrollar y poner en funcionamiento este sistema.

1.1 ANTECEDENTES

En la actualidad los mercados y las tendencias en el entorno empresarial, en especial en el sector de la producción, ha tomado un rumbo hacia la necesidad de ser más competitivos. Para que una compañía pueda mantenerse competitiva la productividad y la eficiencia en los procesos debe ser mejorada de forma general en todos los entornos de la compañía.

Es importante apostar por la mejora continua, mantener un entorno en el que se incentive la innovación, el desarrollo de nuevas técnicas, la mejora en la calidad de los productos, una reducción general de costes y una disminución en los tiempos de producción y entrega, pero es fundamental que las empresas dispongan de sistemas que hagan posible analizar el rendimiento de las inversiones que realizan.

1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

El proyecto se centra en la creación de un sistema de análisis de la eficiencia de máquinas y los procesos que en estas se realizan tomando como referencia los datos recogidos en dos máquinas de mecanizado de control numérico.

El proyecto nace de la necesidad de dotar al departamento de producción de Airbus en la planta de Illescas en el programa del A380 de un método para el análisis de la productividad de sus máquinas, es por ello que los datos recogidos corresponden a dos máquinas que trabajan para este programa.

Se eligieron las recanteadoras como piloto para el lanzamiento de este sistema debido a su compleja operativa, con multitud de paradas en el mecanizado, para intentar reducir los tiempos muertos y minimizar el cuello de botella que este proceso supone en la línea de fabricación.

Los objetivos del proyecto son crear un método que permita a la empresa:

- Conocer la eficiencia de sus procesos.
- Recoger datos para ser capaz de analizar el rendimiento actual y compararlo con tendencias anteriores.
- Fijar un objetivo de mejora realista en la productividad.
- Cuantificar las pérdidas de tiempos en los procesos.
- Cuantificar el impacto de las mejoras a incluir en los procesos para estudiar su viabilidad.
- Mejorar la eficiencia de las máquinas usando herramientas de Lean Manufacturing.

A pesar de que el proyecto se encuadra dentro del análisis de dos máquinas concretas, entendiendo los conceptos que encierra el método, y siguiendo los pasos en la implementación del método, es posible analizar cualquier proceso que incluya grandes máquinas. Para que este proyecto pueda ser aplicado de forma general a una máquina es necesario particularizar el estudio.

1.3 ACLARACIONES

Es una tendencia global que se empieza a implementar la metodología y el pensamiento Lean en compañías que aun no habían orientado su gestión hacia una mejora organizacional y una implementación de este tipo actividades estratégicas. En las compañías que se dedican al sector de la fabricación estos esfuerzos están directamente orientados al entorno productivo buscando una optimización de los recursos y un uso efectivo de las instalaciones y el personal.

Este proyecto se desarrolla en una empresa donde esta ideología lleva más de una década intentando calar en el personal a todos los niveles, desde directivos hasta operarios, y es en estos últimos donde la implementación resulta más complicada. Que el personal de la fabrica ya estuviese familiarizado con la implementación de herramientas Lean ha supuesto que se haya facilitado en gran medida la implementación de este sistema y su puesta en marcha. No obstante detrás de estos datos existe una labor de meses de formación a los operarios, puesto que sin ellos este sistema no funcionaría.

A la hora de implementar un sistema de control de la productividad es importante dirigir adecuadamente la atención del operador de la máquina, como también resulta importante que los managers y directores del área que se encargan de monitorizar estos indicadores entiendan en profundidad lo que estos significan. Justificar tiempos de paradas puede hacer que el operador sienta que están siendo controlado y mirado con lupa lo cual puede resultar intimidatorio. Lejos de esta percepción hay que hacerles entender a base de formación que el objetivo de este sistema es encontrar puntos ineficientes en busca de la mejora de los procesos intrínsecos a los trabajos realizados en la máquina.

Es muy importante que el operador de máquina entienda que el control de los tiempos de paradas puede suponer una oportunidad de ponerle nombre económicamente a los problemas que ellos mismo sufren a la hora de trabajar en la máquina y estudiar su rentabilidad. Durante la implementación de este sistema se realizaron un buen número de cambios en la operativa de la máquina que arreglaban problemas de los cuales los operarios se quejaban históricamente y que nunca se habían tomado en cuenta por sus superiores ya que pensaban que no eran del todo importantes. La implicación por parte de los operarios solo se puede conseguir, desde la experiencia que he vivido durante el tiempo que trabaje en esta compañía, haciéndoles sentir parte del desarrollo y la implementación de un sistema que a fin de cuentas son ellos mismos los que van a utilizar.

Al comenzar este proyecto ya existían una serie de indicadores para medir la productividad de la máquina. El OEE es el indicador principal usado en este proyecto para medir la eficiencia de la máquina, y ya era utilizado en la empresa con anterioridad,

sin embargo no era entendido adecuadamente ni por operarios ni por managers, desvirtuando su uso. El hecho de que el indicador ya era conocido hizo que a la hora de buscar un sistema más robusto se pensase en la utilización de este indicador. Pese a ser utilizado durante años, la realidad era que estos indicadores se convertían en números vacíos, carentes de sentido tanto para los operadores como para sus superiores, no siendo utilizados correctamente ni siendo analizados en búsqueda de la mejora.

Este sistema en realidad es una optimización del uso de recursos que ya existían en la empresa y un cambio de enfoque orientado hacia la resolución de problemas. Se pretende por tanto con este proyecto ser ejemplo para la implementación en otras empresas o en otras máquinas el uso de este indicador, la forma de medirlo y los complementos que pueden ayudar al control de las pérdidas de tiempo, la productividad y la resolución de problemas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 OEE

El OEE (Overall Equipment Effectiveness) es una herramienta desarrollada por S.Nakajima (1988) quien propuso este indicador para poder evaluar el progreso del TPM (Total Productive Maintenance) también creado por él. El OEE es el resultado de la multiplicación de tres factores; disponibilidad, rendimiento y calidad (availability, performance and quality).

Antes de la creación del OEE, la disponibilidad era el único parámetro tomado en consideración, lo cual falseaba el resultado final resultando en una sobreestimación de la tasa de utilización de los equipos. La siguiente figura es la representación de como el OEE puede ser definido, teniendo en cuenta todas las funciones claves que pueden afectar al resultado final.

Adicionalmente se usan indicadores de producción y de productividad (producción por unidad de tiempo). Así como medidas de cumplimiento de los tiempos de compromiso en las entregas, medias de tiempos de fabricación por pieza, etc.

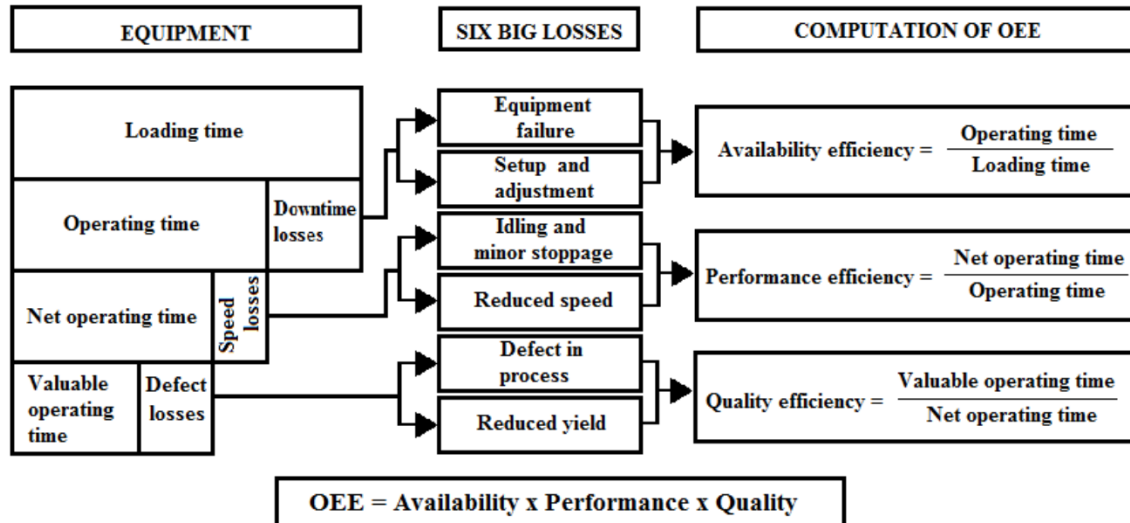


Ilustración 1: OEE computation and procedure – (Nakajima, 1988)

El OEE es un concepto realmente interesante a la hora de interpretar lo bien o lo mal que se está utilizando una máquina para un determinado proceso con el objetivo de optimizarlo posteriormente. Sin embargo, la recolección de datos es el escollo más difícil y tiene una relevancia vital a la hora de identificar la precisión de los resultados. Cada máquina y cada proceso es diferente, por lo tanto el método para la recolección de

datos necesita estar correctamente desarrollado para conseguir los resultados deseados. Nakajima propuso una clasificación de lo que él llama "hidden losses" en seis categorías, más famosas como "Six big losses":

- Paradas de disponibilidad de la máquina: Averías y ajustes de la máquina.
- Perdidas de rendimiento: Pequeñas paradas y velocidad reducida del equipo.
- Perdidas de calidad: defecto en el proceso y calidad reducida.

Otras paradas podrían ser incluidas para obtener resultados más precisos. El mantenimiento preventivo por ejemplo o el tiempo dedicado a las propias mejoras de la máquina. Dependerá en gran medida de la operativa particular de la máquina las paradas que se incluyan dentro de estas "Six big losses".

OEE y TPM

El concepto de OEE se desarrolla dentro de un completo programa llamado TPM que ya ha sido mencionado anteriormente. El TPM podría ser entendido como una cultura con diferentes objetivos que son: mejorar el sistema productivo de la máquina por una parte y los recursos humanos por otra.

Esta cultura está regida por numerosos principios que son:

- Los fallos de la máquina son inaceptables, y los conflictos entre mantenimiento y producción deberían ser eliminados.
- Eliminar las situaciones o ideas dramáticas desde un punto de vista productivo.
- Mantener un alto nivel de exigencia con la limpieza y las condiciones de la máquina.
- Encontrar la causa raíz de los problemas.
- Aplicar la mejora continua.

Este cambio en la cultura corporativa implica que todas las funciones soporte a producción deben estar presentes contribuyendo en mayor o menor medida al correcto funcionamiento de la máquina. En el largo plazo los operarios de la máquina deben ser capaces de usar el equipo de acorde a sus condiciones de uso, limpiarlo, identificar posibles causas de fallo de manera prematura y arreglarlas por ellos mismos cuando sea posible.

El TPM se construye sobre 8 pilares, cada uno de los cuales se desglosa a continuación:

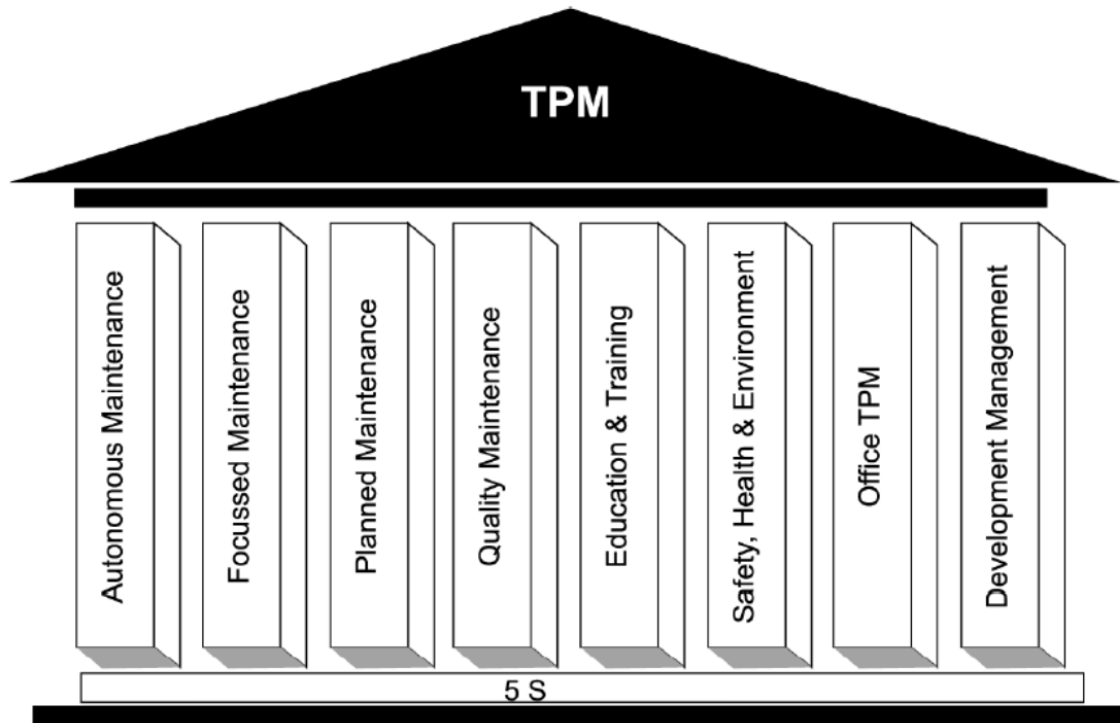


Ilustración 2: Los 8 pilares de la implantación del TPM (Ahuja, et al., 2008)

Mantenimiento autónomo - Mantener el área de trabajo limpia y un ambiente que facilite el trabajo.

- Fomentar el sentido de propiedad de la máquina por parte del operador.
- Realizar la limpieza, lubricación, ajuste, inspección y reajuste de los equipos de producción.

Enfoque hacia la mejora - Estar siempre en busca de nuevas mejoras.

- Identificación sistemática y eliminación de los puntos no eficientes.
- Lograr un sistema de mejora eficiente.
- Mejorar el OEE en los procesos productivos.

Mantenimiento planificado - Minimizar las averías de la máquina.

- Planificar mantenimientos preventivos y predictivos eficaces y eficientes.
- Establecer checklists para los mantenimientos preventivos.
- Mejorar el MTBF (Mean Time Before Failure / Tiempo medio entre averías) y el MTTR (Mean Time To Repair / Tiempo Medio de Reparación).

Mantenimiento de la calidad - Tender a no generar Scrap (chatarra).

- Conseguir cero defectos
- Buscar e identificar los problemas de la máquina y la causa raíz de los mismos.

Educación y entrenamiento - Involucrar a los recursos humanos.

- Impartir formación tecnológica, de control de calidad y en materia de relaciones interpersonales.
- Fomentar la multitarea en los operarios.
- Alinear los objetivos de los empleados con los de la empresa.
- Realizar una continua evaluación y refresco de la formación.

Seguridad, salud y entorno - Hacer el área de trabajo un lugar más confortable.

- Asegurar un entorno de trabajo seguro.
- Proveer un entorno de trabajo adecuado.
- Eliminar los incidentes y los accidentes.
- Desarrollar procesos estándar.

TPM en oficinas - Extender los principios del TPM a las oficinas.

- Mejorar las sinergias entre los distintos departamentos de la compañía.
- Enfocarse en la identificación de los problemas que generan costes.
- Aplicar 5S en las oficinas y áreas de trabajo.

Desarrollo de la administración - Desarrollo continuo de ideas y procedimientos .

- Minimizar problemas en los equipos.
- Utilizar la experiencia de sistemas previos para aplicarlo a nuevos sistemas.
- Incentivar las iniciativas de mejora.

El concepto de TPM está basado en la teoría de las 5S que se detalla en el siguiente apartado “Lean Manufacturing”. Para implementar el TPM es necesario un cambio cultural dentro de la organización para que todos los componentes involucrados en el proceso productivo tengan los mismos objetivos y sigan una misma dirección. Esta implementación debe ser construida de acuerdo a una estructura que se detalla en los siguientes apartados.

2.2 LEAN MANUFACTURING

Lean Manufacturing es una corriente de pensamiento dentro del mundo de la producción desarrollado durante más de 20 desde la década de los años 50 del siglo XX por la empresa japonesa de la automoción Toyota. Esta corriente de pensamiento puede resumirse con dos términos: Mejora Continua (Kaizen) y Respeto por la gente. Estos dos son los pilares del Sistema Productivo de Toyota (TPS). En el libro “The Toyota Way” (Liker, et al.,2004) se describen todas las ideas principales desarrolladas por Sakichi Toyoda, su hijo Kiichiro Toyoda y su sobrino Eiji Toyoda. Los catorce principios se resumen en el modelo “4P” mostrado en la siguiente ilustración.

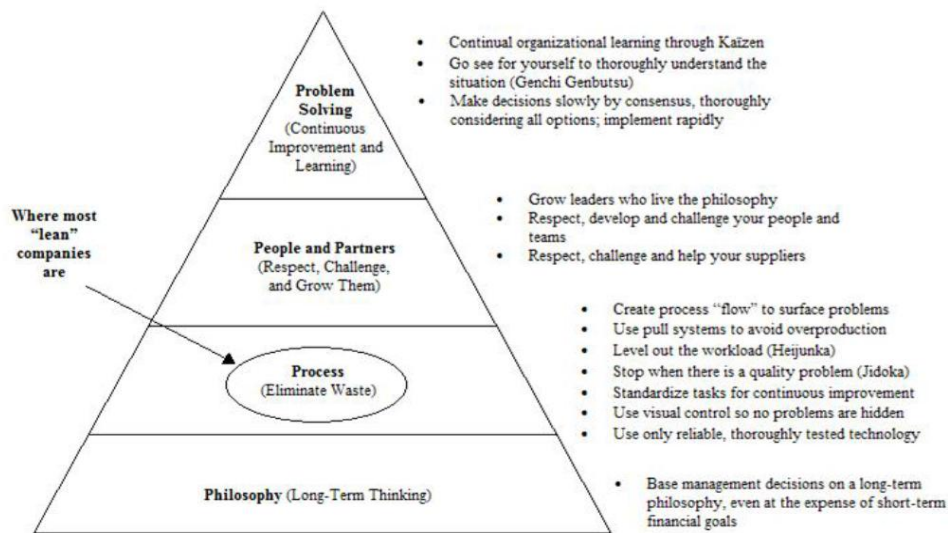


Ilustración 3: El modelo de las 4 P's (Liker, et al., 2004)

Para conseguir estos resultados existen diferentes herramientas Lean, cada una de ellas tiene una función en especial. Dentro del TPS se usan multitud de herramientas desarrolladas a lo largo de los años de investigación y ensayo.

Todas estas herramientas utilizadas en el TPS se resumen en la siguiente ilustración.

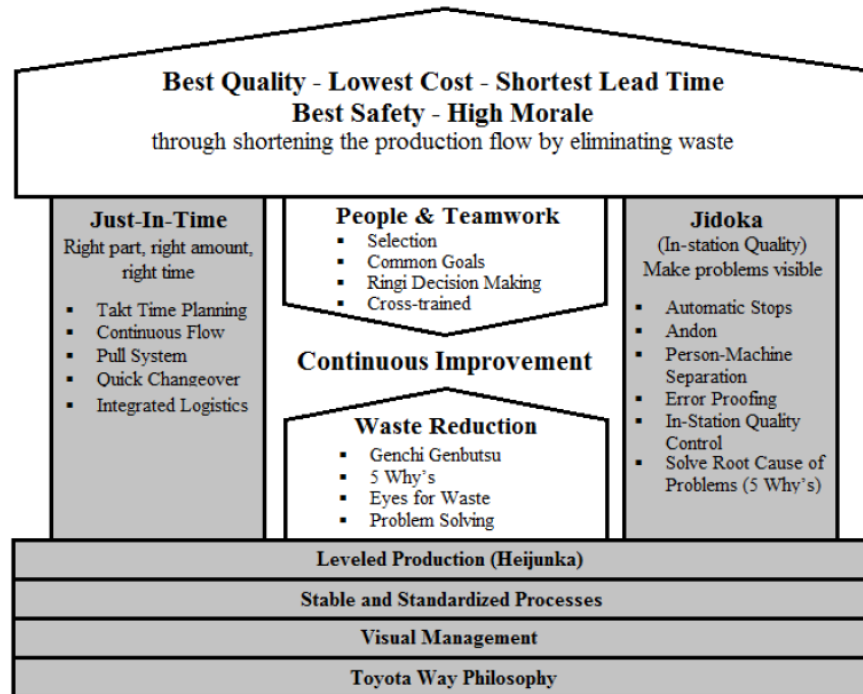


Ilustración 4: Visión general del Lean Manufacturing

El presente proyecto pretende monitorizar el OEE para mejorar la eficiencia global de las máquinas, todas estas herramientas lean deben tenerse en cuenta pero quizá no todas ellas se requieren para conseguir una mejora en el OEE.

2.2.1 Los ocho desperdicios

El libro “The Toyota Way” está basado en conseguir eliminar los desperdicios, todo aquello que no aporta un valor añadido al producto. Podemos dividir el término “desperdicios” en 8 categorías distintas, cada una de ellas con sus particularidades. Estos desperdicios son detallados a continuación según (Liker, et al., 2004):

- Sobreproducción: producir elemento para los que no hay demanda, lo cual genera gastos de almacenamiento y transporte por el exceso de inventario.
- Esperas: los trabajadores que simplemente esperan observando una máquina automática o que tienen que esperar el siguiente paso del proceso, herramienta, suministro, pieza, etc., o simplemente estar parado porque en la planificación hay retrasos, falta de stock, averías y cuellos de botella.

- Transportes innecesarios: recorrer largas distancias con el "Work In Process" (WIP), crear transportes ineficientes, o mover materias primas o bienes entre procesos.
- Sobreprocesado o procesado incorrecto: paradas innecesarias para procesar piezas. Procesado ineficiente debido a un diseño incorrecto de las herramientas o del producto, causando movimientos innecesarios y produciendo defectos. El gasto se genera cuando se producen productos con más calidad de la necesaria.
- Exceso de inventario: exceso de materia prima, WIP, o producto final causando tiempos muertos más largos, obsolescencias, productos dañados, costes de transporte y almacenamiento y retrasos. Por otra parte, el exceso de inventario esconde problemas tales como líneas mal balanceadas, retrasos de los proveedores, defectos y tiempos de ajuste prolongados.
- Movimientos innecesarios: cualquier derroche en el movimiento de los empleados tiene su impacto en el rendimiento del trabajo, movimientos tales como buscar, moverse hacia otro lugar, acumular piezas, herramientas, etc
- Defectos: la producción de piezas defectuosas o su reparación. Reparar o realizar retrabajos, la chatarra, la producción de piezas de reposición, y la inspección suponen un gasto en movimientos, tiempo y esfuerzo.
- Tecnología de la empresa en desuso: perder el tiempo en ideas, adquisición de habilidades y oportunidades de aprendizaje que no se tienen en cuenta por parte de los empleados.

2.2.2 Nivel de la carga de trabajo

Al implementar la cultura del Lean Manufacturing, en Toyota, los diferentes actores de comenzaron a usar el término "muda" para nombrar a los desperdicios o derroches. De acuerdo con estos, el Lean Manufacturing podría verse como el proceso de eliminación de "muda". Eliminar tan solo "muda" no es suficiente y puede tener incluso nefastas consecuencias para una compañía. "Muri" y "Mura" son otras dos palabras que se agregaron y crearon un sistema.

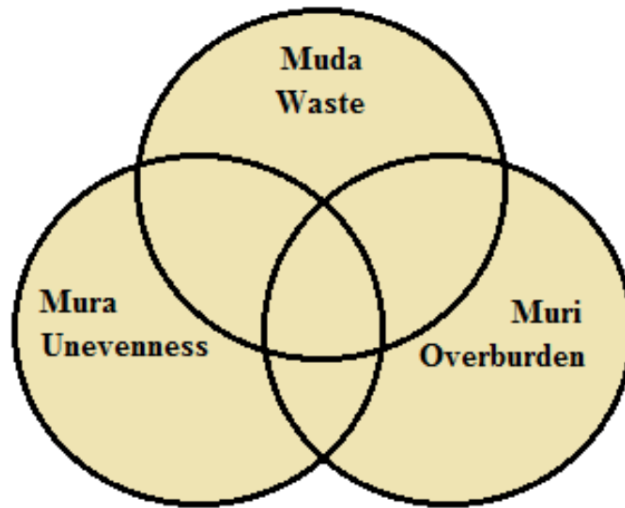


Ilustración 5: *Las tres M's (Liker, et al., 2004)*

2.2.3 Las 5S's

Las 5S's son una forma visual de reducir o incluso prevenir problemas. Esta técnica puede empezar a dar resultado rápidamente, es por esto que la mayoría de las compañías piensan que son lean después de implementar parcialmente las 5S's.

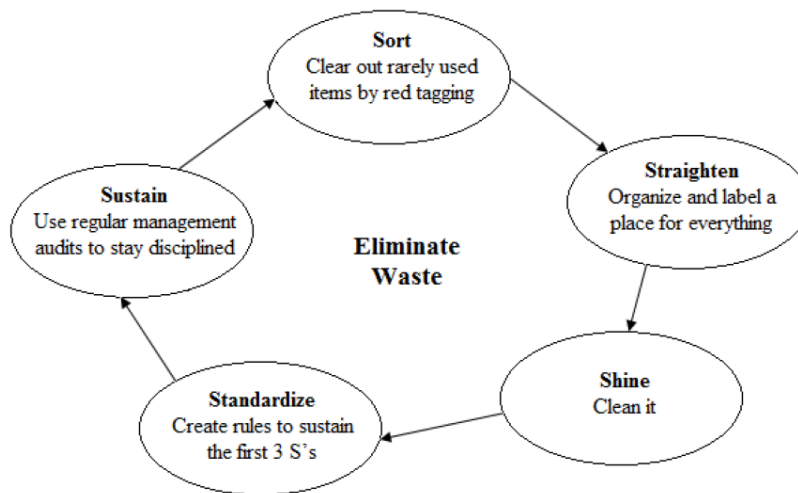


Ilustración 6: *Las 5 S's (Liker, et al., 2004)*

La figura previa resume el ciclo de las 5S's que debería aplicarse para ser capaz de eliminar los desperdicios principales. El nombre de las 5S's viene de 5 términos

japoneses que resumen la filosofía de esta técnica que son: seiri, seiton, seiso, seiketsu y shitsuke. Estos son sus significados:

- Seiri: separar innecesarios. Solo lo que realmente es necesario debe conservarse. Eliminar todo lo que no se usa.
- Seiton: situar necesarios. Cada objeto tiene su lugar, y debe permanecer ahí mientras no sea usado.
- Seiso: suprimir suciedad. En especial las máquinas deben estar limpias. Esto facilita su mantenimiento.
- Seiketsu: estandarizar. Encontrar la forma de mantener las primeras 3S's.
- Shitsuke: seguir mejorando. Los empleados constantemente deben pensar formas para mejorar con este control visual.

2.2.4 Resolución de problemas

En cualquier compañía continuamente aparecen problemas de todo tipo. Por esta razón puede ser útil analizar y seguir el procedimiento descrito en la siguiente figura. Es importante tener una herramienta que ayude a la resolución de problemas de cualquier tipo, ya que el proceso de resolución no difiere mucho de un problema a otro.

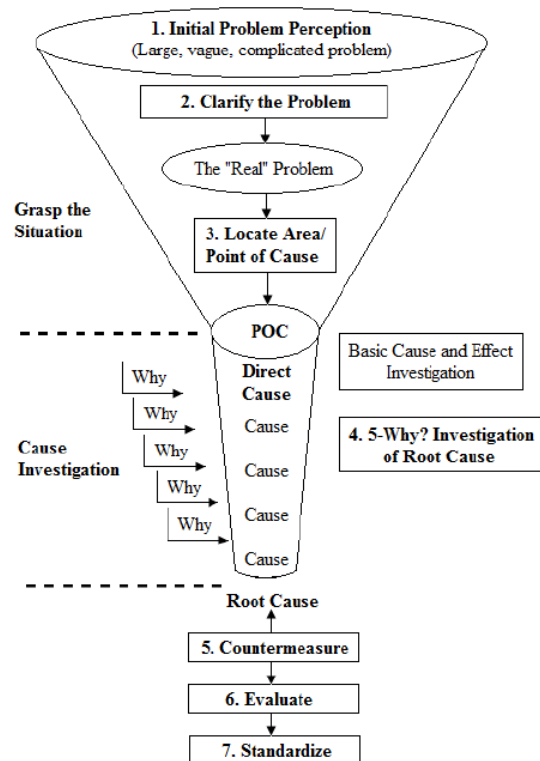
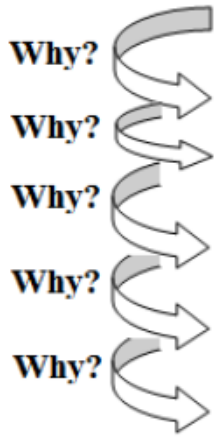


Ilustración 7: El proceso de resolución de problemas de Toyota (Liker, et al., 2004)

Cuando se detecta un problema, ya sea este importante o no, debe ser tratado. Desde su detección es posible seguir con el siguiente paso para encontrar su causa. “Los 5 por qué” que serán descritos posteriormente facilitan la investigación para encontrar la causa raíz. Los últimos tres pasos son tomar acciones y aplicar medidas para resolver el problema. Es necesario realizar una evaluación para comprobarlos.

2.2.5 Los 5 por qué

Los 5 por qué es un método empleado para encontrar la causa raíz de un problema. Puede ser usado siempre que ocurra un problema, y es una herramienta adoptada por muchas empresas en el ámbito del mantenimiento. La técnica consiste en preguntarse cinco veces por qué, cada vez que aparece un problema. En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de cómo puede usarse el método.



	Level of Problem	Corresponding Level of Countermeasure
Why?	There is a puddle of oil on the shop floor	Clean up the oil
Why?	Because the machine is leaking oil	Fix the machine
Why?	Because the gasket has deteriorated	Replace the gasket
Why?	Because we bought gaskets made of inferior material	Change gasket specifications
Why?	Because we got a good deal (price) on those gaskets	Change purchasing policies
Why?	Because the purchasing agent gets evaluated on short-term cost savings	Change the evaluation policy for purchasing agents

Ilustración 8: Los 5 Por qué Modelo de investigación (Scholtes, 1998)

Este método tiene una importante relación con la observación. De hecho, no hay mejor manera de saber cuando ocurre y como ocurre un problema que observándolo. La experiencia de los operarios que usan la máquina es muy importante también, ya que ellos conocen la máquina mejor que nadie.

Una forma de usar los 5 porqués es la que propone Liker en “The Toyota Way”: ir y verlo que realmente pasa, analizar la situación, localizar el foco, y preguntar.

2.2.6 Estandarización de tareas

De acuerdo al libro "The Toyota Way" (Liker, et al., 2004), estandarizar tareas es una forma importante de cambio hacia la mejora continua. Una tarea debe ser analizada cuidadosamente antes de ser estandarizada. Esto debe ser la base para cualquier trabajo detallado, la estandarización debe ser fuerte y estar bien realizada. La estandarización debe aparecer tras la implementación de un nuevo proceso, de otra forma no existe una base para la mejora continua. Es importante saber que la estandarización y el aprendizaje son complementarios.

El famoso CEO de la automoción Henri Ford (Ford, 1988) dijo *"si piensas en la estandarización como lo mejor que conoces hoy en día, pero que va a ser mejorado mañana, llegarás a alcanzar mejora. Pero si piensas en los estándares como una jaula, el progreso parara"*.

2.2.7 Gestión visual

La gestión visual está estrechamente relacionada con la observación, Una buena gestión visual puede ser muy útil para diversas aplicaciones. Un buen ejemplo es el sistema gráfico de mostrar los indicadores que usa el método que describe este proyecto. Otro ejemplo puede ser el uso de paneles con información relativa al área de trabajo, ya sean indicadores económicos, de desempeño, organizativos, de limpieza...

En general cualquier información útil debiese ser presentada de una forma clara, sencilla e intuitiva. Un buen ejemplo de gestión visual en el mantenimiento y uso de las máquinas, que es el ámbito de estudio de este proyecto, es el uso del sistema andon, donde un indicador luminoso en la máquina indica que ocurre un problema y hace que este pueda ser detectado de una forma mucho más fácil.

Otro ejemplo es el uso de sistemas de reposición de repuestos que mediante una luz o una bandera de color indica cuando se alcanza el nivel mínimo a partir del cual se debe generar una orden de reposición.

Está técnica no solo debería ser usada por managers sino también por cualquier empleado de cualquier nivel en una empresa, ya que facilita el trabajo y agiliza las reacciones. Todo lo que sucede debería ser registrado, ya sea en video, o en papel.

2.3 PARETO

El uso de la teoría de Pareto es un pilar en el análisis y tratamiento de los datos de este proyecto. Entender los principios de esta teoría ayuda en gran medida a entender la manera de tomar decisiones en cualquier aspecto del ámbito empresarial, así como en este caso, de las acciones a tomar para mejorar la eficiencia de una máquina.

2.3.1 Curva de Pareto

“En cualquier serie de elementos a controlar, una pequeña fracción, en términos de número de elemento, siempre supone una gran fracción en términos de efectos.”

Por ejemplo, supongamos que existe un catálogo que tiene diez mil productos distintos en un inventario. Siempre se cumple que el primer pequeño porcentaje de los artículos supone por ejemplo el 80 por ciento del valor total del inventario.

De la misma forma, si tenemos diez mil artículos en un catálogo, se cumple que el primer pequeño porcentaje de los productos supone unos tres cuartos de las ventas. Es más, el último 80 por ciento de los artículos en el catálogo solo supondrán un pequeño porcentaje de los ingresos en ventas.

De la misma forma un pequeño porcentaje de los defectos producidos por un proceso productivo supone el 80 por ciento de los costes en defectología.

De la misma forma un 20 por ciento de los empleados genera un 80 por ciento del absentismo total.

Esto son solo algunos ejemplos de lo que la ley de Pareto intenta demostrar.

2.3.2 Separar lo Vital de lo Trivial

La expresión práctica de este principio es la preparación de un listado de problemas por orden de importancia (el tipo de incidentes por orden de frecuencia, el tipo de defectos por costes, los elementos por número de unidades almacenadas, etc.). Un listado de este tipo automáticamente muestra “lo vital” en la parte alta de la lista; “lo trivial” (los muchos triviales) se encuentran en lo bajo de la lista.

Cada uno de estos grupos tiene su utilidad. “Lo vital” debe ser identificado cuando generamos un programa de mejoras, o una mejora de la planificación, o del control. “Lo

trivial” debe ser identificado si queremos poner en una balanza la rentabilidad de controlar estas casuísticas frente al coste de controlarlas.

La importancia de “lo vital” reside en que nada relevante puede ocurrir sin que afecte a este grupo. Hay un gran campo de aplicación para esta regla y en este sentido se desarrolla gran parte de la manera de actuar que refleja este método de control de la eficiencia de máquina.

2.3.3 Haciendo uso de los “muchos triviales”

Si restringimos nuestro esfuerzo a solucionar lo que ocasionan las casuísticas triviales, nuestro esfuerzo será, por lo general, satisfactorio. Sin embargo, nuestro esfuerzo aplicado sólidamente a los muchos triviales siempre es un fracaso. Es más, llegamos al punto de poder retroceder en nuestro progreso, la cura cuesta más que la enfermedad.

Existen multitud de ejemplos de compañías que han expandido en exceso su línea de producción. Poniendo un ejemplo, si se hace un análisis de una empresa en concreto, este análisis revelará que el 65 por ciento de los productos que menos se venden suponen solo un 4 por ciento de las ventas. El coste de ocupar dos tercios de la línea con este tipo de productos es totalmente ineficiente. Si la línea se reduce sensiblemente los costes fijos disminuirán mientras que la caída en las ventas no será significativa.

Este ejemplo de control de inventario mostrado anteriormente solo es una muestra de lo que se puede descubrir al realizar un análisis, la teoría de Pareto permite identificar este tipo de desviaciones y desequilibrios, y mostrarlos de una forma gráfica y fácilmente entendible para cualquiera.

Estableciendo un símil con el ejemplo anterior en el campo que abarca este proyecto podemos ver que analizando la causa raíz de las paradas y tiempo muerto de una máquina podemos identificar los muchos triviales de la máquina y los pocos vitales. Atacando a estos pocos vitales para que la productividad de la máquina y por tanto de la línea pueda aumentar sensiblemente. A su misma vez tenemos que mirar también a los muchos triviales, para identificar si merece la pena siquiera controlarlos, ya que quizá la pérdida de tiempo y recursos en controlar los mismos supone más coste que el ahorro que supondría deshacerse de ellos.

2.3.4 Encontrando la causa raíz

Una pregunta común a la hora de abordar un problema es: “¿Cuál es la causa raíz del problema?”. Usar la curva de Pareto aísla el mayor factor que puede causar el problema. De esta forma podemos atacar directamente y con todos nuestros recursos a la causa que es más probable que provoque nuestro problema.

Una vez identificado nuestro mayor problema podremos usar las técnicas del Lean Manufacturing descritas en capítulos anteriores como el uso de los cinco porqués o cualquier otra metodología válida para la solución de problemas y de esta forma ser capaz de resolverlo.

Ahora bien, supongamos que tenemos un problema, analizando la curva de Pareto descubrimos que una de las causas es la que más se repite, por tanto es la que más probabilidades tiene de ser la causa raíz. Disponer de un sistema que pueda valorar el impacto y traducirlo a términos económicos y productivos resulta crucial, sin este tipo de sistemas podemos poner remedio a problemas que realmente no lo son, o que no tienen solución factible. Podemos gastar más recursos a resolver el problema de los que el problema realmente genera. La teoría de Pareto nos ayuda a localizar los problemas, pero un análisis posterior es necesario para valorar el impacto real de estos problemas.

2.4 METODOS DE CÁLCULO DE LA PRODUCTIVIDAD Y LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS

El OEE y el uso de paretos para visualizar el rendimiento global de la máquina son un método de cálculo de la eficiencia, una manera de observar la forma en la que las acciones tomadas sobre los procesos influyen en la reducción de los tiempos muertos.

Es solo un método de cálculo, pero existen otros que pueden y en muchos casos deben ser complementarios. El OEE solo muestra una visión parcial de la eficiencia de los procesos en la máquina, pero no tiene en cuenta las piezas fabricadas por unidad de tiempo. Adicionalmente el OEE solo monitoriza las paldas, sin analizar si el tiempo productivo es más o menos eficiente. Se hace conveniente pues, utilizar otra serie de indicadores que pueden aportar una información complementaria.

2.4.1 FTT (First Time Through – Piezas bien a la primera) Ratio de Calidad

Se trata de un indicador básico a la hora de medir la calidad de un proceso. Con este indicador se muestran el número de piezas fabricadas de forma correcta en la primera ejecución, sin invertir en ellas recursos adicionales, sin retrabajos. La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$FTT = \frac{\text{Unidades entrantes} - \text{scrap} - \text{piezas retrabajadas}}{\text{Unidades entrantes}}$$

Ecuación 1: Fórmula del FTT (First Time Through – Piezas bien a la primera)

A la hora de realizar el cálculo de este indicador, en el denominador aparecen la cantidad de piezas que se comienzan a fabricar durante la toma de datos. Poniendo el ejemplo de una recanteadora, el denominador serían la cantidad de piezas que entran a ser mecanizadas.

Al número entrantes se le debe restar aquellas piezas que es necesario desechar tras su procesado y aquellas sobre las cuales hay que aplicar una serie de retrabajos. Siguiendo el ejemplo del párrafo anterior serían las piezas que no están bien mecanizadas al salir de la recanteadora.

- Scrap: Número de piezas que han entrado en el proceso y que se desechan debido a defectos .
- Retrabajo: Número de piezas que han entrado en el proceso y que han tenido que volver a procesarse debido a defectos. Pueden existir dos tipos de retrabajo, uno interno, realizado en la misma máquina o parte del proceso, y otro externo, realizado en otro área o parte del proceso, por ejemplo un área de reparaciones.

En caso de que existan varios procesos en línea el ratio de calidad de los procesos en conjunto se calcula como el producto de los ratios de calidad de cada uno de los procesos.

2.4.2 BTS (Building To Schedule – Ajuste a la programación)

Mide la precisión con la que se ejecutan los planes de producción en una planta para producir los volúmenes correctos de producto, en el día correcto y en el mix o secuencia correctos.

$$BTS = RTO \text{ vol} * RTO \text{ mix} * RTO \text{ secuencia}$$

Ecuación 2: Fórmula del BTS (Building To Schedule – Ajuste a la programación)

El Rendimiento de volumen se calcula como:

$$RTO \text{ vol} = \frac{\text{piezas reales}}{\text{piezas programadas}}$$

Ecuación 3: Fórmula del cálculo del rendimiento de volumen

Las piezas programadas son aquellas que deberían producirse en la máquina durante el tiempo de planificación. Este indicador no tiene en cuenta ni el orden ni el tipo de pieza, teniendo tan solo en cuenta el número de piezas.

Las piezas reales son las piezas que realmente han sido producidas en la máquina, una vez más sin tener en cuenta el orden ni el tipo de las piezas.

Si se obtiene un valor superior a 1 significa que se han producido más piezas de las que el programa preveía, sin embargo en el cálculo del BTS este valor se reduciría a 1.

$$RTO \text{ mix} = \frac{\text{piezas producidas para el mix}}{\text{piezas reales}}$$

Ecuación 4: Fórmula de cálculo del rendimiento del mix

Las piezas producidas en el mix se obtienen de la comparación de las piezas que planea el programa con la cantidad de piezas producidas de cada tipo. La comparación se tiene que hacer tipo a tipo. Se suman las piezas de cada tipo sin contar la sobreproducción.

$$RTO \text{ secuencia} = \frac{\text{piezas producidas en secuencia}}{\text{piezas producidas para el mix}}$$

Ecuación 5: Cálculo del ratio de valor añadido

Para calcular las piezas producidas en secuencia se contarán únicamente aquellas piezas pertenecientes a órdenes de producción que se han fabricado en el orden previsto, descontando aquellas piezas pertenecientes a órdenes de producción que se han retrasado.

2.4.3 DTD, Tiempo de muelle a muelle.

Tiempo transcurrido entre la recepción de la materia prima hasta el envío de los productos ya procesados.

$$DTD = \text{Inventario de MP} + \text{Inventario de Obra en Curso} \\ + \text{Tiempo de Producción} + \text{Inventario de Producto Terminado}$$

Ecuación 6: Fórmula del DTD (Tiempo de muelle a muelle)

- El tiempo de producción resulta al sumar los tiempos de operación que han sido realizados sobre una misma pieza en todas las partes del proceso que ha atravesado. Se puede estimar realizando la suma del tiempo de ciclo de cada estación.
- Piezas de materias primas: piezas que aun no han sido procesadas y que están a la espera de su transformación.
- Inventario de obra en curso: unidades de la pieza de control que están siendo procesadas en alguna parte del proceso.
- Inventario de productos terminados: stock de piezas que han completado todos procesos y están listas para ser enviadas al cliente.

El inventario de Materia Prima, obra en curso (WIP) y Producto Terminado es la cantidad de inventario en días de producción. Para pasar del número de piezas a días de producción, multiplicamos el número de piezas por el tiempo de Takt.

$$TAKT = \frac{\text{Tiempo de valor añadido}}{\text{Tiempo de valor no añadido}}$$

Ecuación 7: Fórmula del TAKT

2.4.4 Ratio de Valor añadido (RVA)

El RVAE muestra una proporción sobre el tiempo que una pieza está en la planta sin que se aporte valor al producto y el tiempo valor añadido. En otras palabras representa el tiempo en que se hace una operación que el cliente si valora, que aporta valor añadido. El tiempo de valor añadido suele ser la suma de los tiempos de ciclo de las máquinas o procesos manuales.

$$RVA = \frac{\textit{Tiempo de valor a\u00f1adido}}{\textit{Tiempo de valor no a\u00f1adido}}$$

Ecuaci\u00f3n 8: F\u00f3rmula del RVA (ratio de valor a\u00f1adido)

Se calcula con la ayuda del TAKT (para calcular tiempos de estancia en almac\u00e9n).

2.4.5 Productividad de mano de obra

Este indicador nos dice el n\u00famero de piezas fabricadas frente al tiempo de mano de obra invertido en fabricarlas.

$$\textit{Productividad} = \frac{\textit{Piezas fabricadas}}{\textit{Tiempo empleado en la fabricaci\u00f3n} * \textit{N\u00famero de operarios}}$$

Ecuaci\u00f3n 9: F\u00f3rmula de c\u00e1lculo de la productividad de mano de obra

En ocasiones se muestra en forma monetaria, en lugar de poner el numero de piezas se incluye el valor equivalente de estas piezas.

3. ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE UNA MÁQUINA DE RECANTADO

3.1 INDUSTRIA DE LA FABRICACIÓN AERONAUTICA

Para entender el contexto en el que se desarrolla el proyecto es importante comprender el mercado en el que se enmarca. Según la industria en la que una compañía opere los niveles de competitividad y por lo tanto distintas necesidades de mejora de la productividad variaran sustancialmente.

La industria de la fabricación aeronáutica engloba un conglomerado de muchas empresas que fabrican componentes integrados en las aeronaves, tales como partes del fuselaje o la estructura, elementos mecánicos y móviles que permitan la aeronavegabilidad, sistemas electrónicos para control y gobierno de los elementos mecánicos, todo tipo de software, etc. No obstante, en la práctica, todo este conglomerado de empresas está liderado por dos compañías: BOEING y AIRBUS GROUP. Existen más compañías fabricantes de aeronaves, pero la industria la gobierna el duopolio mencionado anteriormente.

El siguiente gráfico es una muestra de la competitividad entre las dos compañías que lideran el negocio de la fabricación de aeronaves.



Ilustración 9: Histórico de pedidos y entregas de Airbus y Boeing (Airbus, 2013)

Esta rivalidad hace de la industria aeronáutica un sector tremendamente competitivo a todos los niveles: diseño, innovación, métodos de fabricación, costes, etc. Mantener un

control exhaustivo de los costes y de las posibilidades de mejora en todos los procesos de fabricación se vuelve pues de extremada importancia. Este proyecto pretende dotar a la empresa de un sistema que permita detectar ineficiencias en los procesos para destinar los recursos a mejorar los puntos más bloqueantes.

A pesar de que la mejora en la productividad y en la eficiencia debiera ser continua en cualquier tipo de empresa, resulta crucial realizar un análisis que determine si las inversiones necesarias para realizar estas mejoras en la productividad son rentables, en que plazo y que retorno de la inversión generaran, esto dependerá en mayor o menor medida del sector en el que opere la compañía y la competencia que tenga en el momento de la inversión. En este análisis un control de los tiempos empleados en cada tarea y la diferencia con los tiempos que se consigan obtener tras aplicar las mejoras puede facilitar un análisis de la rentabilidad de las inversiones.

3.2 LA COMPAÑÍA: AIRBUS

Airbus Group es una organización del sector industrial con registro en los Países Bajos. Es la compañía europea más importante en el sector de la aviación y la construcción de elementos aeroespaciales.

Airbus Group nace con otro nombre, EADS (European Aeronautic Defence and Space) en Julio de 2000. Nace de la fusión de 3 compañías:

- Aérospatiale-Matra de Francia
- Dornier GmbH y DaimlerChrysler Aerospace AG (DASA) de Alemania
- Construcciones Aeronáuticas SA (CASA) de España

Dispone de más de 70 centros productivos en todo el mundo. La sede oficialmente está situada en Leiden, sin embargo la sede operativa estaba dividida entre París y Ottobrunn, cerca de Munich. Al formarse Airbus Group la sede de operaciones se traslada desde París y Munich a Toulouse en enero de 2014, pero mantiene la sede fiscalmente en Leiden.

El presente proyecto se desarrolla en la planta de Illescas (Toledo), un centro especializado en la fabricación de componentes aeronáuticos de material compuesto, en el cual se fabrican piezas para varios programas de la compañía.

Dejando de lado los componentes fabricados para aeronaves militares, que suponen un porcentaje muy bajo comparado con la aviación civil, en la planta de Illescas se fabrican piezas para tres programas:

- Airbus A380
- Airbus A320, A330 y A340
- Airbus A350

Es dentro del programa del A380 donde se desarrolla este proyecto, en concreto en el área industrial, que es la parte final antes de la entrega de las piezas a otras plantas. Un área crítica por los tiempos de trabajo, los compromisos de entregas y el alto valor de las piezas que se fabrican.

3.3 AREA DE RECANTEADO

En área de recanteado del programa del Airbus A380 en la planta de Illescas se llevan a cabo las tareas de mecanizado automático de los componentes aeronáuticos del A380 fabricados en la planta. Para ello se utilizan dos máquinas idénticas fabricadas por M.Torres. En realidad cada una de las máquinas se subdivide en dos, un brazo tipo "gantry" que mecaniza la pieza (TORRESMILL®); y una máquina soporte que se encarga de posicionar y sujetar la pieza mediante vacío (TORRESTOOL®).

La planta de Illescas en el programa del A380 está dimensionada para fabricar 30 aviones al año. A pesar de que el área de recanteado es un cuello de botella, la producción de 30 aviones anuales se alcanza sin apuros. La dirección del área quería, con este proyecto y otros, demostrar que las máquinas de recanteado tienen la capacidad de absorber, con la operativa actual, trabajo de otros programas que así lo necesiten. Esto es una gran baza ya que si el nivel de pedidos del A380 disminuye, como cabe esperar, las máquinas no se quedarán ociosas y la tarifa horaria del programa seguirá siendo competitiva.

3.3.1 Situación dentro de la línea de fabricación

Para entender el estudio de la eficiencia y el por qué de la elección de estas máquinas para la implantación de este método es importante poder localizar el entorno donde se encuentran las máquinas y su posición dentro la línea de fabricación.

La línea de producción del A380 en la planta de fabricación de materiales compuestos se divide en dos tramos:

- Lay-up: Zona donde el material compuesto aun está fresco. Los rollos de material compuesto se encantan sobre cunas que dan la forma inicial a la pieza. Se colocan los refuerzos y patrones de fibra de carbono o fibra de vidrio, se encolan las partes elementales que componen la pieza y por último se cura la pieza en

fresco en el autoclave. En el autoclave se aplican unas condiciones elevadas de temperatura y presión que hacen que cambien las propiedades del material, dotando a la pieza de una mayor resistencia.

- Zona Industrial: Se encuentra justo tras el proceso de curado de la pieza. En este tramo de la línea se realizan las tareas de recantado automático, recantado manual, inspección ultrasónica automática y manual, verificación dimensional y verificación dimensional, acabados finales y verificación final.

Puesto que el ámbito de estudio de este proyecto se centra en el área de recantado automático, no se detallan las tareas realizadas en cada una de las áreas. Los procesos de fabricación de materiales compuestos son complejos, en especial aquellos en los que el material aun se encuentra en fresco. Las condiciones de temperatura y humedad, así como el nivel de contaminación en el ambiente y sobre la pieza, son muy exigentes cuando el material aun no se ha curado. Detallar estos procesos por tanto no aporta valor al proyecto.

3.3.2 Organización departamental

Las labores de fabricación y de gestión del personal y activos dentro del área de producción es competencia del departamento de producción, en el cual se desarrolla este proyecto. La organización jerárquica del departamento de producción de la zona industrial del A380 en la planta de Illescas se puede observar en la siguiente ilustración.

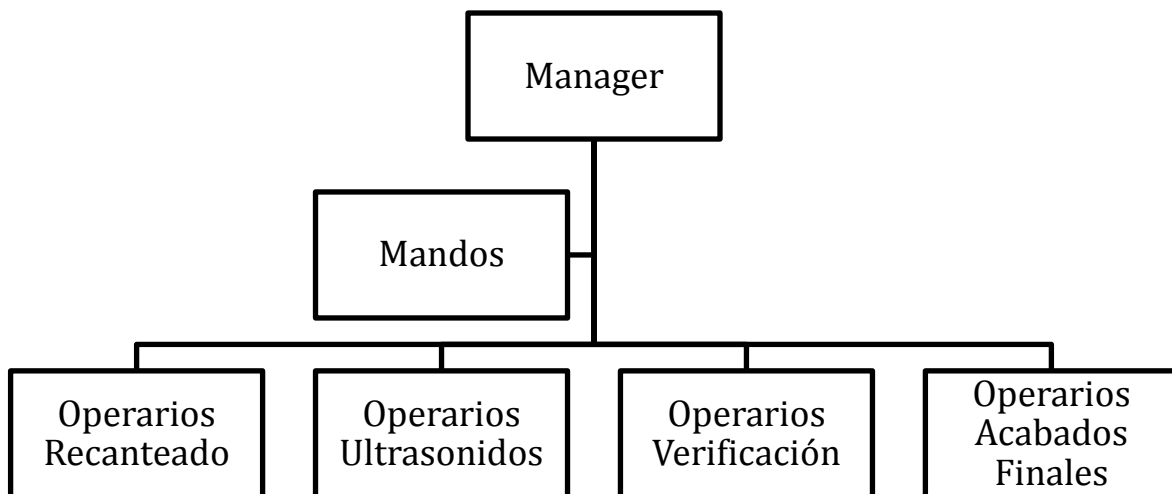


Ilustración 10: Organización departamental en el área industrial del A380 Illescas

El departamento de producción está regido por un manager de producción del cual dependen directamente dos mandos de producción, que organizan el trabajo y los recursos para todos los operarios que trabajan dentro de las distintas áreas.

En concreto dentro del área de recantado trabajan 9 operarios, que se organizan en turnos 3 turnos de 8 horas de lunes a viernes, siendo necesario en algunos casos trabajar también uno dos o tres turnos de 4 u 8 horas en fines de semana. La variabilidad de los datos dentro de los fines de semana supuso un reto que superar para realizar el cálculo de la eficiencia de la máquina.

Existe dentro de los operarios un representante de los mismos, el Team Leader. Es elegido cada año por votación de los compañeros del mismo grupo de trabajo. Su función es liderar las acciones emprendidas por los operarios en el área y mantener la comunicación con los mandos superiores. Se espera de él por tanto una actitud orientada hacia la mejora y proactividad a la hora de realizar cambios y mejoras. En este proyecto la figura del Team Leader tendrá una gran importancia.

3.3.3 Operativa dentro del área de recantado

El proceso de recantado es el directamente posterior al curado de la pieza, una vez que el material ha endurecido y cambiado de propiedades en el autoclave aplicando altas temperaturas y presiones. Cuando las piezas llegan a recantado, estas se encuentran con los bordes vivos, por lo que la manipulación de las mismas ha de realizarse con seguridad, tanto para los operarios que pueden recibir cortes, como para las piezas, que en alguno de los casos son muy frágiles, ya que no se encuentran montadas y rigidizadas aun.

Las tareas del personal de recantado comprenden todas las operaciones necesarias en la pieza desde que una empresa subcontratista, que se encarga del movimiento de las piezas dentro de la planta, deposita la pieza en unos soportes situados delante de la máquina, hasta que la pieza se coloca de nuevo en los mismos soportes tras haber sido mecanizada. Por tanto las operaciones realizadas por el personal de recantado, a grandes rasgos, son las mostradas en la siguiente figura:

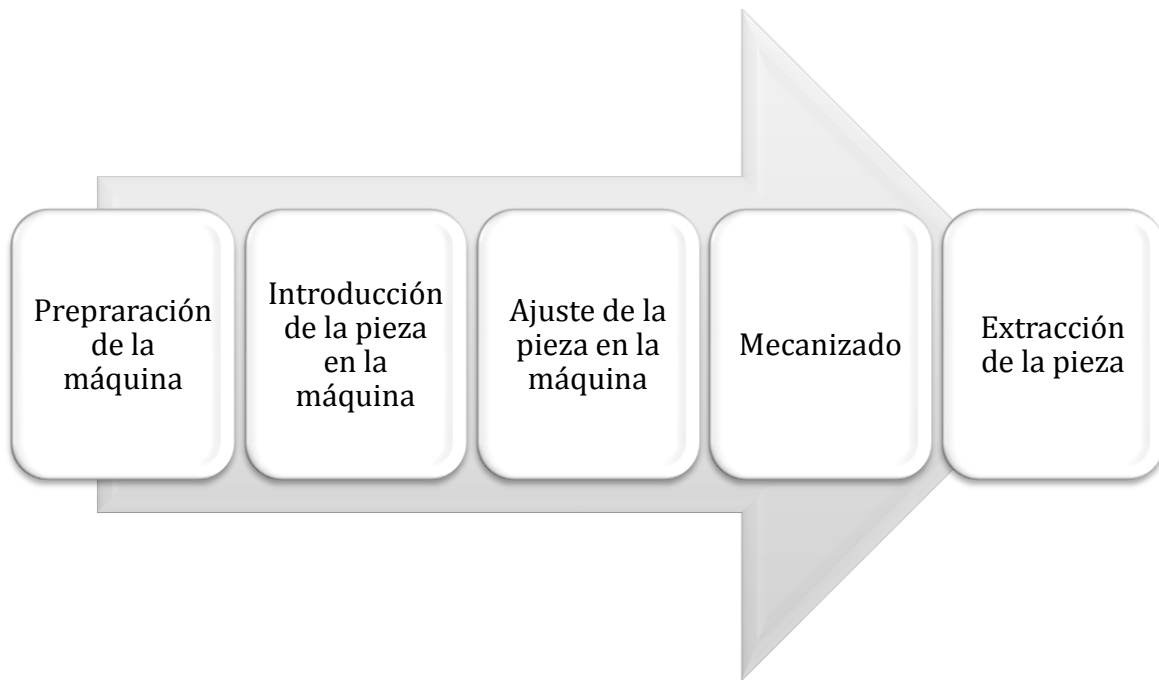


Ilustración 11: Flujograma de operaciones en el área de recantado

Cuando se analicen en capítulos posteriores las paradas de la máquina, se detallaran en mayor profundidad las tareas realizadas. Dentro de la operación de mecanizado, se incluyen multitud de tareas pequeñas que generan una importante cantidad de paradas.

3.3.4 Piezas recanteadas

Uno de los principales problemas que hubo que enfrentar a la hora de realizar el análisis de la eficiencia de la máquina fue la gran variedad de piezas distintas que se mecanizan en la máquina. Cada una de las piezas tiene unos tiempos totales de trabajo en el área de mecanizado distintos. Estos tiempos comprenden desde que se comienza a trabajar con la pieza hasta que se entrega a la siguiente estación, y los tiempos varían desde las 3 horas en la pieza que menos se tarda hasta las 24 horas en la pieza más grande y compleja.

Cada familia de piezas tiene distintas configuraciones o manos, dependiendo de donde se sitúen en la estructura del avión. Como es lógico aun siendo piezas similares, las del lado derecho del avión no son iguales a las del lado izquierdo, así como las que van en la parte superior no son iguales a las de la parte inferior. Estas diferencias en la configuración de las piezas se traduce en una gran variabilidad en los tiempos de

fabricación aunque las piezas dentro de la misma familia sea similares. Las piezas del A380 mecanizadas en las recanteadoras M.Torres son:

- S19: Es la sección de pre-cola del avión, está compuesto por 6 piezas distintas, todas ellas pertenecientes a la familia de la sección 19. Una vez montadas forman una estructura con apariencia tubular. Esta estructura en la que se sitúa directamente delante de la sección 19.1. Las manos que componen esta familia de piezas son:
 - S19 superior
 - S19 inferior
 - S19 lateral superior derecha
 - S19 lateral superior izquierda
 - S19 lateral inferior derecha
 - S19 lateral inferior izquierda

- S19.1: Es la sección de cola del avión, situada en el fuselaje tras la sección 19. Forma una estructura tubular que se cierra en la parte posterior. Esta compuesta por dos piezas:
 - S19.1 derecha
 - S19.1 izquierda

- HTP: Se trata del estabilizador horizontal, se una al fuselaje en la parte trasera del avión. Es una estructura en forma de ala, formada por cuatro revestimientos. Es con diferencia la pieza de mayores dimensiones recantada en el área teniendo aproximadamente unos 18 metros de largo. Los revestimientos del HTP son:
 - HTP superior derecho
 - HTP superior izquierdo
 - HTP inferior derecho
 - HTP inferior izquierdo

- Timones: Son las piezas móviles que se montan en el HTP, su función en el avión es la de hacer que el avión descienda o se eleve, junto con parte similares colocadas en las alas. Hay 8 manos distintas de timones que son:
 - EID: exterior inferior derecho
 - EII: exterior inferior izquierdo
 - ESD: exterior superior derecho
 - ESI: exterior superior izquierdo
 - ISI: interior superior izquierdo
 - ISD: interior superior derecho
 - III: interior inferior izquierdo
 - IID: interior inferior derecho

- Rudder: Son las piezas situadas sobre el estabilizador vertical que se encargan de girar el avión a izquierda o derecha manteniendo un plano horizontal. Su configuración es muy similar a la de los timones. Esta familia de piezas se compone de 4 manos:
 - SD: superior derecho
 - ID: inferior derecho
 - SI: superior izquierdo
 - II: inferior izquierdo

- Trampas: Son las piezas que recubren el tren de aterrizaje del avión, son piezas con gran curvatura pero de tamaño relativamente pequeño, comparadas con el resto de piezas. Se compone de 8 piezas:
 - Central izquierda
 - Central derecha
 - Exterior izquierda
 - Exterior derecha
 - Interior izquierda
 - Interior derecha
 - Wing izquierda
 - Wing derecha

- Largueros: Son las piezas que sirven de unión entre los revestimientos superiores e inferiores de HTP, piezas alargadas y estrechas, de unos 20 metros de largo. Son cuatro piezas:
 - RS derecho
 - RS izquierdo
 - FS derecho
 - FS izquierdo

Los tiempos de trabajo sobre las piezas en este área son muy prolongados, lo cual supone un cuello de botella para el área industrial y para la línea. Es por esto que se escogió a estas máquinas para el desarrollo del proyecto, ya que mejorarlas supone romper un cuello de botella y mejora la eficiencia de toda la línea.

3.4 RECANTADORAS M. TORRES

En el área de recantado del programa A380 en la planta de Illescas operan dos recantadoras idénticas, que se encuentran en una misma nave.

Las máquinas de recantado, fabricadas por la empresa M.Torres se componen de 3 partes:

- Torresmill: Es una fresadora tipo Gantry móvil.
- Torrestool: Es un molde universal sobre soportes verticales montados en diversos carros.
- Mesa ranurada: Es un soporte para utillajes.

El Torresmill es una estructura en forma de pórtico, capaz de posicionar el cabezal en toda la superficie que ocupa la pieza a mecanizar. Para ello dispone de 5 ejes controlados por CNC. El objetivo del Torresmill es el recantado, taladrado y avellanado de piezas de fibra de carbono.

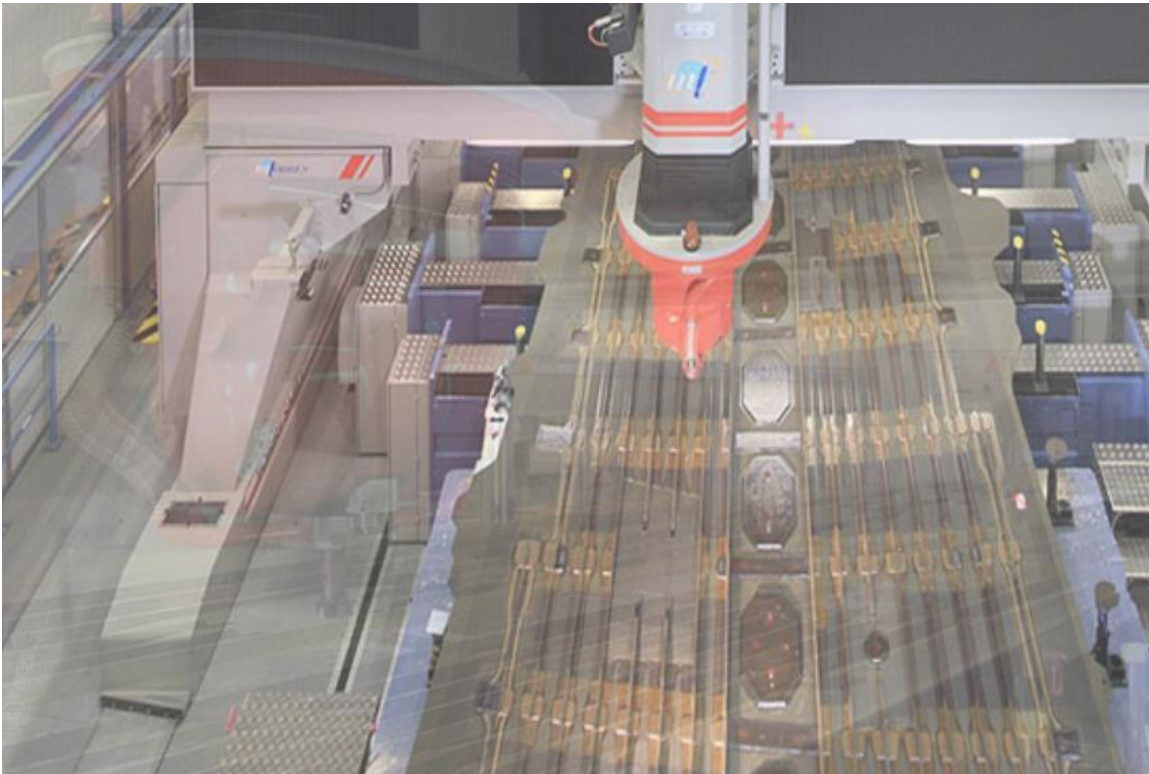


Ilustración 12: Pieza de fibra de carbono siendo mecanizada por el Torresmill

El Torrestool es una mesa modular formada por carros que se mueven en la dirección del eje X de la máquina, con distintos soportes por carro, que se mueven en los otros dos ejes Y y Z. Cada soporte tiene una copa de vacío autoajutable en una inclinación de hasta 45°. Se controla desde un PC, desde el que se descargan todos los programas de piezas al sistema multieje del Torrestool con el fin de adquirir la configuración necesaria para cada pieza.



Ilustración 13: Detalle de las copas de vacío del Torrestool

La integración de las dos máquinas conforma una instalación de gran flexibilidad en operaciones de fresado y taladrado, disminuyendo el tiempo de cambio de una configuración de pieza a otra.

No obstante y pese a que son dos máquinas, como estas operan de manera conjunta no tiene sentido calcular los indicadores de disponibilidad o indicadores de eficiencia como el OEE por separado. Las operaciones realizadas con el Torresmill no serían posibles sin el Torrestool, de la misma forma que el Torrestool carece de sentido sin una parte de la máquina que mecanice.

3.5 ESTADO ANTERIOR DEL CONTROL DE LA EFICIENCIA

Previamente a la implantación de este método en el área en el que las recanteadoras operan, ya existía cierto control de la eficiencia de estas máquinas, es más ya se usaba el OEE como indicador. El problema residía en que no se analizaban convenientemente los datos obtenidos, en realidad, no se analizaban de forma alguna.

El OEE es un indicador que muestra la eficiencia global de una máquina, pero sin un análisis posterior se convierte en un número vacío, que no refleja información concreta del estado de la eficiencia real de la máquina. Se hace indispensable, para tener un buen control, desgranar el valor del OEE en valores más concretos que sí reflejen una información específica.

Añadido a la falta de una especificidad a la hora de analizar los datos, el panorama del análisis de la eficiencia de la máquina era que las medidas necesarias a tomar para aumentar el valor del OEE y por tanto la eficiencia de la máquina no se tomaban, o al menos, no se tomaban siguiendo un criterio y una sistemática específica. Las responsabilidades a la hora de analizar, incluso a la hora tomar los datos no estaban definidas y la plantilla conocía el indicador pero no lo entendía, desde managers a operarios.

En lugar de analizar si la máquina es más o menos efectiva, en términos de tiempos muertos, que es lo que analiza el OEE, tan solo se medía la productividad en términos de producción. Si el mecanizado de una pieza estaba presupuestado en 4 horas y este tiempo se cumplía, era suficiente. Esta situación hace que en realidad estés presupuestando el tiempo que tardas en hacer las piezas conforme a la eficiencia de la máquina, y si no analizas la eficiencia de la máquina, es imposible reducir los tiempos totales que ocupa mecanizar una pieza.

En resumen, debes tener un indicador que complementa al cumplimiento del tiempo de mecanizado de la pieza para decirte si ese tiempo está bien definido o podría ser menor.

3.6 CALCULO DEL OEE

El OEE muestra en un solo dato, una visión sintética y objetiva del rendimiento de la máquina, conjunto de máquinas o área en las que mejorar. Las compañías que verdaderamente entienden el concepto OEE, lo adoptan en sus procesos de producción por las siguientes razones estratégicas:

- Aumenta la producción utilizando los mismos recursos para satisfacer las necesidades del cliente.
- Aumenta los márgenes de venta del producto reduciendo el COP (Cost of Production).
- Aumenta la producción sin necesidad de maquinaria o equipamiento adicional
- Permite una mayor flexibilidad con los procesos de producción existentes, para alcanzar nuevos negocios (por ejemplo: menores tamaños de lote – Flujo de una pieza)
- Promueve una cultura fuerte y sostenible y mantiene al equipo alineado con la Mejora del Rendimiento en la Producción.

Según la teoría del OEE los porcentajes que alcanzan las máquinas y su traducción en cuanto al rendimiento son los mostrados en la siguiente tabla:

OEE	CONSECUENCIA
<65%	La empresa tiene importantes pérdidas económicas. Competitividad muy comprometida.
≥65% <75%	Aceptable bajo un proceso de mejora. Pérdidas económicas. Competitividad comprometida.
≥75% <85%	Proceso de mejora para alcanzar el 95% y llegar a clase mundial. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad mejorable.
≥85% <95%	Entrada en clase mundial. competitividad buena
≥95%	Clase mundial. Competitividad excelente

Tabla 1: Valores de referencia del OEE

El objetivo por tanto de la empresa es reducir el margen hasta alcanzar el 85% que supondría la entrada en clase mundial.

Sin embargo la experiencia a la hora de trabajar con el indicador muestra que depende mucho del tipo de máquina del que se disponga y de la manera de medirse. En una maquina como las recanteadoras de este proyecto, alcanzar de forma estable un 85% siendo rigurosos con las mediciones, es muy complicado.

Para mejorar el indicador y reducir el gap existente hasta alcanzar el 85% ideal es necesario aplicar métodos y herramientas del Lean Manufacturing.

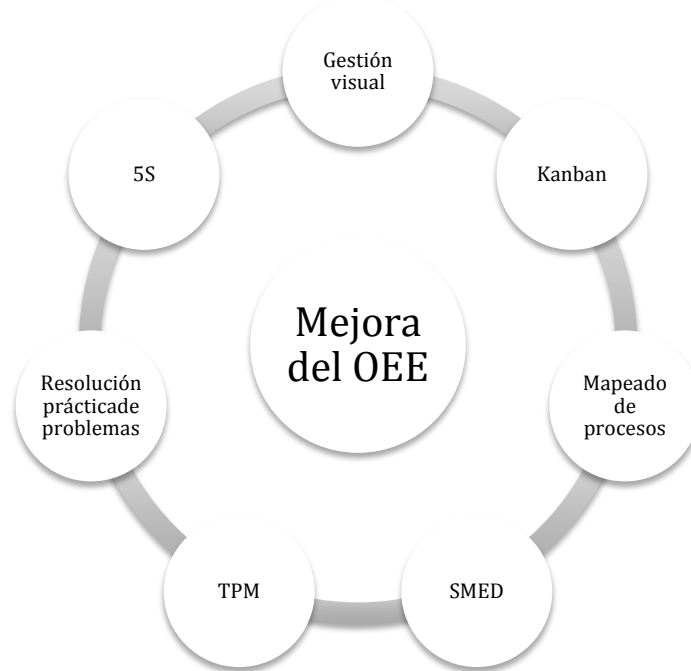


Ilustración 14: Factores influyentes en la mejora del OEE

Aunque en multitud de ocasiones en este proyecto se hace referencia al rendimiento de la máquina, en realidad lo que se pretende es monitorizar por completo la estación de trabajo, no solo la máquina.

El objetivo del estudio del OEE será identificar fuentes de desperdicio y pérdidas por ineficiencia del proceso, o pérdidas de proceso que reducen Disponibilidad (Availability), Rendimiento (Performance), Calidad (Quality), y Parada Planificada (Planned Stop). De esta forma podemos tomar acciones correctivas para mejorar el proceso.

Para realizar el cálculo del OEE debemos conocer el valor de los 3 factores que lo forman: las pérdidas de calidad, rendimiento y disponibilidad. Para llegar a este cálculo deberemos pues llegar a conocer los tiempos donde estas paradas afectan.

El tiempo en el que la máquina puede funcionar es el tiempo total que la empresa decide que la planta está abierta. Este será el "Plant Working Time" y se obtiene al restar al tiempo total de estudio, el tiempo que la planta permanece cerrada, por tanto.

$$\text{Plant working time} = \text{Tiempo total de estudio} - \text{Tiempo planta cerrada}$$

Ecuación 10: Fórmula de cálculo del Plant working time

Para obtener el tiempo planificado de producción o "Planned Production Time" deberemos restarle al tiempo que decide la empresa que este abierta la planta, el tiempo que se planifica parar.

$$\text{Planned Production time} = \text{Plant working time} - \text{Tiempo parada planificada}$$

Ecuación 11: Fórmula de cálculo del Planned Production time

Para obtener el tiempo en el cual la máquina está disponible u operativa tendremos que restarle al tiempo planificado de producción, el tiempo en el cual la máquina no está disponible. Lo cual resulta en la siguiente fórmula.

$$\text{Operating time} = \text{Planned Production time} - \text{Pérdidas de disponibilidad}$$

Ecuación 12: Fórmula de cálculo del Operating Time

Una vez conocemos el tiempo en que la máquina está operativa debemos obtener el tiempo en el que la máquina está realmente funcionando, el Running Time. Para conocer este restamos al Operating Time el tiempo que suponen las pérdidas de rendimiento.

$$\text{Running Time} = \text{Operating time} - \text{Pérdidas de rendimiento}$$

Ecuación 13: Fórmula de cálculo del Operating Time

Antes de conocer el OEE el único factor que nos queda por conocer es el tiempo totalmente productivo, que se obtendrá al restarle al Running Time el tiempo que suponen las pérdidas de calidad.

$$\text{Fully Productive Time} = \text{Running time} - \text{Pérdidas de Calidad}$$

Ecuación 14: Fórmula de cálculo del Fully Productive time

En la siguiente ilustración se puede observar un resumen del cálculo de los distintos factores influyentes en el OEE.

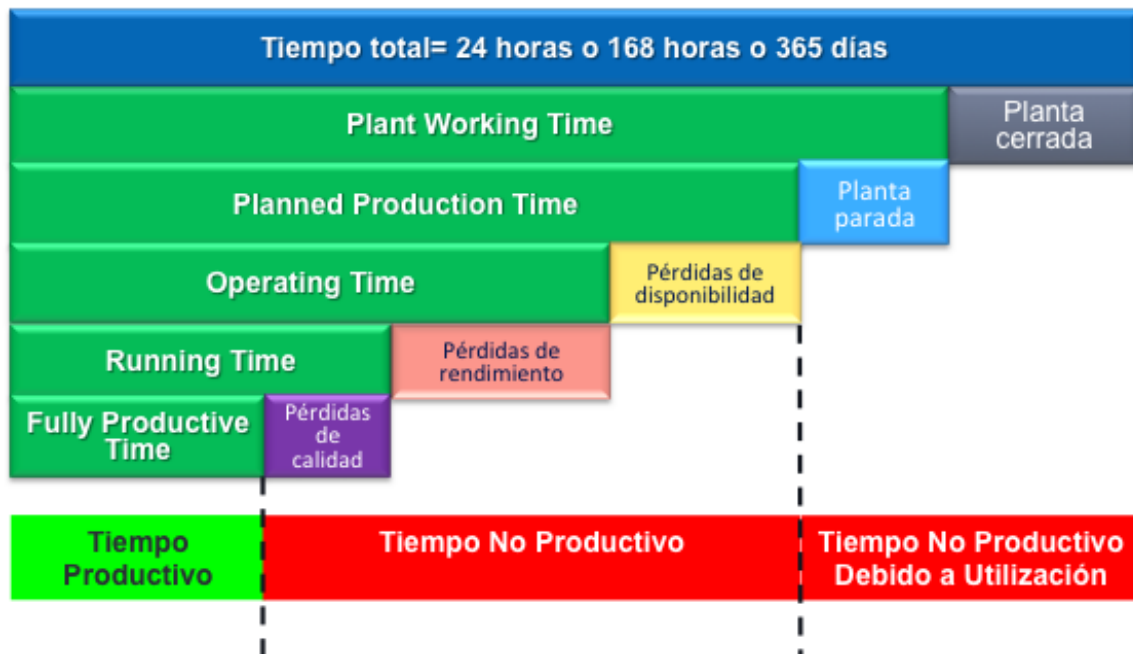


Ilustración 15: Tabla resumen de los factores del OEE

Una vez conocemos los tiempos que resultan al restar las pérdidas podremos calcular el OEE. Este se compone de tres factores, que representan un valor porcentual de las pérdidas ocasionadas por cada tipo de motivo y se calculan de la siguiente forma:

$$\% \text{ Disponibilidad} = \frac{\text{Operating Time}}{\text{Planned Production Time}}$$

Ecuación 15: Fórmula de cálculo del % de pérdidas de disponibilidad

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Running Time}}{\text{Operating Time}}$$

Ecuación 16: Fórmula de cálculo del % de pérdidas de Rendimiento

$$\% \text{ Calidad} = \frac{\text{Fully Productive Time}}{\text{Running Time}}$$

Ecuación 17: Fórmula de cálculo del % de pérdidas de calidad

El valor del OEE se obtiene al multiplicar entre sí los porcentajes de pérdidas, resultando el cálculo:

$$OEE = \% Disponibilidad * \% Rendimiento * \% Calidad$$

Ecuación 18: Fórmula de cálculo del OEE

En el cálculo del OEE el porcentaje de paradas planificadas no interviene directamente en el cálculo, pero puede obtenerse adicionalmente para conocer si las paradas planificadas se encuentran dentro del objetivo fijado por la empresa. Se calcula de la siguiente forma:

$$\% Planificadas = \frac{\text{Tiempo de parada planificadas}}{\text{Plant Working Time}}$$

Ecuación 19: Fórmula de cálculo del % de pérdidas por paradas planificadas

De la misma forma se puede conocer el porcentaje de paradas de planta cerrada, calculándolo de la siguiente forma:

$$\% Planta Cerrada = \frac{\text{Tiempo planta cerrada}}{\text{Tiempo total de estudio}}$$

Ecuación 20: Fórmula de cálculo del % de pérdidas por planta cerrada

3.7 TASA DE UTILIZACIÓN, EFICIENCIA GLOBAL Y EFICIENCIA FINANCIERA

Adicionalmente al cálculo del OEE se propone obtener otra serie de indicadores que aportan información adicional y fácilmente comprensible.

Desde un punto de vista técnico la tasa de utilización representa el ratio de tiempo que se está trabajando frente al que está planeado trabajar. Es básicamente el tiempo que se está trabajando en la máquina realmente frente al tiempo que está abierta la planta. Representa una medida intuitiva del porcentaje de tiempo que se trabaja y sirve como referencia para conocer el estado de la eficiencia de la máquina. Sin embargo no es tan preciso como el cálculo del OEE.

Se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Tasa de Utilización} = \frac{\text{Planned Production Time}}{\text{Plant Working Time}}$$

Ecuación 21: Fórmula de cálculo de la Tasa de utilización

La eficiencia global de la máquina o GEE (Global Equipment Effectiveness) es otro indicador de la eficiencia de la máquina, en este caso teniendo en cuenta solo el tiempo de operación de la máquina y se calcula:

$$\text{GEE} = \frac{\text{Fully Productive Time}}{\text{Plant Working Time}}$$

Ecuación 22: Fórmula de cálculo del GEE (Global Equipment Effectiveness)

Por último es posible obtener un indicador que representa la eficiencia financiera de la máquina. Para un departamento como el de producción quizá no sea un indicador con demasiada relevancia, pero para el departamento financiero y para la empresa lo es. Determina la eficiencia que se le está sacando a la máquina con respecto al total del tiempo que podría utilizarse. Refleja las decisiones de la empresa de cerrar la planta. Representa el tiempo en el cual la máquina ha sido totalmente productiva frente al tiempo total transcurrido.

$$\text{FEE} = \frac{\text{Fully Productive Time}}{\text{Tiempo Total de Estudio}}$$

Ecuación 23: Fórmula de cálculo del FEE (Financial Equipment Effectiveness)

3.8 MÉTODO DE ANÁLISIS DE LAS PARADAS

Como ya se ha descrito anteriormente el objetivo de este estudio es identificar fuentes de desperdicio y pérdidas por ineficiencia del proceso, o pérdidas de proceso que reducen Disponibilidad, Rendimiento, Calidad, y Parada Planificada. Pero no solo analizar el valor del OEE sino también el porqué de ese valor. Para ello el sistema monitoriza cada una de las paradas producidas y se realiza posteriormente un análisis.

Lo más fácil para observar la cantidad de horas que supone un tipo de paradas en un tiempo de estudio definido es representar en un gráfico la duración de estas paradas y compararlas entre ellas. Usando la teoría de Pareto y las técnicas de gestión visual, descritas en el marco teórico de este proyecto, podremos usar un gráfico con colores

identificativos, según corresponda la parada a un tipo u otro de pérdidas así como ordenarlos de mayor a menor para observar donde existe una mayor pérdida de tiempo. De esta forma se logra observar que paradas suponen más mayor tiempo para poder centrarnos en las paradas de mayor valor.

Sin embargo realizar ese análisis puede llevar a equívocos. Las paradas de la máquina que más tiempo suponen no necesariamente tienen por qué ser las menos eficientes. Realmente donde hay que enfocar la atención no es en reducir o eliminar las paradas que más tiempo total suponen, sino en optimizar las paradas cuyo valor registrado representa mayor desviación presentan frente al presupuestado.

Cuando se decide mecanizar una pieza en la máquina, se realiza un estudio de los tiempos de las tareas que incluyen la operación completa en la estación de recantado. Se obtiene un tiempo total en el cual la pieza debe estar mecanizada, y adicionalmente se obtiene un desglose del tiempo asignado a cada tarea.

Es importante poner en perspectiva la tipología de piezas que son mecanizadas. Se trata de piezas de fibra de carbono, cuyo mecanizado es delicado, y de grandes dimensiones, entre los 3 y casi 20 metros. Debido a estos motivos los tiempos de mecanizado son elevados, que oscilan entre las 3 horas para las piezas más pequeñas y simples, hasta las 24 horas de las piezas más complejas. Teniendo unos tiempos de mecanizado tan grandes no solo es necesario observar si el tiempo total de trabajo sobre la pieza se cumple, de alguna forma también se hace necesario saber si los tiempos de las tareas que se producen dentro de esas horas se ajustan al presupuesto.

El análisis que necesitamos realizar es comprobar la desviación del tiempo real frente al presupuestado. Con esos datos podremos identificar las mayores desviaciones y así orientar nuestros esfuerzos a mitigar las causas con mayores desviaciones.

En la gráfica que sigue a continuación se puede observar un ejemplo de como la causa de paradas que supone una mayor pérdida de tiempo en términos globales no lo es tal si fijamos un objetivo diario de parada y comparamos el real frente al teórico.

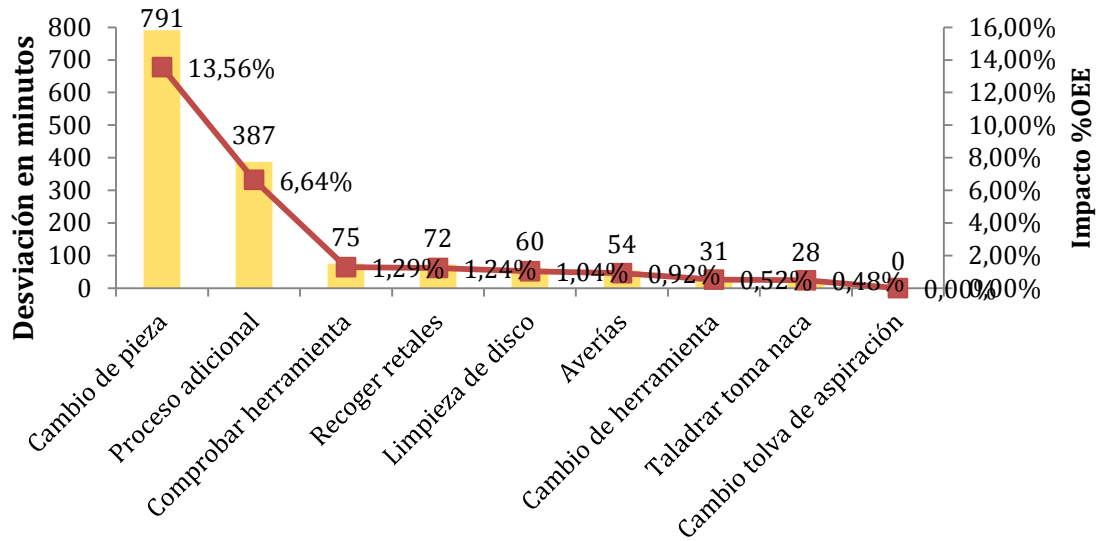


Ilustración 16 Gráfico de la duración total de las paradas de disponibilidad de la RC2 en la semana 20

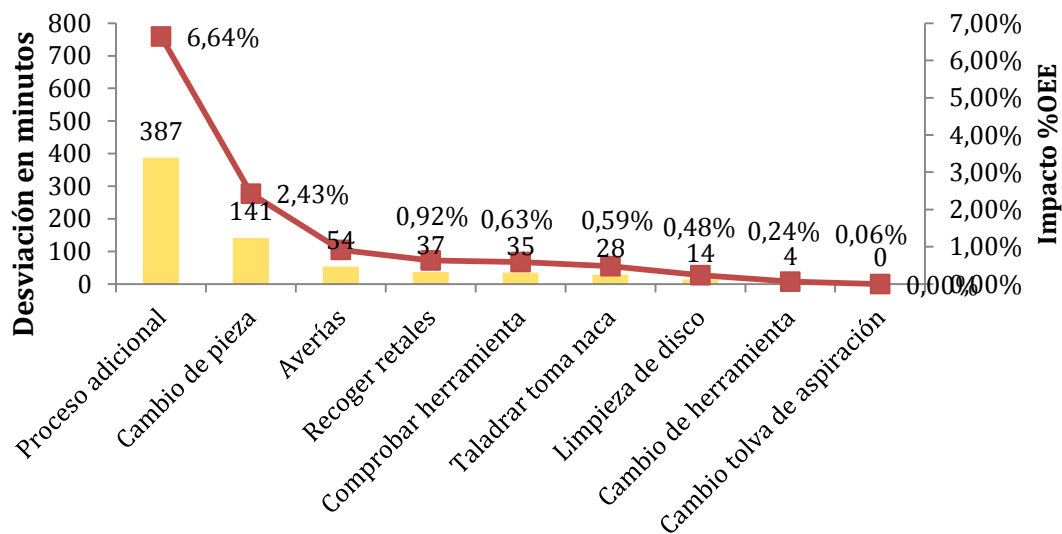


Ilustración 17 Gráfico de las desviaciones de disponibilidad de la RC2 en la semana 20

Se puede observar la diferencia en las gráficas, la parada “Cambio de Pieza” supone la mayor parada en términos totales en la semana de estudio, sin embargo, al comparar el tiempo real frente al presupuestado se puede observar que la parada “proceso adicional! Tiene un mayor peso en cuanto a desviaciones en esta semana. Mientras que los procesos adicionales en las piezas tienen una duración presupuestada de 0 minutos diarios, el tiempo de cambio de pieza diario es de 120 minutos.

Uno de los mayores retos a la hora de poner en marcha este sistema fue el de poner un objetivo a los tiempos de parada. Debido a la gran variabilidad de las piezas fabricadas los tiempos entre ellas varían mucho. Es por tanto que se decidió, a la espera de un software que identifique y discrimine la pieza que esta mecanizándose, establecer un tiempo medio objetivo.

3.9 IMPLANTACION DEL METODO

El desarrollo de este proyecto comenzó casualmente, al detectar una oportunidad de realizar un análisis más profundo de la eficiencia de las recanteadoras. Por tanto la implantación y el desarrollo ha sido muy progresivo, empezando a realizar los análisis previos yo solo, y pasando un pequeño reporte al manager de producción.

En un inicio, ni siquiera era un proyecto, simplemente una información recogida de el sistema que existía anteriormente. A medida que comprendía más el concepto de OEE y el funcionamiento de la máquina, comencé a cuestionar la precisión del método anterior. Realizar un proyecto como este en una empresa, llena de burocracia, por parte de un becario no es fácil, y como es lógico tuve que pedir soporte al manager del área, que dispuso los recursos necesarios, así como la asignación de las personas que servirían de soporte para la implantación y desarrollo del método.

El departamento encargado finalmente de dar soporte a este proyecto fue el departamento de Lean Manufacturing. Esto permite asegurar la continuidad del método. En un primer momento, como becario, fui el encargado de mantener el sistema, revisar los datos, revisar los documentos, convocar las reuniones, implicar a los operarios, etc., pero esta labor no puede recaer perpetuamente en el becario del que disponga el área.

Por otra parte el departamento del Lean Manufacturing es el encargado de estandarizar y seguir mejorando el método. Estandarizar las tareas permitirá poder implementar el método en otras áreas que trabajen con grandes máquinas como las máquinas de recantado del A380.

3.9.1 Definiendo las paradas

En el sistema anterior de control de las paradas para el cálculo del OEE no estaban bien definidos los tipos de parada, habiendo conceptos que significaban lo mismo, tareas sin especificar y poca formación de los operarios para conocer en que factor del OEE impacta cada parada. Por estas razones se decidió definir desde cero las nuevas paradas, analizar las tareas y especificar cuándo y qué paradas se justificarían.

Para definir las paradas se convocó realizo un workshop al cual asistieron todos los operarios del área, mandos, representantes de ingeniería de procesos y representantes del departamento de Lean Manufacturing.

En especial es importante la participación de todos los operarios del área, liderados por el Team Leader, que es su representante. En última instancia los que deciden como justificar y que concepto asignarle a cada parada son los operadores de la máquina y participar en la decisión de definir que paradas se contemplaran hace que, de algún modo, sientan el sistema como suyo, de esta forma la calidad de los datos recogidos aumentará.

Los motivos de las paradas se organizan según la dimensión del OEE a la cual afectan, y son cinco tipos:

- **Planta cerrada:** Son las paradas en las cual no está trabajando la máquina por decisiones de la compañía. El tiempo total que la máquina podría trabajar al años son 365 días, pero la empresa decide no trabajar los días festivos, periodos vacacionales y fines de semana, salvo que las circunstancias de producción así lo exijan. Este tipo de paradas tienen un impacto financiero en la rentabilidad que la empresa obtiene de la operativa de la máquina y van a influir en el periodo de amortización de las máquinas.
- **Paradas planificadas:** Son paradas que se realizan habiendo realizado previamente una planificación de las mismas. Algunas de estas paradas se dan a diario a una misma hora, y otras suceden por eventualidades o mantenimientos concernientes a la máquina.
- **Paradas de disponibilidad:** Estas son las paradas que afectan a la disponibilidad de la máquina, como su propio nombre indica. Penalizan la disponibilidad de la máquina en el tiempo en el que estaba planificado que la máquina trabajase. Son básicamente cambios en la máquina o piezas, paradas requeridas por el diseño del proceso y averías.

- Paradas de rendimiento: Son las paradas que por motivos operacionales hacen que el tiempo de trabajo efectivo en la máquina disminuya. Incluyen los tiempo en los cuales no se trabaja por una organización deficiente de los integrantes del grupo de trabajo y pequeñas paradas de menos de 3 minutos.
- Paradas de calidad: Son las paradas producidas por una falta de calidad o un imprevisto que afecte a la calidad de la pieza. Según la teoría del OEE, en esta dimensión también se incluirían los retrabajos realizados debidos a una no calidad, en el estudio presente los trabajos no están incluidos ya que no se realizan en la misma sección en la cual se encuentra la máquina, sino que se realizan en el área de reparaciones, en ocasiones semanas después de que se recantease la pieza.

Una vez quedó claro las dimensiones en las que impacta cada tipo de parada es necesario especificar más el motivo de las paradas. A efectos de cálculo del OEE, el motivo exacto de la parada no es importante, simplemente se necesita saber a que dimensión afecta. Para realizar un análisis posterior, más profundo, si es importante conocer el motivo de las paradas con la mayor exactitud posible. Para ello se definió un listado que cubre todas las casuísticas de paradas habituales que suceden habitualmente.

Saber el motivo exacto de la parada nos permite conocer cuáles de las paradas están penalizando más la eficiencia de la máquina y así podremos cuantificarlas y destinar los recursos de la empresa a mitigar las paradas más importantes.

El listado de paradas que se definió tras la realización del workshop fue el siguiente:

CLASIFICACIÓN		
Planta cerrada	Planta cerrada	Parada de fin de semana
		Vacaciones/Paradas anuales
Parada Planificada	Paradas Planificadas	Reunión inicio/final de turno
		Mantenimiento autónomo
		Parada planificada
		Parada reglada (PTR)
		Reuniones planificadas
Disponibilidad	Diseño de Proceso	Cambio de herramienta
		Cambio tolva de aspiración
		Comprobar herramienta
		Limpieza de disco
		Proceso adicional
		Recoger retales
		Taladrar toma naca
Cambios	Cambio de pieza	
Averías	Averías	
Rendimiento	Microparadas	Parada inferior a 3 min
		Parada sin motivo
	Organizacional	Ayuda a otra maquina
		Falta borriquetas
		Falta puente grúa
		No hay operario
		Falta pieza
		Parada no Planificada
Herramienta en mal estado		
Calidad	Retrabajos	Consultas de Calidad

Tabla 2: Clasificación y tipos de paradas en las recanteadoras del A380

Cada una de las 5 grandes categorías de paradas se identificó con un color, como se muestra en la tabla anterior. Esto permite identificar de forma visual donde se están produciendo las paradas a la hora de visualizar gráficos, esquemas o resultados de análisis. Es una técnica más de Lean Manufacturing, la gestión visual, como ya vimos en el apartado "Marco Teórico".

3.9.2 Listado de paradas

Con el fin de entender mejor el funcionamiento de la máquina, las tareas que allí se realizan, y las paradas que se producen, a continuación se describirá con detalle cada una de las paradas.

Paradas de Planta Cerrada

Dentro de esta categoría de paradas se definieron dos tipos, fácilmente entendibles por su nombre. Son los siguientes

- Parada de fin de semana: concepto asignado a las paradas producidas en los fines de semana que no se trabaja o que se trabaja parcialmente.
- Vacaciones/Paradas anuales: son los periodos vacacionales de verano, semana santa, navidades, etc. en los que la empresa decide no abrir la planta.

El color con el que se identifican estas paradas es el gris oscuro.

Paradas Planificadas

El listado de paradas planificadas que resultó tras el workshop fue:

- Reunión inicio/final de turno: es una parada que incluye todo el tiempo comprendido en el cambio de un turno a otro. Está parada incluye la reunión de 10 minutos que hay siempre al final de cada turno, la reunión de 10 que hay siempre al comienzo de cada turno, mas 10 minutos aproximadamente que tienen los operarios que entran al turno para cambiarse. Puesto que la máquina trabaja en tres turnos diarios debe haber tres paradas de este tipo diariamente.
- Mantenimiento autónomo: como vimos en el apartado "Marco Teórico" es uno de los ocho pilares sobre los que se sostiene el TPM. Son las paradas en las que el operario realiza trabajos de limpieza de la máquina, ajustes e inspecciones de la máquina. Diariamente los operarios deben realizar tareas de mantenimiento autónomo de la máquina que tienen especificadas en una lista que deben chequear. Estas tareas están organizadas por turnos y días para que la carga de trabajo sea equitativa entre los distintos operarios.
- Parada planificada: Incluye paradas que han sido planificadas por parte del departamento de producción para realizar otro tipo de tareas, fundamentalmente para que el departamento de mantenimiento realice mantenimientos preventivos.

- Parada reglada: dos veces por turno los operarios disponen de paradas de descanso. Las paradas son de 30 minutos la primera y 15 minutos la segunda. Por lo tanto las paradas regladas deben sumar por turno 45 minutos.
- Reuniones planificadas: Son reuniones periódicas a las cuales tiene que asistir los operarios. Para estar incluidas en este tipo de parada las reuniones deben estar planificadas con anterioridad y estar presupuestada por la empresa el tiempo que deben durar. No se incluyen en este tipo de paradas las reuniones que surgen eventualmente por imprevistos en las circunstancias de producción. El mejor ejemplo de este tipo de paradas son las reuniones de TPM que se llevan a cabo una vez a la semana con una duración definida que no debería exceder los 30 minutos.

El color con el que se identifican las paradas planificadas es el azul.

Pérdidas de disponibilidad

Se engloban en tres categorías que son:

- Diseño de proceso: que incluye todas las paradas necesarias por las características del diseño del proceso. Son paradas que deben realizarse para poder mecanizar las piezas y al estar incluidas en el proceso están presupuestadas y tienen unos tiempos definidos. La lista de paradas de disponibilidad es la siguiente.
 - Cambio de herramienta: los cambios de herramienta realizados entre procesos de mecanizado distintos para una misma pieza. Incluye los cambios entre herramientas distintas, por ejemplo, cambiar una broca de taladrado por un disco para realizar un planeado. No están incluidas en este tipo de paradas los cambios de una herramienta desgastada por otra nueva.
 - Cambio de tolva de aspirado: el polvo generado al mecanizar las piezas de material compuesto es recogido por un sistema de aspiración y se almacena en una tolva. Periódicamente, cuando salta un aviso de tolva llena, el operario debe retirar esta tolva, colocar una vacía y apartar la tolva llena para que los responsables de la segregación de residuos la vacíen.
 - Comprobar herramienta: el operario de la máquina debe hacer comprobaciones del estado de la herramienta de manera regular entre distintos programas de mecanizado, o en los reinicios de los

mismos. Esta operación supone salir de la cabina donde el operario tiene el puesto de control, abrir las puertas de la máquina y dirigirse hasta el cabezal. Esta comprobación es importante, el material mecanizado es fibra de carbono, extremadamente delicado y que sufre fácilmente delaminaciones si no se mecaniza con la herramienta en buen estado. No supone un gran tiempo realizar estas paradas pero si ahorran un gran coste en retrabajos por malos acabados o en inutilidades si no pueden ser reparados.

- Limpieza de disco: son las paradas que suponen realizar una limpieza del disco de corte. Para el corte de las alturas de algunos elementos verticales de la pieza se usa un disco con polvo de diamante. Los restos de polvo generados en el corte se adhieren al disco haciendo que este pierda capacidad de corte, produciendo un acabado indeseado y un sobrecalentamiento que puede resultar en delaminaciones. Para evitar esta casuística se deben hacer frecuentes comprobaciones del estado del disco. Cuando el operario lo considera necesario (siguiendo las recomendaciones del fabricante), realiza una limpieza del disco con una máquina de chorro de arena. Esta limpieza evita que los discos se tiren sin haber gastado el diamante completamente. Este proceso supone un importante ahorro en coste de herramientas, pero perjudica el rendimiento de las recanteadoras al alargarse los tiempos de parada por esta casuística.

Se consideró importante incluir estas paradas en el listado por el tiempo que suponen, unos 10 minutos por ejecución y para el control de la limpieza de los discos, ya que existe la tendencia entre el personal del área de no limpiar los discos con la frecuencia necesaria como para que la vida de la herramienta se alargue y se garantice una calidad óptima en el mecanizado.

- Proceso adicional: comprende todos los procesos requeridos de forma excepcional. En ocasiones se realizan pruebas sobre los procesos de la máquina, sobre los materiales de las piezas, sobre la configuración del diseño, etc. Por tanto se hace necesario incorporar esta casuística. Estas paradas pueden durar horas, y para que el cálculo del OEE no se distorsione y se pueda llegar a conclusiones erróneas es necesario que exista un motivo de parada de este tipo.

Este tiempo suele ser imputado a ingeniería de procesos, ingeniería de desarrollo y otras funciones soporte, por lo tanto recoger este tipo de paradas puede facilitar la tarea de controlar estas horas por los mandos de producción, ya que se está penalizando la capacidad

productiva de la máquina y puede tener repercusión en los plazos de entrega de las piezas.

- Recoger retales: son las paradas realizadas para recoger los restos del mecanizado. Es importante recogerlos periódicamente durante el mecanizado, usando los reinicios de los programas para parar.

Si estos retales no se recogen entre un programa y otro pueden quedar depositados encima de la pieza, y al acercarse el cabezal a realizar una medición para lanzar el siguiente programa, este puede tocar un retal y entender que es un punto de medida, realizando la medición errónea y suponiendo por tanto el riesgo de realizar un mecanizado erróneo. En el peor de los casos la máquina puede mecanizar la pieza con otras medidas distintas si no se realiza este proceso de recogida de retales. En el mejor de los casos el operario tendrá que lanzar de nuevo el proceso de medición, lo cual supone una pérdida de tiempo considerable, ya que los tiempos de los programas de medida son de entre 15 y 30 minutos.

Debido a la importancia y la repetitividad de la tarea, decidió incluirse en las tareas a medir.

- Taladrar toma naca: es un proceso adicional que se realiza fuera de la máquina. De hecho no se realiza siquiera en la pieza que está dentro de la recantadora en ese momento.

Se trata de una serie de taladros realizados de forma manual en una de las piezas que se recantea en la sección. Se realiza fuera de la máquina, ya que la pieza se recantea horizontalmente en la máquina, pero este proceso se debe realizar en vertical, colgado del puente grúa. Supone un tiempo en el cual los operarios de las dos máquinas deben salir a realizar la tarea y deben parar la máquina.

- Cambios: Dentro de esta categoría solo existe un motivo de parada, con el mismo nombre. Comprende la duración total de todas las tareas realizadas desde que se realiza la última trayectoria de una pieza hasta que se realiza la primera trayectoria de la siguiente.

Antes del desarrollo de este proyecto esta parada se subdividía en multitud de operaciones, difícilmente controlables, ya que los tiempos deben ser ajustados a mano por el operario porque el software lo considera como una sola parada. Debido a la dificultad en su desglose y a la consideración de que no aporta valor añadido el conocer el desglose de tiempos se decidió tratarlo como una sola parada. Es con diferencia la parada con más duración.

- **Averías:** corresponde a todo el tiempo comprendido entre la detección de una avería que imposibilite continuar con la operativa normal de la máquina hasta su resolución.

Se decidió no desglosar la categoría averías por tipos de averías. Si bien es cierto que existen averías repetitivas en estas máquinas, forma parte de las tareas de mantenimiento detectar las mismas y lanzar planes de acción para su mitigación o la desaparición. Aún así se instruyó a los operarios para que incluyesen un comentario en un campo de la base de datos destinado a ello, con el fin de disponer datos adicionales a los de mantenimiento.

Pérdidas de rendimiento

Englobadas en dos categorías:

- **Microparadas:** incluye las paradas que se considera no necesario justificar. Se definieron dos tipos.
 - Parada inferior a 3 minutos: por defecto las paradas menores de tres minutos se categorizan de manera automática. El software introduce el motivo de la parada. Es muy importante la inclusión de esta categoría, ya que existen paradas de tan solo unos segundos, lo que se tarda por ejemplo en lanzar un programa una vez ha acabado el anterior.

De no existir este tipo de paradas, podría suceder que existiesen paradas que tardaría más el operario en justificarlas que lo que realmente duró la parada.
 - Parada sin motivo: corresponde a todas las paradas que por cualquier motivo no han sido justificadas y que tienen una duración mayor de 3 minutos.
- **Organizacional:** esta categoría incluye las paradas producidas por motivos de la organización del área o de áreas adyacentes al área de recantado. Paradas producidas por decisiones de los encargados de la gestión del área, así como de los operadores de la máquina.
 - Ayuda a otra máquina: Comprende las paradas producidas en el recantado de una pieza para acudir a ayudar a sacar las piezas de la otra recantadora que se encuentra en frente.

Las dimensiones de las piezas recanteadas exigen por motivos de seguridad la participación de dos personas para su manipulación con el puente grúa. De tal forma que mientras que un operario maneja los mandos del puente grúa otro guía la pieza.

- Falta de borriquetas: paradas producidas durante el cambio de piezas por la falta de borriquetas, que son los soportes sobre los cuales se almacenan las piezas en la nave, antes y después del mecanizado en la máquina.
- No hay operario: corresponde a todas las paradas en las cual el operario se ausenta de la máquina debiendo estar en la misma. Incluye paradas del operario fuera de los horarios marcados para las mismas, turnos enteros a los cuales no acude un operario cuando estaba planificado que acudiese, ausencias por motivos personales en los cuales nadie reemplaza al operario, etc.
- Falta pieza: son las paradas de la máquina producidas por una falta de piezas que mecanizar. Suelen ocurrir en pocas ocasiones y el motivo por el cual ocurren es por la mala planificación en el lanzamiento de piezas desde áreas anteriores o por retraso en la fabricación.
- Parada no planificada: cualquier parada que la dirección del área decide realizar en la máquina y que no estaba planificada con anterioridad.
- Herramienta en mal estado: corresponde a las paradas de la máquina realizadas para cambiar herramientas que se han desgastado. Incluye entrar a la máquina, verificar el estado de la herramienta, retirarla, ir hasta el dispensador de herramientas situado en otra nave cercana e introducir la herramienta nueva en el porta herramientas.

Pérdidas de calidad

Esta categoría de pérdidas es complicada de definir para unas máquinas como las recanteadoras de las que tratan este trabajo. Idealmente dentro de esta categoría habría dos subcategorías, una de retrabajos, y otra de scrap.

El proceso de declaración de una inutilidad para este tipo de piezas es complejo al tratarse de piezas de alto valor económico. Para que una pieza pase a ser scrap, debido a un mal mecanizado en recantado, primero debe terminarse de mecanizar siempre que se considere oportuno, posteriormente el departamento de calidad habría una hoja de no conformidad,

3.9.3 EL TPM COMO PUNTO DE REUNIÓN

Como ya se describía en el apartado "Marco Teórico" el TPM podría ser entendido como una cultura cuyos objetivos son:

- Mejorar el sistema productivo de la máquina.
- Mejorar los recursos humanos .

El TPM se sustenta sobre el principio de unidad entre los distintos grupos departamentales que trabajan con las máquinas. En el área de recateado se realizan reuniones semanales de TPM, en estas se tratan los problemas y mejoras concernientes a la máquina. Puesto que se trata de una máquina de mecanizado de control numérico se tratan temas concernientes a la programación del control numérico, problemas con las herramientas, problemas con la máquina, mejoras por parte de los operarios, temas organizacionales.

Para que la reunión sea ágil y no derive en acciones correspondientes a personas que no están presentes acuden los representantes de los departamentos de mantenimiento, herramientas, control numérico, ingeniería de procesos y producción. De alguna forma esto fomenta también otro de los pilares del TPM, que es producir un cambio en la cultura corporativa, integrar a los representantes de distintos departamentos y hacer que trabajen en sintonía en busca de un mismo objetivo.

Después de definir las paradas con los operarios y el método de grabación de los datos, era necesario establecer un marco para la revisión de los datos obtenidos y la puesta en marcha de acciones que mejoren el rendimiento de la máquina. El TPM es el marco ideal para ello. Los asistentes al TPM van a ser los responsables, en un alto porcentaje de las ocasiones, de poner en marcha e implementar las acciones, sobre todo aquellas de fácil solución, o que requieran poco gasto económico.

3.10 RECOLECCIÓN DE DATOS

A la hora de implantar cualquier método de control de la eficiencia, productividad y, en general, a la hora de lanzar cualquier estudio es indispensable que los datos sean fiables, correctos y que su forma de recolección esté definida y procedimentada.

Este método de análisis de la eficiencia de máquina confía en un alto porcentaje la fiabilidad de los datos en el criterio del operador de la máquina, que en última instancia es quien los detalla. En este apartado se detalla la forma en la que los datos eran recogidos.

3.10.1 Método de registro de paradas

Uno de los puntos más conflictivos a la hora de implantar un método de control de tiempos muertos es el método a utilizar para realizar la grabación de datos. El control de los tiempos muertos puede presentar en el operador de la máquina una sensación de presión y puede verse tentado a "engañar al sistema" no recogiendo la totalidad de las paradas, o recogiendo los tiempos parcialmente.

Con anterioridad al comienzo de este proyecto se instaló en la máquina un software de recogida de señales de la máquina de tal forma que detecta señales de marcha cuando la máquina esta mecanizando, o realizando alguna trayectoria necesaria para preparar un inminente mecanizado; y señales de parada. Este software fue desarrollado por la empresa LUCE en especial para AIRBUS y se le dio el nombre de IPAMMS. Disponer de un método automático (en este caso semiautomático) de registro de paradas de la máquina obliga, de alguna manera, al operario a justificar los trabajos realizados durante dichas paradas.

Este software realiza un análisis de los datos que recoge, sin embargo el informe que genera de manera automática presenta ciertas incongruencias, aspectos que son necesarios revisar y numerosas limitaciones a la hora de realizar un correcto análisis. En parte, este proyecto nace de la necesidad de detallar de alguna forma las necesidades del área en cuanto a la recogida y el análisis de datos de eficiencia para posteriormente redactar una especificación a la empresa desarrolladora del software. La idea es que los cálculos que hasta la fecha de realización de este proyecto se realizan en hojas de cálculo, de manera semiautomática, con el uso de macros, se implemente en un software mucho más potente y que realice los cálculos y genere los informes de manera automática.

IPAMMS refleja en una base de datos ciertos parámetros de uso de la máquina, como por ejemplo, el porcentaje de potencia que está siendo usado, el programa que está ejecutando, así como datos temporales. Se genera un evento cada vez que existe un cambio de programa o parada. Por tanto, simplificando, el software genera dos tipos de eventos: marcha y parada.

Según los eventos de marcha y parada van siendo generados por el software, estos se imprimen en pantalla en orden temporal reflejándose en rojo si se trata de una parada y en verde cuando se trata de un evento de marcha. Los eventos de marcha no pueden ser justificados y el operador no puede modificarlos, mientras que a los eventos de parada debe añadirles el motivo por el cual para la máquina.

Es importante a la hora de implementar en la rutina de un operario una nueva operación, que en ocasiones puede resultar tediosa, analizar el valor que aporta dicha tarea. En términos prácticos, conocer el motivo de una parada de unos pocos segundos

no es relevante y la información que puede obtenerse del análisis de los datos no compensa con el esfuerzo necesario para llevarlo a cabo. Si se obligase a justificar cada una de las paradas producidas en la máquina podría darse que la operación de justificado de la parada dure más que la propia parada en sí. Por tanto se hizo necesario fijar un tiempo mínimo a partir del cual justificar obligatoriamente el motivo de la parada.

Por simplicidad y practicidad, las paradas inferiores a un tiempo que se decidió 3 minutos, se justifican automáticamente como “Microparada: parada inferior a 3 minutos”. Para el resto de paradas aparece un desplegable con la totalidad de casuísticas existentes clasificadas con un código de colores que las hace más fácilmente reconocibles según la “dimensión” del OEE a la que afectan así como su categoría dentro de este: Disponibilidad, Rendimiento o Calidad.

Un evento generado entre dos marchas tendrá la categoría de parada pero la totalidad de la duración de la parada no necesariamente corresponderá a un solo motivo por el cual parar. Por esta razón el software permite desglosar la totalidad de la parada en varios motivos, tantos como casuísticas distintas se hayan dado durante la parada de la máquina. Queda por tanto a criterio del operador de la máquina decidir el tiempo que le asigna a cada motivo en el caso de que hubiese varios dentro de un mismo evento.

La existencia de este software y la posibilidad de poder extraer estos datos facilitó en gran medida la recolección de datos y su posterior análisis. Sin embargo para usar este método no es necesario disponer de un software de estas características, bastaría con la recolección en una hoja de datos de las paradas ya sea en papel, lo que requeriría informatizarlo posteriormente, o su recogida directa en una hoja de cálculo que procese los datos recogidos.

La extracción de datos que permite el software IPAMMS se realiza en formato Excel .xls. En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de una extracción de datos.

cambio_velocidad	RC 2	04 02 2015	11:00:23	04 02 2015	11:00:59	0:00:36		
cambio_velocidad	RC 2	04 02 2015	11:00:59	04 02 2015	11:01:59	0:01:00		
parada	RC 2	04 02 2015	11:01:59	04 02 2015	11:02:00	0:00:01	FALSE	Microparadas - Parada inferior a 3 min -
cambio_velocidad	RC 2	04 02 2015	11:02:00	04 02 2015	11:02:06	0:00:06	FALSE	Cambios - Cambio de pieza - Meroja de vaci
parada	RC 2	04 02 2015	11:02:06	04 02 2015	12:01:06	0:59:01	FALSE	Planificadas - Parada reglada (PTR) -
parada	RC 2	04 02 2015	12:01:06	04 02 2015	12:26:50	0:25:44	TRUE	Cambios - Cambio de pieza -
parada	RC 2	04 02 2015	12:26:51	04 02 2015	13:16:51	0:50:00	FALSE	
cambio_velocidad	RC 2	04 02 2015	13:16:51	04 02 2015	13:16:51	0:00:01		
parada	RC 2	04 02 2015	13:16:51	04 02 2015	13:16:55	0:00:04	FALSE	Microparadas - Parada inferior a 3 min -
cambio_velocidad	RC 2	04 02 2015	13:16:55	04 02 2015	13:35:06	0:18:10		
parada	RC 2	04 02 2015	13:35:06	04 02 2015	13:36:44	0:01:38	FALSE	Microparadas - Parada inferior a 3 min -
cambio_velocidad	RC 2	04 02 2015	13:36:44	04 02 2015	13:36:45	0:00:01		
parada	RC 2	04 02 2015	13:36:45	04 02 2015	13:38:09	0:01:24	FALSE	Microparadas - Parada inferior a 3 min -
cambio_velocidad	RC 2	04 02 2015	13:38:09	04 02 2015	13:45:19	0:07:10		
ejecucion_programa	RC 2	04 02 2015	13:38:55	04 02 2015	23:54:10	10:15:15		
parada	RC 2	04 02 2015	13:45:19	04 02 2015	13:45:20	0:00:01	FALSE	Microparadas - Parada inferior a 3 min -
cambio_velocidad	RC 2	04 02 2015	13:45:20	04 02 2015	13:46:02	0:00:41		
parada	RC 2	04 02 2015	13:46:02	04 02 2015	13:53:21	0:07:19	FALSE	Microparadas - Otra microparada -
cambio_velocidad	RC 2	04 02 2015	13:53:21	04 02 2015	13:53:27	0:00:06		
cambio_velocidad	RC 2	04 02 2015	13:53:27	04 02 2015	13:57:11	0:03:44		
parada	RC 2	04 02 2015	13:57:11	04 02 2015	14:03:10	0:06:00	FALSE	Diseño de Proceso - Recoger retales -
cambio_velocidad	RC 2	04 02 2015	14:03:10	04 02 2015	14:03:16	0:00:06		
parada	RC 2	04 02 2015	14:03:16	04 02 2015	14:03:23	0:00:07	FALSE	Microparadas - Parada inferior a 3 min -
cambio_velocidad	RC 2	04 02 2015	14:03:23	04 02 2015	14:03:24	0:00:01		
parada	RC 2	04 02 2015	14:03:24	04 02 2015	14:19:04	0:15:40	FALSE	Diseño de Proceso - Recoger retales -

Tabla 3: Ejemplo de extracción de datos del software de grabación de paradas

Como puede observarse en la tabla, tras haberse justificado el motivo de la parada, los campos categoría y motivo aparecen rellenos en la tabla, apareciendo en blanco en las paradas tipo “cambio_velocidad” que se corresponden con los tiempos de marcha de la máquina.

3.10.2 Roles en la recolección de datos

Uno de los aspectos fundamentales a la hora de definir un sistema como el presente es definir adecuadamente las responsabilidades de cada miembro del grupo. Este sistema involucra la colaboración continua de gran cantidad de personas, en distintos turnos, en ocasiones sin una comunicación directa. Esto puede facilitar que el desempeño en la realización de las tareas pueda convertirse en deficiente con el paso del tiempo. Con el fin de evitar esa pérdida de desempeño se definieron rutinas para cada uno de los miembros del grupo, con una periodicidad marcada. Las distintas rutinas se muestran en la siguiente tabla.

Quién	Frecuencia	Rutina	Duración
Manager	Mensual	Registro OEE mensual Cada mes, el Manager anota en el panel el valor del OEE mensual. El CDT Manager se asegura que no hay puntos de bloqueo y desde su responsabilidad motiva al Equipo para lograr el objetivo.	10'
Operario	Diario	Registro de motivos de perdidas / Paradas planificadas Todos los días durante el proceso de fabricación, y de acuerdo con el estándar; registra en el sistema las distintas causas de pérdidas de disponibilidad, rendimiento, mala calidad y paradas planificadas.	10'
Operario	Diario	Registro OEE diario Todos los días a las 8:30, el Operador de máquina recoge el valor OEE del sistema y lo anota en el panel.	3'
TL	Diario	Registro paradas No planificadas / Plant closed / Paradas planificadas Todos los días el Team Leader anota en el sistema las paradas No planificadas, Planta cerrada y Paradas planificadas.	5'
TL	Diario	Comprobación de las paradas del día anterior Todos los días en su turno, el Team leader verifican la exactitud de los datos introducidos	5'

Mando	Semanal	<p>Preparación reunión TPM</p> <p>Cada semana antes de la reunión de TPM, el Mando se reúne con el Team leader para conocer lo acontecido en la semana, identifican los puntos de bloqueo y las medidas adoptadas.</p> <p>También recoge el valor OEE del sistema y lo anota en el panel.</p>	10'
Mando	Semanal	<p>Reunión face to face después de la reunión TPM</p> <p>Cada semana, después de la reunión de TPM el Mando imprime los documentos que deban ser actualizados.</p> <p>Mando y Team leader comparten la información de la reunión TPM.</p>	10'

Tabla 4: Rutinas y responsabilidades en el método

Operador de la máquina

A la hora de realizar la justificación de las paradas el rol principal es el del operador de la máquina. Este se encarga de reflejar el motivo de cada parada después de que esta finalice. Esto lo hará eligiendo la casuística de la parada del desplegable del software, pudiendo haber en una misma parada varios motivos. Los operarios recibieron instrucciones de realizar la justificación de las paradas lo antes posible tras la reanudación de la marcha. Existía una tendencia a dejar todas las paradas del turno sin justificar y al finalizar el turno justificarlas todas. Esto, como es lógico, resta exactitud a los datos, pudiendo introducir el operario motivos erróneos al no recordar el motivo de la parada, en especial con las paradas pequeñas, de menos de 5 minutos (pero más de 3 minutos, ya que las inferiores a 3 se justifican automáticamente como "microparada").

Para tener un correcto conocimiento de cómo justificar las paradas los operarios fueron instruidos de manera continua, resolviendo in situ las dudas surgidas hasta que fueron totalmente autosuficientes. La empresa también dispuso una sesión de formación de dos horas sobre los términos del proyecto.

Otra de las tareas diarias que se les encomendó a los operarios fue la del registro diario del valor del OEE del día anterior, obtenido al cargar los datos en la hoja de cálculo. Apuntar este dato puede parecer un retrabajo que no aporta nada, lejos de ser así obliga al operario a ser consciente del valor del OEE, y le hace consciente de la repercusión de sus actos en la operativa de la máquina para la eficiencia de los procesos dentro de esta.

Los operarios disponen en la máquina de un dossier completo con los documentos a rellenar por ellos, así como los procedimientos descritos en caso de duda. El proceso

completo se procedimentó para que no pudiese haber ninguna duda a la hora de realizarlo.

Team Leader

El Team Leader es un operario más, trabaja en su turno en la misma máquina que todos los demás, pero es el representante de su grupo de trabajo. En este caso en el área de recateado tenemos un Team Leader, este es elegido una vez al año por sus compañeros. Ser Team Leader implica hacerse cargo de algunas tareas que el resto de compañeros no hacen. Son los encargados de asistir a las reuniones de TPM como portavoces del grupo, son los encargados de llevar listados de herramientas, eslingas, y otros medios de produciendo, etc. Como representante de sus compañeros se decidió en el desarrollo del proyecto darle una gran importancia al Team Leader. Los datos introducidos por los operarios en ocasiones contienen errores, paradas sin justificar, fines de semana, días libres, turnos que no se ha trabajado, tiempos de mantenimiento preventivo, etc. Es por tanto el Team Leader como representante de sus compañeros el que se encarga diariamente de la revisión de las justificaciones del día anterior, intentando detectar posibles anomalías.

Se establece por tanto una rutina en la cual el Team Leader debe revisar las justificaciones del día anterior. Esta rutina no lleva más de 5 minutos. Si el Team Leader detecta anomalías como paradas de fin de semana, días libres o turnos de descanso, debe justificarlos para su posterior análisis.

Mandos de producción

Los mandos del área son los jefes directos de los operarios y Team Leaders. Su función dentro de los límites de este proyecto es revisar periódicamente que los operarios están justificando los motivos de las paradas. Para ello tienen reuniones diarias muy breves al principio y final de cada turno donde preguntan a los operarios si algo significativo ha ocurrido en la operativa de la máquina.

Los mandos de producción son un factor muy importante dentro de las reuniones de TPM, ellos deben liderar la exigencia en la toma de acciones por parte de las funciones soporte. Deben asegurar que los plazos de compromiso para el cierre de acciones, tanto de mejora como correctivas, por parte de departamentos como mantenimiento o procesos, se cumplen. Son los superiores directos de los operarios y deben recoger sus sugerencias y tenerlas en cuenta, así como motivarles y hacer que se sientan valorados. Antes de asistir a la reunión de TPM deben tener una reunión breve con el Team Leader, donde cubran los puntos principales que van a ser tratados en la reunión de TPM. Después de la reunión el mando también debe dedicar unos minutos para revisar lo tratado e informar a los responsables del área de lo acontecido.

Semanalmente el mando debe registrar el dato de OEE semanal y compararlo con el de la semana anterior. Con esto se consigue que los mandos sean conscientes del valor del OEE y del estado de la eficiencia de la máquina a la vez que se muestra a los operarios que el esfuerzo realizado por ellos es valorado por sus superiores.

Manager del área

El manager del área debe realizar un seguimiento continuado del desarrollo del sistema, revisando habitualmente los datos resultantes. Aun así se define en el proyecto la necesidad de asistir al menos una vez al mes a la máquina a apuntar en el gráfico correspondiente el dato de OEE del mes anterior. Esto se realiza no solo para que el manager sea consciente del dato de eficiencia de la máquina sino también para que los operarios puedan observar que el trabajo realizado por ellos diariamente es valorado por la dirección.

4. ANÁLISIS

La recogida de datos es la base de cualquier estudio y la precisión y la procedimentación del método de recogida condicionará el grado de fiabilidad de los resultados. Tras la recogida de datos el análisis de los mismos revelará las conclusiones del estudio en cuestión. Para realizar el análisis nos apoyaremos en tablas y gráficos que muestren la evolución de los valores de OEE y tiempos de desviaciones recogidos.

En este análisis hay que diferenciar entre los dos conceptos que este estudio recoge, por una parte el cálculo del valor de OEE y por otra la cuantificación de las desviaciones en las paradas de la máquina.

4.1 Análisis del OEE y sus factores

Obtener el valor del OEE nos puede dar una idea general, sintetizada en un único indicador de la eficiencia de la operativa de la máquina que estamos monitorizando. Sirve como un buen indicador de la evolución si se comparan sus cambios en el tiempo. Sin embargo para obtener mejores conclusiones es necesario evaluar porque cambia el valor del OEE mirando cada uno de sus factores por separado.

Puesto que los porcentajes de disponibilidad, rendimiento, calidad y paradas planificadas corresponden a pérdidas, es conveniente mantener bajos estos valores. Cuanto menores sean estos valores mayor será el tiempo productivo total (representado en verde).

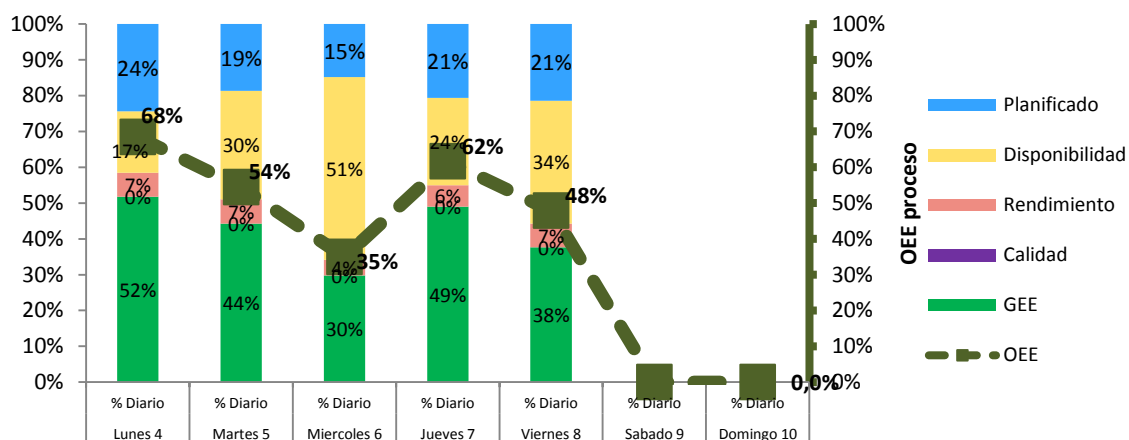


Ilustración 18: Gráfico ejemplo de la muestra del valor de OEE y % de pérdidas en una semana

Este gráfico sirve como ejemplo para representar una semana. En el podemos observar de un vistazo los valores del OEE cada día de la semana, y su evolución a lo largo de ella. Es un buen ejemplo porque se observa una bajada brusca del OEE el miércoles. Se observa también claramente que es el porcentaje de disponibilidad el que está grabando el valor del OEE. Para saber que fue exactamente lo que sucedió, es necesario ver un análisis más profundo y pormenorizado de las paradas. En la siguiente tabla se observa la suma de las paradas registradas ese día.

MIERCOLES 6	
Motivo	Total
Averías	503,12
Ayuda a otra maquina	48,00
Cambio de herramienta	17,68
Cambio de pieza	158,33
Comprobar herramienta	9,81
Parada inferior a 3 min	15,02
Parada reglada (PTR)	101,17
Proceso adicional	14,57
Recoger retales	31,88
Reunión inicio/final de turno	97,20
Reuniones planificadas	14,43

Tabla 5: Muestra de tiempos totales de parada en un día

Observando las paradas claramente el motivo de el aumento del porcentaje de disponibilidad está provocado por una avería, o la suma de varias. En este caso la avería fue la suma de pequeñas averías del multiflexible, o Torrestool.

Para saber si este tipo de problemas es un hecho puntual o forma parte de un comportamiento sistemático de la máquina, es necesario otro análisis más profundo de las paradas que se detallará en el siguiente apartado.

Este ejemplo sirve como base para la actuación a realizar al observar una gráfica de este tipo. Es conveniente también disponer de una serie de objetivos de porcentajes de pérdidas, de esa forma se puede comprobar de un vistazo si se está cumpliendo con lo establecido.

El análisis frecuente de estos datos y de la tendencia de estos a lo largo del tiempo puede permitir detectar perdidas repentinas de forma prematura, así como detectar tendencias donde pueden realizarse mejoras.

4.2 Análisis de las desviaciones del tiempo real frente al presupuestado

El método desarrollado nos permite la visualización de los datos diaria y semanalmente, de tal forma que podemos comparar las paradas entre sí para identificar las que suponen una mayor desviación del real frente al presupuestado y así poder orientar nuestros recursos a paliar estas desviaciones y si es posible eliminarlas.

Para analizar las desviaciones producidas es fundamental conocer los objetivos máximos diarios asignados a cada tipo de parada. La siguiente tabla muestra los valores máximos diarios expresados en minutos:

Planta cerrada	Parada de fin de semana	2880
	Vacaciones/Paradas anuales	0
Paradas Planificadas	Reunión inicio/final de turno	135
	Mantenimiento autónomo	0
	Parada planificada	0
	Parada reglada (PTR)	135
	Reuniones planificadas	0
Diseño de Proceso	Cambio de herramienta	10
	Cambio tolva de aspiración	10
	Comprobar herramienta	10
	Limpieza de disco	15
	Proceso adicional	0
	Recoger retales	10
	Taladrar toma naca	0
Cambios	Cambio de pieza	120
Averías	Averías	0
Microparadas	Parada inferior a 3 min	0
	Parada sin motivo	0
Organizacional	Ayuda a otra maquina	0
	Falta borriquetas	0
	Falta puente grúa	0
	No hay operario	0
	Falta pieza	0
	Parada no Planificada	0
	Herramienta en mal estado	10
Retrabajos	Consultas de Calidad	0

Tabla 6: Resumen del objetivo diario de tiempos totales por día

El estudio de las paradas tuvo lugar entre las semanas 10 y 24 del 2015. Realizar un análisis pormenorizado de cada día, incluso de cada semana, tiene sentido solo si te encuentras en un rango de fechas cercano al tiempo de estudio analizado. En el área es necesario realizar en las reuniones de TPM un análisis de los días de la semana anterior, para detectar posibles problemas de manera precoz y así ponerles remedio lo antes posibles. Una visión del acumulado de las desviaciones totales nos permitirá hacernos a la idea de donde y cuando se producen las mayores desviaciones en la operativa de la máquina en los siguientes gráficos podemos observar el acumulado de las desviaciones recogidas en todo el tiempo de estudio (Semana 10-24).

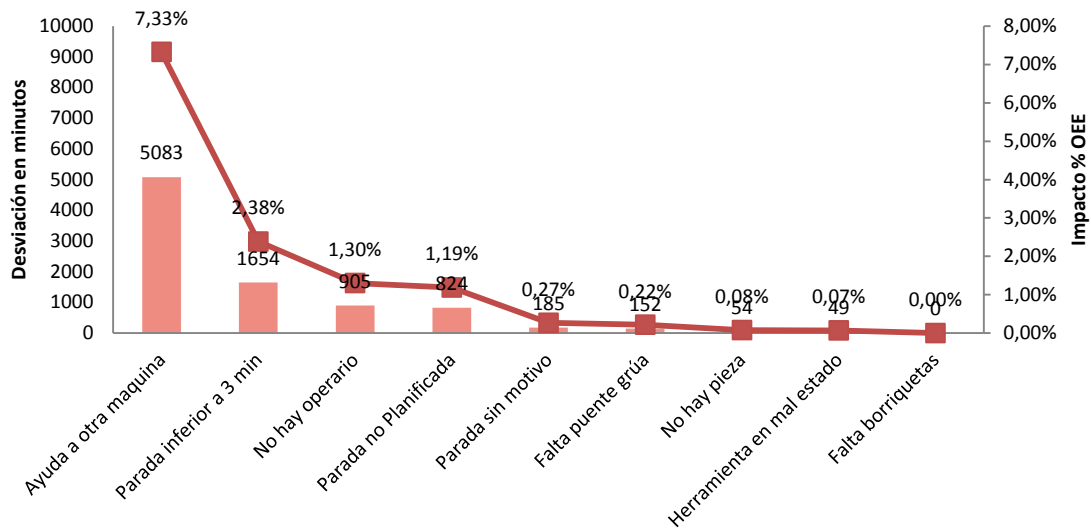


Ilustración 19: Pareto desviaciones de rendimiento de la RC2 acumulado semana 10-24

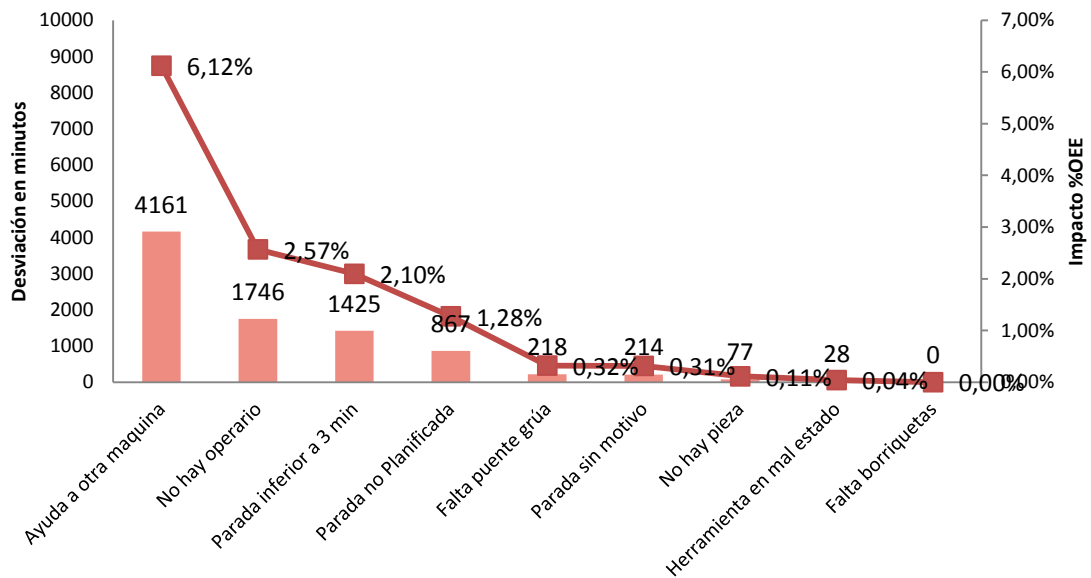


Ilustración 20: Pareto desviaciones de rendimiento de la RC3 acumulado semana 10-24

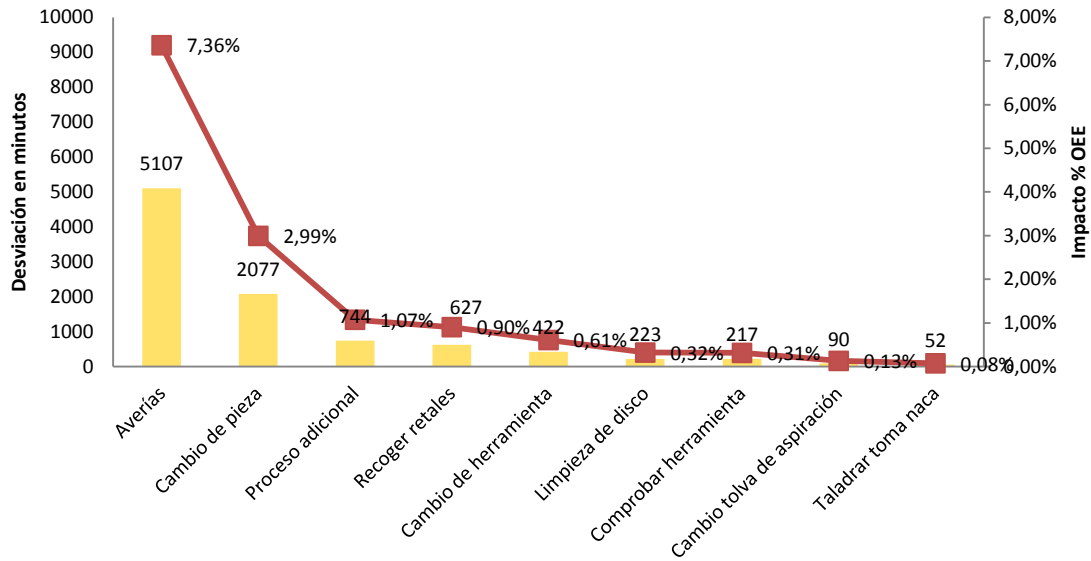


Ilustración 21 Pareto desviaciones de disponibilidad de la RC2 acumulado semana 10-24

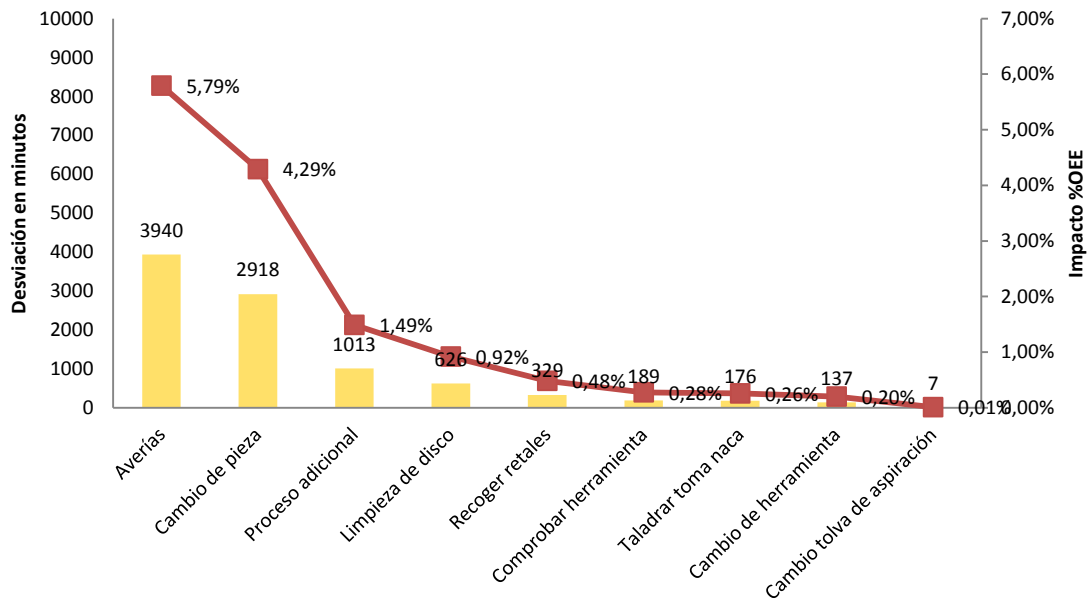


Ilustración 22: Pareto desviaciones de disponibilidad de la RC3 acumulado semana 10-24



Ilustración 23: Pareto desviaciones de calidad de la RC2 acumulado semana 10-24

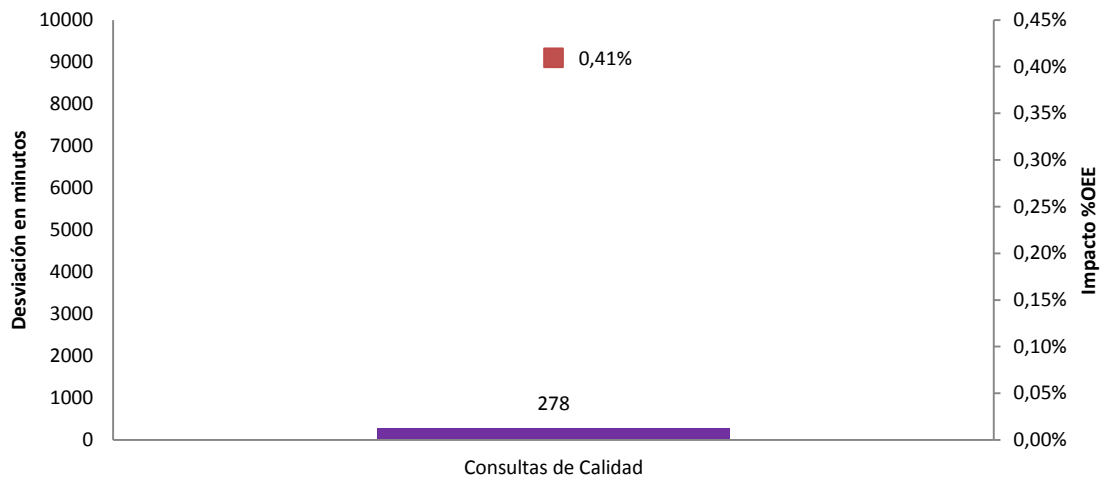


Ilustración 24: Pareto desviaciones de calidad de la RC3 acumulado semana 10-24

Usando la teoría de Pareto podemos observar las mayores paradas que corresponden en las dos máquinas a las mismas casuísticas. Esto es normal, ya que las máquinas son idénticas, las piezas recanteadas en cada una de ellas, a pesar de tener diferencias geométricas requieren de las mismas operaciones, y el personal que la opera es común.

Las casuísticas con mayor desviación don las averías, cuyo objetivo es 0, no hay operario, cambio de pieza y ayuda a otra máquina. En próximos epígrafes se explicaran alguna de las posibles medidas para mejorar todos estas desviaciones.

5.RESULTADOS

5.1 MEJORAS EN LOS PROCESOS

Gracias a la implementación del método y al seguimiento e implicación por parte de los operarios, se consiguió un aumento significativo de las propuestas de mejora de los operarios. Comenzaron a tener la sensación de que sus ideas eran tomadas en cual lo cual les incentivó a proponer. Con anterioridad al desarrollo de este proyecto ya existía una recogida de propuestas de mejora que se decidían viables o no y se realizaban. La realidad es que operativamente la cantidad de las propuestas era bastante baja, no solo eso sino que al no existir un método establecido y continuo de revisión de estas propuestas, estas en ocasiones quedaban en el olvido, nunca se estudiaba su viabilidad y finalmente nunca eran implantadas.

La dejadez en la gestión de este tipo de propuestas se traducía en dejadez por parte de los operarios. Este sistema dotó a la sección de un método de revisión y decisión de la viabilidad de las mejoras propuestas. Se tradujo en una gestión mucho más ágil que redujo los tiempos de cierres de acciones considerablemente.

5.1.1 Mejoras implantadas

La mayor parte de las mejoras realizadas no supone una disminución significativa de los tiempos de desviación en las paradas de la máquina, por lo tanto no se traducen en un cambio palpable del valor del OEE.

En la mayor parte de los casos la decisión de realizar estas mejoras fue tomada teniendo en cuenta otra serie de criterios, no solo los tiempos de parada. Se tienen en cuenta aspectos como la repercusión en seguridad del personal, de las piezas y de la máquina, la mejora de las 5S, etc. Con el fin de mostrar alguna de las mejoras propuestas por los operarios a continuación se mostraran con una breve explicación.

Pistola de código de barras

Instalación de pistolas de lectura de código de barras para carga de programas en las recanteadoras. Tras el error en la carga de un programa se mecanizó una pieza usando el programa de otra mano, el coste de no calidad producido fue de 120000 €. Instalando estas pistolas se evita la escritura manual del programa. Supuso una inversión de 7000 €.



Ilustración 25: Pistola de código de barras

- Ahorro de tiempo a la hora de cargar los programas.
- Reducción de posibles errores al cargar los programas.

Nuevas persianillas cubre ejes

Una de las mayores averías era el fallo en los motores del movimiento del gantry en el eje Y. Las persianillas que cubrían este movimiento eran demasiado pesadas y llevaban años sobrecargando los motores y provocando averías continuas.



Ilustración 26: Persianillas eje Y

Gracias al análisis de los paretos se pudo estimar el ahorro potencial de poner unas nuevas persianillas, a pesar de suponer una inversión importante de 43086,56 €.

Mapeado del circuitaje del útil de la S19.1.

Una mejora muy barata y muy sencilla de aplicar. Es un buen ejemplo de lo útil que puede ser una correcta utilización de las técnicas de gestión visual. La S19.1 es una de las piezas con mayores curvaturas del programa A380. La sujeción de la pieza en este caso no se realiza mediante el uso del Torrestool, sino de un útil especial con copas de vacío similares a las del Torrestool.

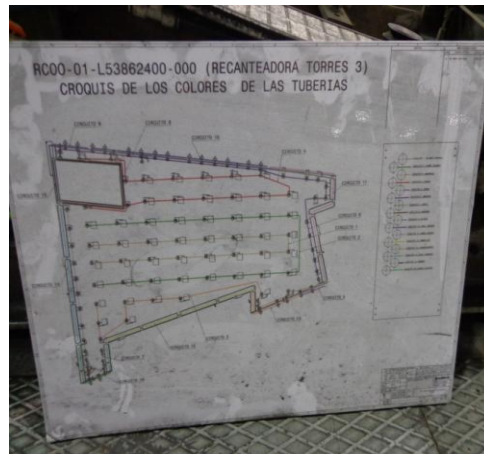


Ilustración 27: Mapeado circuitaje S19.1

Este utillaje dispone de unos circuitos de vacío relativamente complejos y que cuesta seguir. Según la habilidad y experiencia de los operarios los tiempos de cambio de este tipo de pieza se alargaban en exceso, ya que continuamente tenían que comprobar que circuito no estaba realizando el vacío correctamente. Con un sencillo mapa del circuitaje se consiguió aclarar la operación y reducir los tiempos.

Útil de almacenamiento de utillaje

Mejora considerable de la organización en el área con la consecuente reducción de tiempos en la preparación de la máquina. Un buen ejemplo de aplicación de las 5S's. Supuso una inversión de 2173 euros, ya que se fabricó un útil por máquina. Y su ahorro se estimó en 0.5 horas/avión.



Ilustración 28: Útil de almacenamiento de utillaje

Útil para mejora de vacío en mesa ranurada RC3

Anterior a la fabricación de este útil era preciso pisar sobre la pieza para que esta asentase sobre las copas de vacío. En piezas con grosor suficiente la operación no entraña peligro para la pieza ni para el operario.



Ilustración 29: Útil mejora de vacío

La rotura de partes de la pieza supuso en el año en el que se hizo este estudio un coste total de 30000 € en inutilidades. Por tanto suponiendo que todos los años se inutilizases un numero similar de piezas el ahorro potencial de la medida son 30000 €. Sin tener en cuenta los retrabajos ahorrados por pequeños desperfectos al pisar.

5.1.2 Mejoras no implantadas/por implantar

Existe por otra parte una serie de mejoras destinadas a una mejora clara en el valor del OEE y una disminución considerable de las desviaciones en los tiempos de paradas. Desgraciadamente estas acciones conllevan una gran inversión, que choca con el estado financiero del programa de la fabricación del A380, cuyo retorno de la inversión en el momento de desarrollo del proyecto debía ser producirse en menos de dos años. Un retorno de la inversión tan corto deja poco margen para la inversión. Aun así, algunas de las propuestas si se pusieron en marcha, pero al alargarse en el tiempo su implantación no se pudieron monitorizar.

Control exhaustivo de las averías

La mitigación y el control de las averías de la máquina es responsabilidad directa del departamento de mantenimiento. Sin embargo, desde el departamento de producción, los operarios pueden ayudar a la detección prematura de las averías. Fomentar el sentimiento de mantenimiento autónomo por parte de los operarios puede ocasionar importantes ahorros en futuras averías que supongan una parada en un momento crítico de producción.

Con este proyecto se consiguió que los operarios de la máquina comenzasen a reclamar al departamento de mantenimiento planes de investigación de fallos repetitivos. Sucede que en ocasiones pequeñas averías se reparan de manera parcial continuamente. Esto ocasiona pequeñas paradas, pero a la larga el tiempo total de pérdidas es mayor. Al observar los datos de averías, queda patente que es el mayor motivo de desviaciones de paradas en la máquina. Esto es lógico por una parte, ya que el objetivo fijado de averías es 0. Sin embargo es necesario establecer planes de revisión exhaustivos por parte de mantenimiento, con el conocimiento de producción, para sacar conclusiones y ahorrar costes en pérdidas, repuestos, y mano de obra.

Otra de las situaciones que se suele dar en los entornos de producción es la disparidad de datos de parada entre el departamento de producción y el de mantenimiento. En concreto los tiempos que producción controla como paradas eran superiores a los reportados por mantenimiento. Si todos utilizaran los datos aportados por este sistema estas disparidades acabarían.

Subcontratación del cambio de pieza

La parada con mayor desviación con diferencia es el cambio de pieza. En este tipo de máquinas un cambio de pieza no va solamente asociado al tiempo que la máquina está parada. Parar la máquina supone que, según la organización del área, el operador de la otra máquina debe parar también su máquina y acudir a ayudar a su compañero. Como

ya se ha reflejado anteriormente en los tipos de parada, por las dimensiones de las piezas es necesario que se muevan por al menos dos personas.

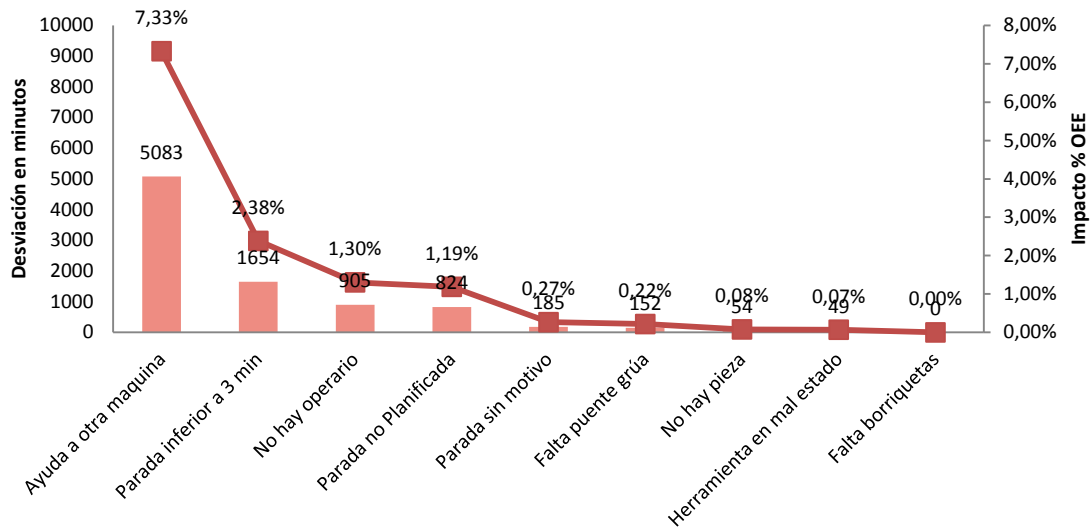
Cambiando la persona que realiza los cambios de pieza, sin tocar el proceso, como es lógico no van a reducirse los tiempos totales. Tener una persona comodín exclusivamente para ayudar a realizar los cambios de pieza no es una opción. Esto supondría que el tiempo efectivo de trabajo de ese operario sería de entre 1 y 3 horas por cada turno de 8 horas, incluso podría darse el caso de que ese operario no hiciese ningún cambio de pieza en el turno si coincide que las máquinas están mecanizando las piezas con mayores tiempos de mecanizado.

Como medida correctiva a corto plazo se decidió que en los cambios de pieza un operario de otro área acudiese a ayudar en el cambio de pieza y así no parar la máquina. Aun así esta medida tampoco es del todo óptima. La hora de trabajo del operario de otro área de la empresa es en términos globales igual que la de un operario de recantado, y parar el área donde está trabajando el otro operario también graba la productividad, aunque este área no supone un cuello de botella.

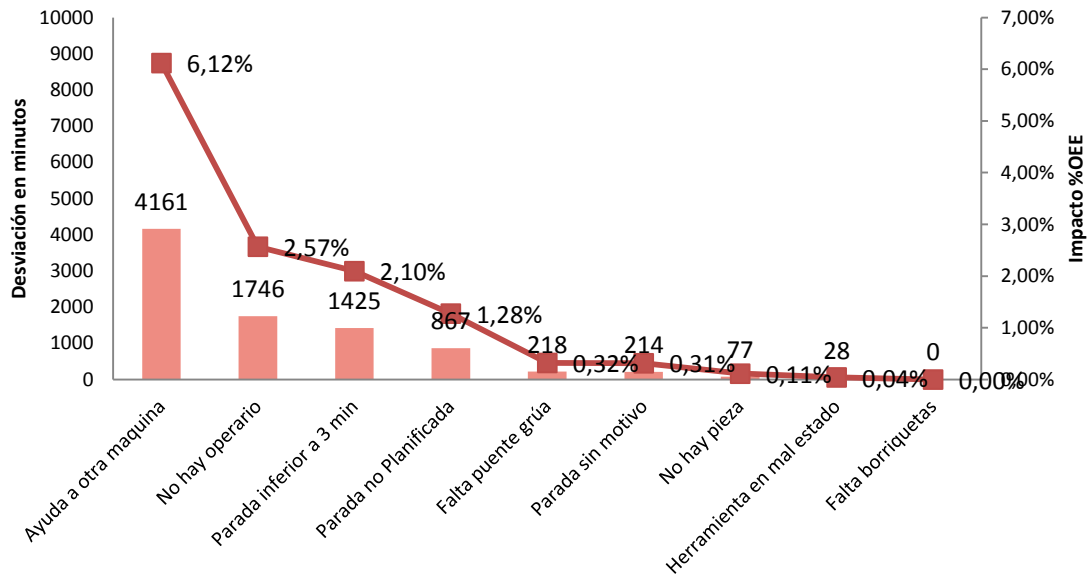
Por tanto la solución más eficaz sería contratar una subcontrata, cuya tarifa horaria es mucho más competitiva que la de Airbus. Esta subcontrata se encarga de realizar los movimientos de piezas entre áreas y podría absorber el trabajo de colocación de la pieza en la máquina. Este cambio supondría incluso un ahorro en el cambio de pieza dentro de la máquina, ya que el operario de recantado podría realizar el pre-ajuste del utillaje de la máquina mientras que la pieza que se acaba de terminar está saliendo y la pieza que va a recantarse está entrando.

Desafortunadamente este cambio incluye realizar complejos contratos con empresas externas, la aprobación por parte de los sindicatos, la reorganización del área, etc. por esta razón, al término del desarrollo de este proyecto aun no se habría producido su implantación y la mejora de los tiempos y del valor del OEE no ha podido ser monitorizada. Es un cambio ambicioso y supondría un gran impacto en el OEE. El sistema de análisis de tiempos nos permite estimar cual es la mejora del OEE si consiguiésemos eliminar el tiempo que para una máquina para ayudar al cambio de pieza de la otra.

En los siguientes gráficos podemos observar el acumulado de paradas de rendimiento (ya que la parada de ayuda a otra máquina está dentro de esta categoría). Los gráficos representan las desviaciones en las paradas de rendimiento acumuladas desde la semana 10 del año 2015 hasta la semana 24 del mismo año tanto en la recantadora 2 como en la recantadora 3.



Pareto desviaciones de rendimiento de la RC2 acumulado semana 10-24



Pareto desviaciones de rendimiento de la RC3 acumulado semana 10-24

Podemos observar como se trata de la parada de mayor desviación en todo el gráfico y eliminarla por completo supondría una mejora del OEE de hasta 7,33%, una cifra realmente significativa.

Comparando los datos de estas desviaciones con los del resto, no solo se observa que es la mayor desviación de rendimiento, sino también una de las mayores desviaciones en el mismo periodo de estudio, solo superada por las averías, que son de muchos tipos.

5.2 CAMBIOS EN EL OEE

En el tiempo de observación de los datos, 14 semanas, se observan cambios significativos en el valor del OEE. Estas fluctuaciones, no obstante, no son un resultado de la implantación del método, es decir, las mejoras y empeoramientos en el dato de OEE semanal no están influidos por mejoras o cambios introducidos en la operativa de la máquina como resultado del estudio de su eficiencia. Corresponden a fluctuaciones estacionales, por periodos vacacionales, averías importantes de la máquina, desajustes en la programación, etc.

Podría pensarse pues que el estudio de los datos carece de sentido, sin embargo son un indicativo de la eficiencia de la gestión de la máquina. Las diferencias entre ambas máquinas también corresponden a los tiempos dedicados al trabajo en cada una de ellas. En los gráficos que se muestran al final de este epígrafe, una de las diferencias más llamativas se da en la semana 17. En la recanteadora 3, RC 3, se puede observar como el OEE baja bruscamente, mientras que el porcentaje de pérdidas por paradas planificadas aumenta considerablemente. Podría pensarse que la producción en esas fechas es nefasta, y así fue, sin embargo estaba ya planificado, ya que la máquina debe ser calibrada cada 2 años y en esa semana se realizaron las labores de calibración. Todo el tiempo de paradas producidas por esta calibración se consideran planificadas, ya que se conocen las fechas con suficiente anterioridad como para planificar la producción o incluso para que la otra máquina absorba el trabajo que no va a poder ser realizado.

También se observa un pico anormal por arriba en la semana 23 en la recanteadora 2. Esto tiene también su explicación. Esa semana se recantearon urgentemente y de manera excepcional piezas de otro programa que se realiza en la planta de Sevilla, el A400M. La planta de Sevilla sufrió serios problemas operativos que obligaron a que pidiesen ayuda a la planta de Illescas. Estas piezas tienen un tiempo de mecanizado elevado frente a un tiempo de cambios y preparación bajos, lo que hace que el OEE mejorase en gran medida.

Queda de manifiesto por tanto que mirar el valor del OEE es un buen indicativo de la eficiencia de la máquina, pero que sin un análisis de las paradas no pueden llegarse a conclusiones fiables, es por esto que una segunda fase del proyecto es el análisis de las desviaciones del real frente al planificado.

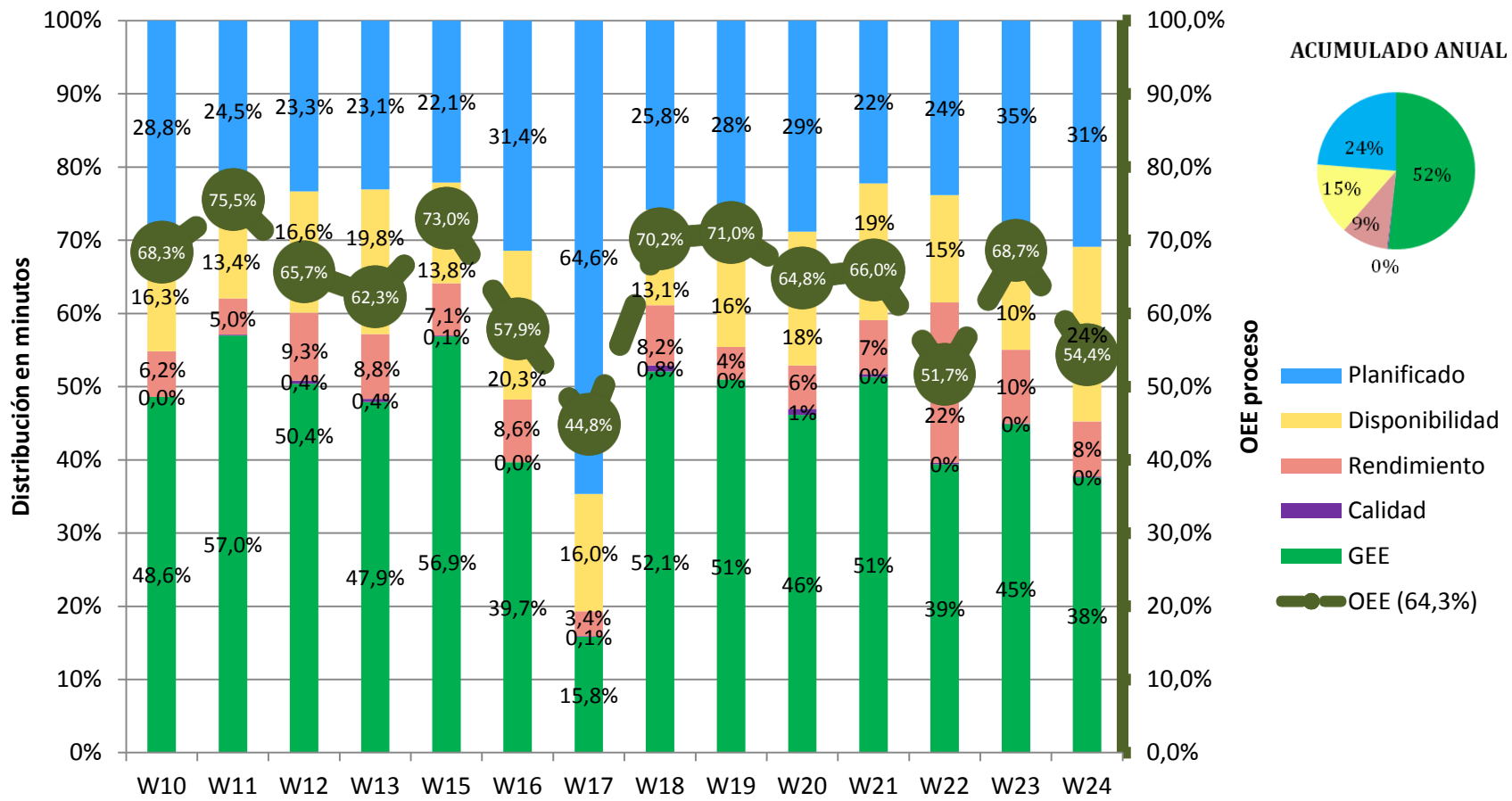


Ilustración 30: Evolución del OEE y porcentajes de paradas RC3 semana 10-24

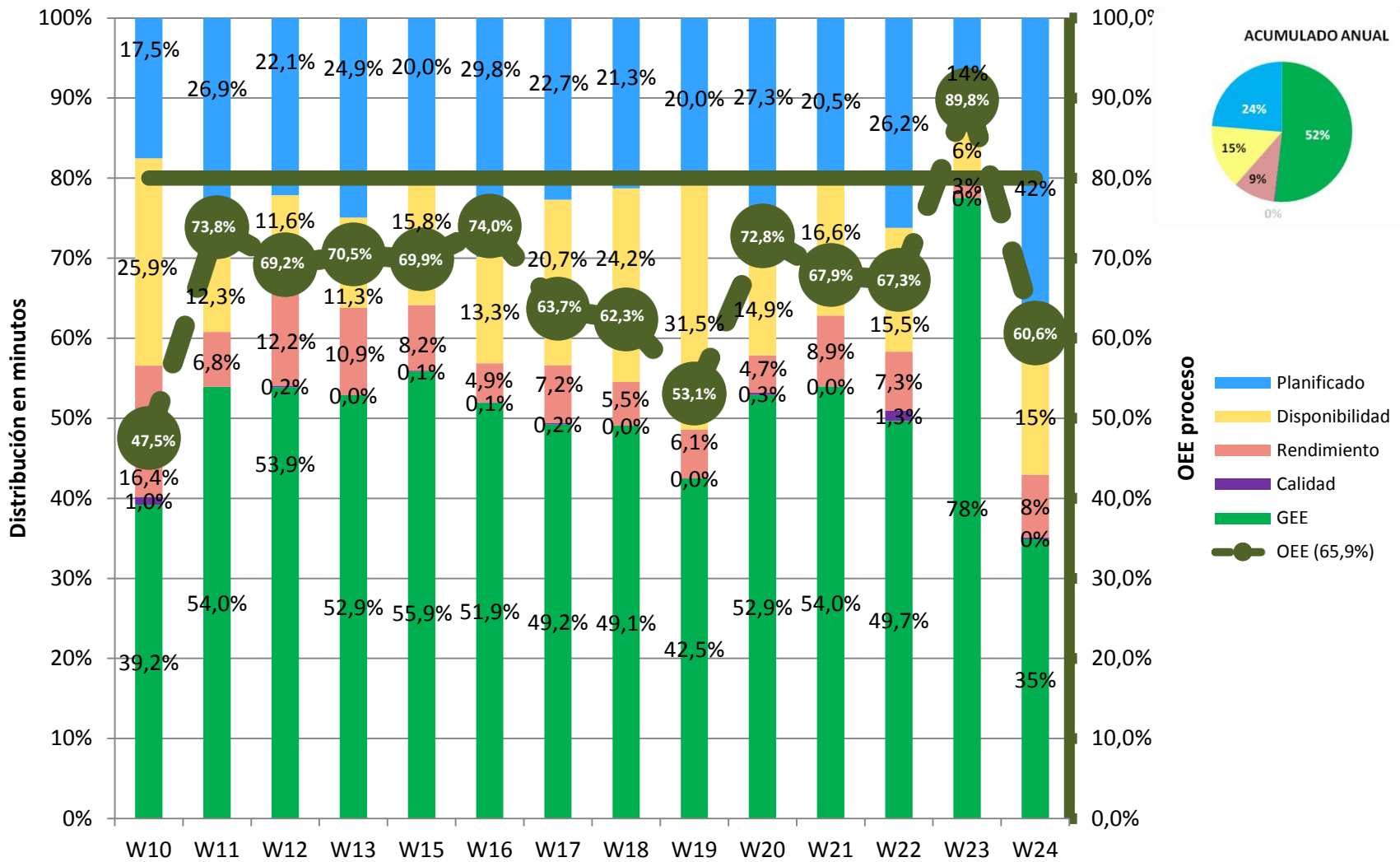


Ilustración 31: Evolución del OEE y porcentajes de paradas RC2 semana 10-24

5.3 FORMACION Y CONCIENCIACIÓN DE LOS OPERARIOS

Una vez que el método ha sido implantado dentro de los resultados obtenidos, desde conseguir un sistema de análisis de paradas de que hasta entonces no disponía la empresa, hasta el lanzamiento de acciones destinadas a la reducción del impacto de estas paradas, también se ha invertido un gran esfuerzo en la formación continuada a los operarios.

Es fundamental entender que se está haciendo y para que se hace a la hora de implementar un método de análisis. La labor del operario en la recogida de datos es fundamental, y solo siendo metódicos y constantes se puede conseguir que la precisión de los datos sea aceptable. En este sentido, definir una rutina de trabajo, marcar una serie de puntos de chequeo, y establecer un proceso bien definido y con se correspondiente verificación es necesario.

La figura del Team Leader en la planta de Airbus Illescas ha resultado de gran importancia. Este es el responsable del grupo de trabajo de recanteado, por tanto, en sus espaldas recae el peso de entender el sistema y verificar la labor de sus compañeros.

En un primer momento el operario puede mostrarse reacio a justificar el motivo de cada parada que realiza, solo después de una correcta formación es posible que entienda el beneficio para la mejora de la máquina y el beneficio de poder poner datos económicos a la hora de pedir a la empresa que se realice una inversión.

Muchos de los operarios se quejan de tareas que tienen que realizar, ya que piensan que pueden ser realizadas de una mejor forma, o simplemente que el proceso podría optimizarse. En multitud de ocasiones no se les toma en cuenta ya que el departamento de ingeniería de procesos no ve el beneficio o la rentabilidad que puede tener realizar esas mejoras. Cuando los operarios entendieron que analizando los procesos que realizaban mientras paraban podrían justificar o no las inversiones necesarias. La duración del proyecto no permitió observar la evolución en los valores de OEE y en la reducción de tiempos de paradas, pero si se consiguió que los operarios se implicasen y exigiesen, como siempre debería ser, que solucionen los problemas de su máquina y mejoren sus procesos.

Se consiguió fomentar varios de los principios del TPM descritos en el apartado 2.1 tales como:

- Impartir formación tecnológica, de control de calidad y en materia de relaciones interpersonales.
- Fomentar la multitarea en los operarios.
- Alinear los objetivos de los empleados con los de la empresa.
- Realizar una continua evaluación y refresco de la formación.
- Sentimiento de posesión de la máquina.

Por tanto la inversión realizada en los recursos humanos se puede considerar del todo satisfactoria.

6.CONCLUSIONES

6.1 LOGROS DEL MÉTODO

Lanzamiento de acciones del departamento de mantenimiento

Al realizar el análisis de los paretos de desviaciones así como de los porcentajes de desperdicios, se identifica claramente que uno de los mayores problemas son las averías. En este sentido el departamento de mantenimiento es quien debe tomar medidas para solucionar estos problemas, no solo de manera correctiva, sino también de manera preventiva.

El concepto averías dentro del tratamiento de los datos es un dato global, para conocer la tipología de cada avería con los datos aportados por este sistema es necesario visualizar en las hojas de cálculo los comentarios añadidos por los operarios. De manera adicional, de hecho de manera principal, el departamento de mantenimiento dispone de la información de los partes que realiza, conociéndose el defecto y las acciones llevadas a cabo.

Uno de los mayores problemas detectados al analizar estos datos fue encontrar averías recurrentes. En muchas ocasiones la solución a una avería no dejaba de ser una solución poco sólida que terminaba en un fallo posterior. Disponer de estos datos permite al departamento de producción exigir a mantenimiento la solución de raíz de estos fallos.

Desde el departamento de mantenimiento comenzaron a lanzarse mantenimientos preventivos, como ya se realizaban antes, pero destinados a eliminar de raíz los problemas encontrados en estos datos.

Formación a los operarios

Como ya ha sido reflejado anteriormente, la formación a las operarios es una pieza clave dentro de este proyecto. La formación es necesaria no solo para que el sistema funcione, sino también para que las acciones y las mejoras sean llevadas a cabo.

Sistema de mejora continua

Este método impulso de gran forma la mejora continua. Los operarios comenzaron a sentir que sus propuestas eran tenidas en cuenta, cuantificadas y analizadas. Aunque estas propuestas nunca lleguen a realizarse porque se demuestre que no son rentables, al menos el operario tiene la sensación de que es tomado en cuenta, y esto se traduce en futuras propuestas que quizá si sean viables y supongan una mejora real para la empresa.

Es importante que los operarios conozcan el estado de sus propuestas, es por ello que en las reuniones de inicio y final de turno se comenzó a dar un feedback periódico, en el cual los autores de las propuestas recibían información y podían preguntar por el estado de sus propuestas de mejora.

6.2 LIMITACIONES DEL MÉTODO

A pesar del buen funcionamiento que en general presenta el método para calcular la eficiencia y realizar un análisis de las pérdidas, el sistema tiene algunas limitaciones.

Es recomendable disponer de un software que registre cuando hay una parada

Si bien es posible monitorizar los datos usando el papel, u hojas de cálculo en las que se anote a mano, la experiencia acumulada durante el desarrollo muestra que aunque el método podría realizarse rellenando manualmente una hoja de cálculo, la precisión de los datos disminuiría considerablemente.

- Los operarios olvidarían apuntar una buena parte de las paradas, ya que las considerarían despreciables.
- Los tiempos de las paradas serían orientativos.
- El tratamiento de los datos se hace más complicado.

Disponer de un software de recogida de datos fue una gran ayuda.

El OEE solo mide la eficiencia de la máquina teniendo en cuenta el tiempo no productivo

El cálculo del OEE solo contabiliza las pérdidas y las compara con el tiempo total de trabajo. No tiene en cuenta la eficiencia del mecanizado. Utilizando este indicador no se va a poder conocer si los programas de mecanizado automático de la pieza están optimizados o no, es más se produce una paradoja, cuanto más largo sean los programas de mecanizado mayor será el OEE, y por tanto mayor será la eficiencia calculada de la máquina.

Para entenderlo pondré un par de ejemplos:

- Durante el desarrollo del proyecto se incluyó una mejora en los programas de varias piezas. Se incluyó un programa de rototraslación. Lo que hace este programa es medir la pieza en varios puntos, después compara estos puntos de medición reales con el modelo teórico que tiene cargado el control numérico, realizando ajustes en el programa para minimizar estas diferencias.

Es una mejora muy interesante y supuso un gran ahorro en costes de no calidad. Sin embargo la productividad de la máquina se ve reducida. La inclusión de un programa que anteriormente no se realizaba supuso un aumento del tiempo total de permanencia de las piezas en la estación. Por tanto, se mecanizan menos piezas en el mismo tiempo que antes se mecanizaban más. Aquí es donde viene la paradoja, puesto que el OEE solo tiene en cuenta las pérdidas de tiempo no productivo y la realización de este programa cuenta como tiempo productivo el OEE aumenta. El fully production time aumentará porcentualmente frente a las paradas (que en este caso siguen siendo las mismas).

Por tanto es necesario disponer de algún otro indicador que garantice que garantice si la producción se está cumpliendo.

- Uno de los proyectos que se estaba desarrollando en el área mientras se realizaba la toma de datos fue un proyecto de uso de unas nuevas herramientas. Estas herramientas de corte permitían mecanizar con una velocidad de avance mucho mayor, suponiendo un ahorro por avión de unos 5000 € en tiempos de mecanizado.

La lógica dice que por tanto los procesos desarrollados con la máquina están siendo más productivos, y así es, en un mismo tiempo de observación se mecanizan más piezas que antes de incluir las nuevas herramientas. Sin embargo en cuanto al OEE se refiere, este sufrirá una disminución. El fully production time disminuirá haciendo más pesado porcentualmente las paradas y por tanto las pérdidas.

Una vez más se hace patente la necesidad de otro tipo de indicadores que garanticen la eficiencia del proceso en términos de producción.

Se debe confiar plenamente en los operarios

El control de las paradas no puede ser llevado por la dirección de un área de fabricación. Supondría estar horas delante de la máquina apuntando todo lo que pasa. Por tanto, la única forma es confiar en los operarios. Ellos son los encargados de justificar que se hace en los tiempos muertos de la máquina, y como cualquiera podría pensar, pueden engañarte. En este sentido la formación y la capacidad de liderazgo es el único método posible para conseguir calidad en los datos recogidos.

Es por esto que se hace tanto hincapié en este proyecto en la formación a los operadores de la máquina. Hacerles entender que el control de los desperdicios puede resultar en una mejora de las condiciones en las que trabajan es clave. Sin embargo puede existir la tentación, como dirección del área, de usar como arma arrojadiza los

datos de las paradas y pedir continuamente explicaciones sobre ellas. Esto resulta contraproducente, ya que se traducirá en una reducción de la confianza y por tanto, una reducción de la precisión de los datos obtenidos, por miedo a represalias.

Objetivos de desviaciones

En las gráficas de Pareto donde se muestra la cantidad de minutos de cada motivo, muestra las desviaciones, no los tiempos totales. Es decir, muestra la diferencia entre el objetivo de duración de esa tipología de paradas y la duración real de estas paradas.

Para que esta diferencia sea calculada correctamente es necesario conocer los tiempos objetivos de una forma precisa. Los tiempos totales de las piezas están presupuestados por el departamento de proceso, y existe un desglose por tarea, por lo tanto somos capaces de conocer el tiempo que debe tardarse en realizar cada tarea en cada pieza.

La limitación con la cual nos encontramos a la hora de analizar las paradas es que nuestro sistema de recogida de datos no distingue entre piezas, es decir, no sabe que pieza se está mecanizando, por tanto, no podemos hacer un desglose por pieza. Los objetivos de tiempos de paradas se fijaron pues haciendo una media de los tiempos que se tardan en las distintas piezas. En la mayoría de las operaciones la duración de las tareas entre unas piezas y otras es muy similar, encontrándose las mayores diferencias de tiempo en los programas de mecanizado. Sin embargo, ciertas tareas, como el cambio de pieza, son mucho mayores en piezas de grandes dimensiones.

El OEE no es un indicativo fiel si se compara día a día

En máquinas como las que este proyecto monitoriza no tiene sentido comparar el OEE diariamente. En estas máquinas se mecanizan una gran variedad de piezas, con morfologías muy distintas, esto supone que la operativa en la máquina es muy distinta entre unas y otras y el tiempo que la maquina esta parada frente al que esta mecanizando depende mucho entre unas piezas y otras.

Se puede dar la situación, si se desconoce las piezas que se mecanizan y como se calcula el OEE, que los valores de OEE varíen mucho entre un día y el siguiente, incluso semanalmente, llevando al error de pensar que algo anómalo ha sucedido. Para facilitar el ajuste de la máquina se intenta mecanizar series de piezas similares entre sí, con el fin de reducir al máximo los tiempos en el cambio de utillaje. Al mecanizarse varias piezas que suponen tiempos bajos de parada el valor de OEE puede aumentar de manera repentina, sin haber tomado ninguna acción al respecto.

Se hace necesario mirar el OEE como un valor a observar en un rango de tiempo de al menos una semana. Comparar valores semanales y mensuales si puede mostrar señales

de una mejor o peor operativa en la máquina, pero los cambios de OEE diarios son demasiado variables como para ser representativos.

No obstante, en otras máquinas que operan de forma continua, en las cuales se fabrica una gran cantidad de piezas diarias y que siempre fabrican un mismo tipo de piezas el OEE si puede ser un valor a tener en cuenta diariamente.

6.3 PROXIMOS PASOS

El sistema actualmente está funcionando en la sección de recateado del programa del A380. Pero el trabajo no termina ahí. La estandarización de un sistema no supone el fin de su desarrollo. Los estándares están para ser mejorados. Aplicando la filosofía del Lean Manufacturing se debe tender hacia la mejora continua, por lo tanto aun quedan pasos por dar.

6.3.1 Mantenimiento del sistema

Después de poner en marcha todo el sistema existe el reto de mantenerlo, los responsables de realizar las tareas necesarias en la recogida y análisis de datos deben seguir haciéndolo, y mandos y manager de la sección han de asegurarse que las tareas se realizan.

Durante mi estancia en la empresa, de alguna forma, yo fui el responsable de garantizar que todos realizaban sus tareas. Es importante por tanto que en ausencia de alguien que se dedique al control de las tareas, los responsables de cada tarea continúen con sus labores. Repartiendo responsabilidades y estableciendo unas medidas de control, realizando reuniones periódicas, exigiendo rigurosidad en la aplicación del método, y buscando la mejora continua del mismo. Solo así se podrá garantizar que el sistema siga teniendo un buen uso y no acabe como el método de control de la eficiencia que ya existía.

En las bases del proyecto que se establecieron en la empresa se detalla una matriz de responsabilidades a la cual cada responsable de cada tarea puede acudir cuando duda sobre algún tema. De ahí la creación de las rutinas vistas anteriormente.

6.3.2 Toma de acciones

Tras la implantación del sistema de análisis de datos para conocer y controlar la eficiencia de las recanteadoras es de esperar dar un paso de igual importancia, tomar acciones que reduzcan las paradas y ayuden a un aumento del valor de OEE, que se traduzca en un aumento de la capacidad de fabricación de la sección. Para ello deben salir proyectos de un análisis de los datos. En este sentido es importante que se impliquen las funciones soporte, tales como ingeniería de procesos, ingeniería de utillaje, mantenimiento, control de producción, etc.

A la hora de tomar acciones, lanzar proyectos de mejora y realizar inversiones también debe establecerse una metodología que haga que los operarios sean conscientes de los cambios que se están intentando llevar a cabo. Las propuestas de mejora salidas de los operarios en ocasión se pierden en el camino y no se implantan por no establecer una revisión de las mismas. Las reuniones de TPM donde todos los operarios y los implicados en el desarrollo y mantenimiento de la máquina y los procesos que se realizan en esta, son un escenario idóneo para la revisión de este tipo de acciones.

Una de las últimas medidas adoptadas antes del fin de mi estancia en la empresa fue el establecimiento de un listado temporal de acciones lanzadas para mitigar las pérdidas, con este listado se garantiza un seguimiento de las acciones.

6.3.3 Implicación por parte de los recursos humanos

Otro de los pasos que deben darse tras la implantación del método es la implicación de la dirección a la hora de revisar los datos obtenidos del método. Este proyecto tuvo buena acogida entre la dirección de la planta, pero el empeño que realicen en su seguimiento será clave en el rendimiento que se le consiga sacar.

Los managers que lideren el área de ahora en adelante deben estar comprometidos con el análisis y la revisión de los datos obtenidos e impulsar acciones que supongan un ahorro de costes de fabricación a la empresa.

6.3.4 Integración del sistema informáticamente

Como ya se ha expresado con anterioridad, este proyecto sienta las bases para desarrollar una especificación de desarrollo de un software que gestione la recogida, el análisis la visualización de los datos.

En la actualidad existe un software que realiza estas tareas parcialmente, tan solo recoge los datos. El cálculo, el análisis y la visualización de los datos se realiza usando hojas de cálculo en Excel y posteriormente se imprime se lleva a paneles existentes en las máquinas y en el área.

Se necesita, para que el sistema sea mucho más intuitivo, un display en el cual se visualicen automáticamente todos los parámetros del OEE, que muestre los gráficos de las desviaciones por tipología de parada, y que facilite al operario la tarea de grabación de los motivos de las paradas.

En el análisis de desviaciones de paradas es muy importante incluir una distinción por tipo de pieza en el método de recogida y de visualización de los datos. Esto permitirá romper una de las limitaciones que actualmente está presente en el método.

Para realizar todos estos cambios a nivel de software informático es necesario redactar una especificación para el desarrollador. En la actualidad esa especificación a ha sido realizada, y llegará a la empresa en unos meses.

7.REFERENCIAS

Bauer, M. 2008, "Software tools boost OEE", *Control Engineering*, [Online], vol. 55, no. 7, pp. 24.

Sanchez Alzate, C 2005, "Impacto de las averías e interrupciones en los procesos. Un análisis de la variabilidad en los procesos de producción", *Dyna*, vol. 72, no. 145, pp. 67-75.

Charaf K. "Is overall equipment effectiveness (OEE) universally applicable?". *International journal of economics and finance*. 2015;7:241-252.

Dal, B., Tugwell, P. & Greatbanks, R. 2000, "Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 20, no. 11-12.

Ford, H. 1988. "Today and tomorrow". Portland : Productivity Press, 1988.

Gazdziak, S 2010 "Measuring operations through OEE", 2010, *National Provisioner*, vol. 224, no. 3, pp. 28-31.

Jeong, K. & Phillips, D.T. 2001, "Operational efficiency and effectiveness measurement, *International Journal of Operations & Production Management*", vol. 21, no. 11.

Jusko, J. 2011, "Revisiting OEE", *Industry Week*, [Online], vol. 260, no. 6, pp. 19.

Liker, J. K. and Meier, D. 2004. "The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer". New-York : McGraw-Hill, 2004.

Ljungberg, Ö. 1998, "Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 18, no. 5.

Mateo Martínez, R. 2010, "Causas de fallo en la implantación del TPM y modelo de puesta en marcha integrador", *WPOM*, vol. 1, no. 1, pp. 12-17.

Murphy, R., Saxena, P. & Levinson, W. 1996, *Use OEE; don't let OEE use you*, Reed Business Information, a division of Reed Elsevier, Inc, Newton.

Nakajima, S. 1988. "Introduction to TPM". Cambridge, MA : Productivity Press, 1988.

Productivity Development Team (Productivity Press) 1999, "OEE for operators: overall equipment effectiveness", Productivity, Portland (Or.).

Smeds, R. 1994. "International journal of operation and production management. *Managing Change towards Lean Enterprises*". Bingley, UK : Emerald Group Publishing Limited, 1994. Vol. 14

Taylor-Powell, E. y Steele, S. 1996. "*Collecting evaluation data: Direct observation*. Madison", Cooperative Extension Publications, 1996.

Wan Mahmood, W.H., Abdullah, I. & Md Fauadi, M.H.F. 2015, "Translating OEE Measure into Manufacturing Sustainability", Applied Mechanics and Materials, vol. 761, pp. 555-559.

Wanichko, J. 2015, "The three pillars of OEE", CFE Media, Barrington.

Womack, J.P. & Jones, D.T. 1997, Lean Thinking-Banish Waste and Create Wealth in your Corporation, Journal of the Operational Research Society, vol. 48, no. 11.